



**RAY RODRIGUES DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO, ANATOMIA E  
NUTRIÇÃO DE *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*,  
*Solanum crinitum* e do *Zea mays* SOB DOSES  
DE FERRO**

**LAVRAS – MG**

**2017**

**RAY RODRIGUES DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO, ANATOMIA E NUTRIÇÃO DE *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, *Solanum crinitum* e do *Zea mays* SOB  
DOSES DE FERRO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Botânica Aplicada, para a obtenção  
do título de Mestre.

Orientador: Dr.º Sílvio Junio Ramos  
Pesquisador do Instituto Tecnológico Vale

**LAVRAS - MG**

**2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Souza, Ray Rodrigues de.

Desenvolvimento, anatomia e nutrição de *Mimosa acutistipula*  
var. *ferrea*, *Solanum crinitum* e *Zea mays* sob doses de ferro / Ray  
Rodrigues de Souza. - 2017.

63 p. : il.

Orientador(a): Sílvio Junio Ramos.

.  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Desenvolvimento anatomia e nutrição. 2. Especies nativas. 3.  
Canga ferruginosa. I. Ramos, Sílvio Junio. . II. Título.

**RAY RODRIGUES DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO, ANATOMIA E NUTRIÇÃO DE *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, *Solanum crinitum* e do *Zea mays* SOB  
DOSES DE FERRO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós Graduação em  
Botânica Aplicada, para a obtenção  
do título de Mestre.

APROVADA em 8 de março de 2017.

Dr. Sílvio Junio Ramos ITV

Dra. Alessandra Oliveira UFLA

Dr. Guilherme Lopes UFLA

  
Nome e assinatura do(a) Orientador(a)  
Sílvio Junio Ramos

Dr. Sílvio Junio Ramos

Orientador (a)

**LAVRAS - MG**

**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Programa de Pós Graduação em Botânica Aplicada, pela oportunidade.

Ao Dr. Sílvio Ramos, pela orientação, e sua dedicação para que este trabalho seja realizado.

Aos amigos do Programa de Pós Graduação em Botânica Aplicada, pela amizade, convivência e troca de experiência.

Aos professores, técnicos e funcionários do Departamento de Biologia, que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante o curso.

À minha família que me deu incentivo durante esses anos de estudos, aos meus amigos do projeto de extensão da UFLA, Dança Compasso UFLA, em especial a “Panela”, pelos momentos de alegria e distração.

Enfim agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho com sucesso.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

A exploração de recursos naturais está aumentando devido ao crescimento e desenvolvimento da população mundial. A atividade de mineração causa, diretamente ou indiretamente, impactos ambientais, ocorrendo na maioria das vezes a supressão da vegetação nativa, a qual ainda é pouco estudada. De maneira geral, essas plantas são encontradas em ambientes com elevados teores de Fe no solo. Diante da falta de estudos com espécies nativas, este trabalho tem como objetivo analisar o efeito das doses de Fe sobre duas espécies que estão presente na flora sobre a canga ferruginosa, *Mimosa acutistipula var. ferrea* e *Solanum crinitum*, e comparar com uma espécie agrícola *Zeamays* (milho), visando a viabilidade das plantas para a revegetação e analisar como será o desenvolvimento perante uma espécie melhorada geneticamente para absorver, crescer e produzir na alta disponibilidade de nutrientes. Para realização deste trabalho utilizamos dois diferentes tipos de solo, Latossolo (com baixo teor de Fe) e solo de canga (com elevado teor de Fe), a partir de um delineamento experimental inteiramente casualizado, consistindo em sete tratamentos com três repetições. As doses de Fe aplicadas foram, 0, 50, 100, 200, 400 e 800 mg kg e solo de canga ferruginosa natural como controle adicional. Foi realizado a avaliação da germinação nos vasos por quarenta e cinco dias para as espécies nativas de canga e vinte dias para o milho. Após cento e vinte dias de cultivo para *Mimosa acutistipula var. ferrea* e *Solanum crinitum* e sessenta dias para o milho, realizou-se a avaliação da altura das plantas, tamanho das raízes e espessura de caule das plantas. As partes vegetais foram levadas ao laboratório, aferidas as alterações anatômicas, o teste histoquímico para a identificação do Fe e,

posteriormente, foram secas quantificando os teores de macro e micronutrientes na parte aérea e raízes. Os resultados mostraram que a *M. acutistipula* var. *ferrea* desenvolveu até a dose de 200 mg kg, a *S. crinitum* desenvolveu até a dose de 400 mg kg, enquanto que o milho desenvolveu em todas as doses de Fe aplicadas. O estudo mostrou que o Fe influenciou na germinação e no desenvolvimento das plantas, pois ao aumento das doses de Fe, menor foi o índice de germinação e desenvolvimento das plantas. Também, verificou-se efeito das doses de Fe na anatomia de folhas e raízes, com o espessamento das epidermes e mesofilo nas doses intermediárias e redução destes tecidos nas maiores doses de Fe. Tal resultado foi observado principalmente para o diâmetro das raízes. O Fe também influenciou nos teores de nutrientes, nas folhas e raízes, entretanto, variando os teores em função da espécie. As três espécies cultivadas no solo de canga apresentaram baixo desenvolvimento, o que pode estar relacionado à baixa disponibilidade de nutrientes. Os resultados mostram que as plantas cultivadas nas menores doses de Fe apresentaram maior desenvolvimento do que as plantas cultivadas nas maiores doses, isso pode ser devido ao fato de o Fe apesar de ser um elemento essencial para as plantas, nas doses mais elevadas ele se tornou tóxico causando alterações nutricionais, fisiológicas e anatômicas.

**Palavras-chave:** Campos ferríferos, espécies nativas, recuperação área degradada

## ABSTRACT

The exploitation of natural resources is increasing due to the growth and development of the world population. The mining activity causes, directly or indirectly, environmental impacts, occurring in most cases the suppression of native vegetation, which is still little studied. In general, these plants are found in environments with high levels of Fe in the soil. Due to lack of studies with native species, this work has the objective of analyzing the effect of Fe doses on two species that are present in the flora on the ferruginous canga, *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* and *Solanum crinitum*, and to compare with a *Zeamays* (maize) agricultural species, aiming the viability of the plants for vegetation again and to analyze how the development will be towards a genetically improved species to absorb, grow and produce in the high avail ability of nutrients. In order to carry out this work, two different types of soil, Latosol (with low Fe content) and canga soil (with high Fe content) we used, from a completely randomized experimental design, consisting of seven treatments with three replicates. The applied Fe doses were, 0, 50, 100, 200, 400 and 800 mg kg and natural ferruginous canga soil as additional control. The evaluation of the germination in the pots was carried out for forty five days for the native canga species and twenty days for the maize. After one hundred and twenty days of cultivation for *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* and *Solanum crinitum* and sixty days for maize, the evaluation of plant eight, root size and stem thick ness of the plants was carried out. The plant parts were taken to the laboratory, the anatomical alterations were verified, the histochemical test for the identification of the Fe and, afterwards, the macro and micro nutrients contents in the shoot and roots were quantified. The results showed that *M. acutistipula* var. *ferrea* develop dup to the dose of 200 mg kg, *Solanum crinitum* developed until the dose of 400 mg kg, while the maize developed in all doses of Fe applied. The study showed that Fe influenced the germination and development of the plants, because the increase in Fe doses, the lowest was the germination and development index of the plants. There was also an effect of Fe doses on the anatomy of leaves and roots, with thickening of the epidermis and mesophyll in the intermediary doses and reduction of

these tissues in the higher doses of Fe. This result was observed mainly for the diameter of the roots. Fe also influenced the nutrient contents, in the leaves and roots, however, varying the contents depending on the species. The three species cultivated in canga soil presented low development, which may be related to the low availability of nutrients. The results showed that the plants cultivated at the lowest Fe doses presented higher development than the plants cultivated at the higher doses, this may be due to the fact that the Fe, although be an essential element for the plants, at the higher doses it became toxic causing nutrition, physiological and anatomical changes.

**Keywords:** Ferruginous rocky field, native species, recovery of degraded area.

## LISTA DE FIGURAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura – 1  | Ambiente de canga ferrífera e áreas do sul da Austrália .....   | 17 |
| Figura – 2  | Aspectos morfológicos e distribuição geográfica das espécies estudadas .....                              | 21 |
| Figura – 3  | Índice de germinação das espécies estudadas.....  | 30 |
| Figura – 4  | Crescimento das três espécies estudadas.....  | 32 |
| Figura – 5  | <i>Mimosa acutistipula</i> variedade <i>ferrea</i> , <i>Solanum crinitum</i> e <i>Zeamays</i> .....       | 34 |
| Figura – 6  | Produção de massa seca da parte aérea e raiz das três espécies estudadas.....                             | 35 |
| Figura – 7  | Histoquímico da folha de <i>Solanum crinitum</i> .....  | 43 |
| Figura – 8  | Histoquímico da folha de <i>Zeamays</i> .....   | 44 |
| Figura – 9  | Anatomia foliar da <i>M. acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> , <i>S. crinitum</i> e <i>Z. mays</i> .....  | 46 |
| Figura – 10 | Mesofilo foliar da <i>Mimosa acutistipula</i> variedade <i>ferrea</i> .....                               | 48 |
| Figura – 11 | Mesofilo foliar da <i>Solanum crinitum</i> .....  | 49 |
| Figura – 12 | Nervura central da folha da <i>Solanum crinitum</i> .....   | 50 |
| Figura – 13 | Mesofilo foliar do <i>Zeamays</i> .....   | 51 |
| Figura – 14 | Anatomia da raiz da <i>M. acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> , <i>S. crinitum</i> e <i>Z. mays</i> ..... | 54 |
| Figura – 15 | Imagens de microscopia de luz da raiz da <i>Mimosa acutistipula</i> variedade <i>ferrea</i> .....         | 55 |
| Figura – 16 | Imagens de microscopia de luz da raiz da <i>Solanum crinitum</i> .....                                    | 56 |

Figura – 17    Imagens de microscopia de luz da raiz do  
*Zeamays*..... 57

## LISTA DE TABELAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabela – 1 | Análise física e química dos solos utilizados para realização deste experimento  | 24 |
| Tabela – 2 | Teores de macro e micronutrientes massa seca da parte aérea de <i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> , <i>Solanum crinitum</i> e <i>Zeamays</i> em função das doses de ferro     | 38 |
| Tabela – 3 | Teores de macro e micronutrientes massa seca da raiz de <i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> , <i>Solanum crinitum</i> e <i>Zeamays</i> em função das doses de ferro            | 39 |
| Tabela – 4 | Índice de translocação de nutrientes da raiz para a parte aérea de <i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> , <i>Solanum crinitum</i> e <i>Zeamays</i> em função das doses de ferro | 41 |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....   | 14 |
| 2     | REFERENCIAL TEÓRICO .....  | 16 |
| 2.1   | A região de Canga.....   | 16 |
| 2.2   | Influência do Mineral Fe nas plantas .....   | 18 |
| 2.3   | Espécies estudadas .....   | 19 |
| 2.3.1 | <i>Mimosa acutistipula</i> variedade <i>ferrea</i> .....   | 20 |
| 2.3.2 | <i>Solanum crinitum</i> .....  | 20 |
| 2.3.3 | <i>Zeamays</i> .....   | 21 |
| 3     | MATERIAIS E MÉTODOS .....  | 23 |
| 3.1   | Material botânico .....  | 23 |
| 3.2   | Preparação do solo .....   | 23 |
| 3.3   | Plantio e cultivo .....  | 25 |
|       | Germinação, desenvolvimento e produção de massa<br>seca .....  | 25 |
| 3.4   | Teores de nutrientes .....   | 26 |
| 3.5   | Analises anatômicas e histoquímicos .....  | 27 |
| 4     | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 29 |
| 4.1   | Germinação .....   | 29 |
| 4.2   | Crescimento.....   | 31 |
| 4.3   | Massa seca parte aérea e raízes .....  | 34 |
|       | Efeitos das doses de Fe nos teores de macro e<br>micronutrientes na parte aérea e raiz .....           | 36 |
| 4.4   | Efeitos das doses de Fe na translocação de macro e<br>micro nutriente da raiz para a parte aérea ..... | 40 |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>4.6</b>   | <b>Histoquímico .....</b>               | <b>42</b> |
| <b>4.7</b>   | <b>Anatomia .....</b>                   | <b>45</b> |
| <b>4.7.1</b> | <b>FOLHA .....</b>                      | <b>45</b> |
| <b>4.7.2</b> | <b>Raiz .....</b>                       | <b>52</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONCLUSÃO .....</b>                  | <b>59</b> |
| <b>6</b>     | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>60</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As regiões de mineração são caracterizadas geologicamente por terem reservas de minerais com elevado valor econômico, entretanto estas áreas passam por distúrbios causados pela exploração mineral (SONTER et al., 2014). A indústria de mineração gera impactos negativos e positivos nas regiões onde exercem suas atividades. O desenvolvimento e investimento nas localidades de exploração e os empregos gerados para pessoas que vivem nas cidades próximas as atividades de mineração são alguns dos impactos positivos causados por essas indústrias (MOFFAT; ZHANG, 2014). Por outro lado, a degradação ambiental é o principal fator negativo (VÁZQUEZ et al., 2011).

No Brasil, os campos ferruginosos localizam-se principalmente no Quadrilátero Ferrífero, no estado de Minas Gerais, e em Carajás-PA, sendo identificados como canga ferruginosa, onde se tem a presença da fauna e flora bem específica. A vegetação de canga abriga um grande número de espécies raras, e algumas dessas são novas para a ciência (DO CARMO; JACOBI, 2013). As plantas dos campos rupestres ferruginosos desenvolveram várias adaptações morfológicas, fisiológicas e reprodutivas. Além de possuírem capacidade para sobreviver em ambientes xéricos, possuem mecanismos para se desenvolverem em ambientes ricos em metais pesados (JACOBI; CARMO, 2008).

A especialização das espécies que vivem nesses campos implica em uma taxa de endemismo da flora de canga, fazendo com que os estudos de recuperações destas áreas sejam restritos (SILVEIRA et al., 2016). Devido à grande importância econômica dessas regiões, é importante dar atenção especial aos aspectos que visam minimizar os impactos causados pela mineração e priorizar estudos que visem o

reestabelecimento destas áreas com suas espécies nativas, evitando a introdução de espécies exóticas (FIGUEIREDO; BAETA; KOZOVIT, 2012).

Devido à importância de estudos com plantas nativas, visando a recuperação de áreas degradadas em ambiente ferruginosos, causados pelas atividades de indústria de mineração, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito das doses de Fe na germinação, desenvolvimento, anatomia e nutrição das espécies nativa *Mimosa acutistipula* variedade *ferrea*, *Solanum crinitum* e de uma cultivar de *Zeamays*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A região de Canga

Na “Serra dos Carajás” no estado do Pará, e em Minas Gerais no “Quadrilátero Ferrífero”, são encontrados os campos rupestres ferruginosos. Conhecidos também como canga, esses campos são formados por fragmentos ferruginosos de diferentes tamanhos. Esta vegetação é chamada na literatura como “vegetação canga”, “campos ferruginosos” ou “campos rupestres ferruginosos” (VINCENT; MEGURO, 2008).

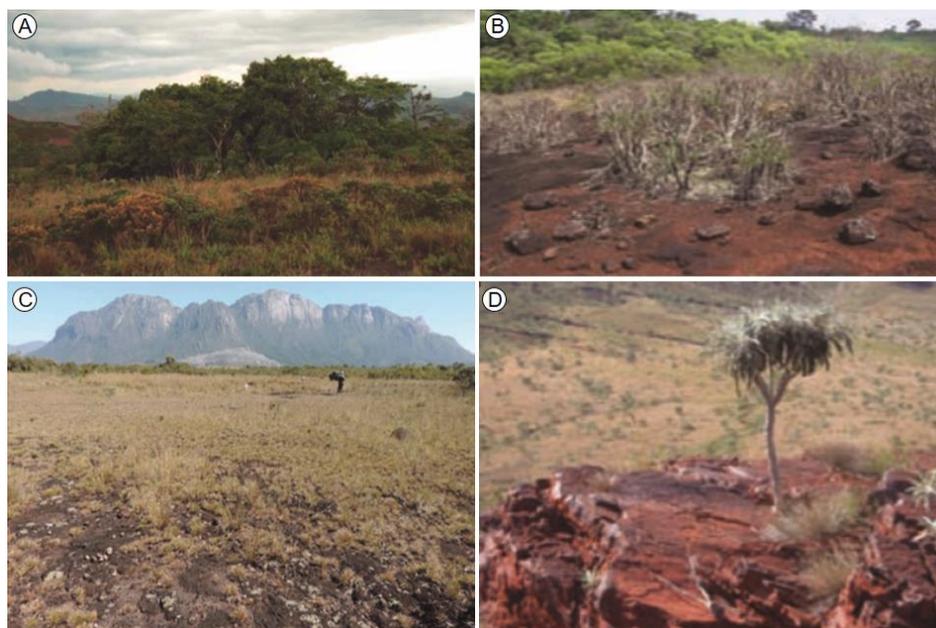
Essas áreas não são encontradas somente no Brasil, sendo descritas no sul da Austrália, conhecidas como BIFs (áreas de ferro bandado), são áreas isoladas com uma distância de 700 km uma da outra. Essas regiões possuem as mesmas características das cangas brasileiras, compostas por elevados teores de Fe no solo (SKIRYCZ et al., 2014).

Os substratos rochosos e solos primários com estas características podem impor algumas restrições que afetam o desenvolvimento das plantas existentes na região, incluindo fatores como a restrição hídrica, baixo teor de nutrientes, e uma grande escassez de solo. Além disso, o alto nível de metais encontrados no solo, principalmente Fe e Mn, afetam diretamente nas adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas, promovendo uma seleção de espécies existentes nestes ambientes (VINCENT; MEGURO, 2008).

A vegetação de canga é caracterizada por plantas que tem a capacidade de armazenar em seu tecido celular altas concentrações de metais pesados, esses fatores implicam em uma seleção de espécies

existentes no local, as plantas que são encontradas na região podem apresentar modificações fisiológicas e morfológicas (VINCENT; MEGURO, 2008).

O ambiente de canga ferruginosa e BIFs representados na figura 1, (A), (B) e (C) mostram a canga ferruginosa encontrada no Brasil e em (D) temos as áreas de ferro bandado (BIFs) que são encontrados no sul da Austrália.



**Figura 1** - Canga ferruginosa em (A), (B) e (C) cangas ferruginosas que são encontrados no Brasil, e em (D) temos as áreas de ferro bandados localizados no sul da Austrália (PRIORIT; CONSERVA, 2015).

## 2.2 Influência do Mineral Fe nas plantas

Algumas plantas se adaptam a ambientes não propícios para seu desenvolvimento. Para isso, essas plantas desenvolvem mecanismos para sobreviverem nos ambientes restritos (ADAMSKI et al., 2012). Algumas dessas plantas podem ser chamadas de hiperacumuladoras, sendo capazes de armazenar e compartimentizar em seus tecidos uma grande quantidade de determinados elementos. Algumas espécies acumulam este metal em suas células da epiderme, cutículas e tricomas. Este mecanismo de armazenamento em folhas é fundamental para sobrevivência da espécie pois é onde fica localizado o sistema fotossintético (SANTANA et al., 2014).

O ferro é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, sendo considerado um micronutriente. A deficiência deste mineral causa uma série de efeitos prejudiciais às plantas, como prejudica a biossíntese da clorofila e o desenvolvimento dos cloroplastos, (SHI; SUN; WANG, 2014). Por outro lado, o elevado nível de Fe em substratos causa danos celulares, afeta a homeostase celular e provoca efeitos tóxicos. A toxicidade por este metal resulta em stress oxidativos nas células, podendo promover a inativação e alise celular (SANTANA et al., 2014).

As plantas possuem vários mecanismos que estão envolvidos nas adaptações e desintoxicações para se desenvolverem em ambientes contaminados por metais pesados. A translocação para parte aérea, e a capacidade de quelar metais, armazenamento em vacúolos e em outros compartimentos celulares, bem como a produção de compostos intracelulares, são estratégias desenvolvidas pelas plantas para aumentar a resistência presença de metais (ALVES et al., 2014).

De acordo com BRIAT et. al. 2015, o Fe tem influência direta no mecanismo fotossintético das plantas e nos complexos de algumas proteínas, como por exemplo a ferritina. Há um aumento na síntese da proteína ferritina devido um excesso de Fe absorvido pelas raízes, sendo um importante órgão responsável pela homeostase dos vegetais. Esta proteína é responsável pelo armazenamento do Fe em sua cavidade central, evitando a reação entre o oxigênio e o Fe, impedindo um estresse oxidativo (REYT et al., 2015).

### **2.3 Espécies estudadas**

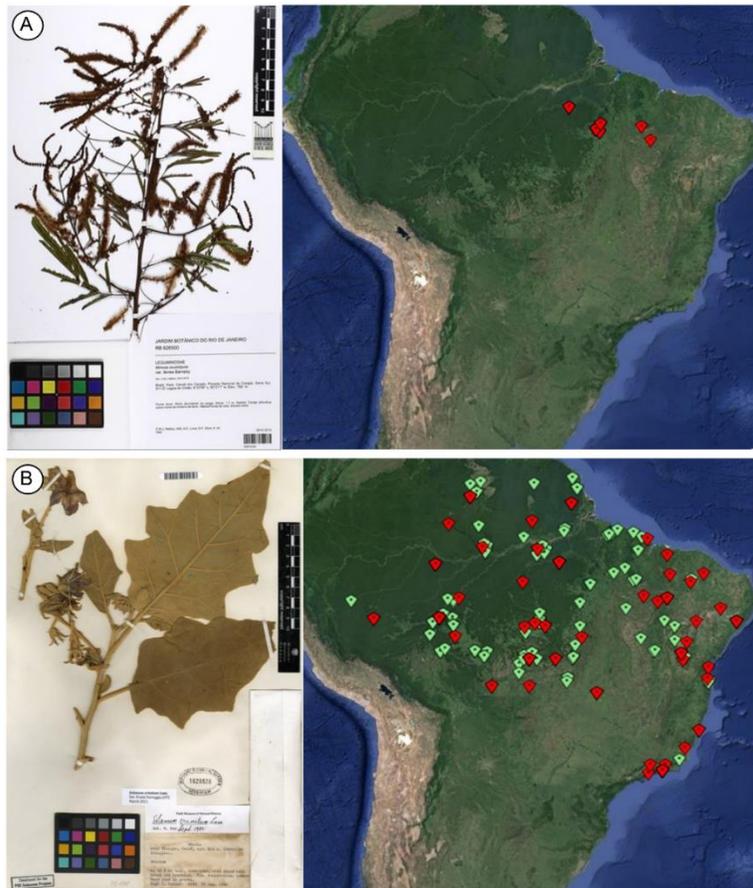
Dependendo do local, a conservação da canga ferruginosa é uma exigência dos órgãos ambientais. Para que a empresa de mineração consiga obter ou renovar a licença para explorar minérios presentes neste ambiente, planos de restauração e conservação das áreas exploradas devem ser apresentados pelas empresas. Antigamente, era legalmente aceitável a recuperação das áreas de mineração por qualquer espécie de plantas. Nos dias atuais, dependendo da área explorada, recomenda-se evitar o uso de espécies exóticas e utilizar espécies nativas para coberturas destas áreas (SKIRYCZ et al., 2014). Assim, diante dos poucos estudos com plantas nativas, é importante estudar as espécies que estão presentes nas regiões de canga ferríferas, afim de utilizá-las para a conservação deste ambiente.

### **2.3.1 *Mimosa acutistipula* var. *ferrea***

Essa espécie é endêmica de áreas de cangas ferruginosas da província mineral de Carajás, a *Mimosa acutistipula* var. *férrea* ou mimosa de canga, como é conhecida popularmente, pertence à família Fabaceae e subfamília Mimosoideae. Esta espécie desenvolve em solos ricos em ferros e em substratos com arenitos. A mimosa de canga possui folhas recompostas com 7 a 11 folíolos (BARNABY, 1991).

### **2.3.2 *Solanum crinitum***

*Solanum crinitum*, conhecida popularmente como jurubebão, ou jurubeba de fruto grande, pertence à família Solanacea. Esta espécie possui caule tortuoso com espinhos e pilosidades nas fases superiores e inferiores das folhas. Suas inflorescências são compostas por flores de cores violáceas. O fruto das jurubebas são esverdeados com bastante sementes de coloração amarelada. Em solos que sofreram algum dano ou processo de destruição de vegetação, as jurubebas são as primeiras espécies que aparecem nessas áreas, devido seus frutos serem fonte de alimentos de alguns mamíferos como morcegos, tendo uma grande dispersão das suas sementes (DIAS FILHO, 1990). Estão presentes nas cangas, sendo consideradas espécies rudeiras primárias e facilitadoras para o desenvolvimento de outras espécies.



**Figura 2** - Aspectos morfológicos e distribuição geográficas das espécies nativas, (A) *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e em (B) *Solanum crinitum*.  
 Fonte: <http://reflora.jbrj.gov.br/>

### 2.3.3 *ZeaMays*

O milho (*Zeamays* L.), pertence à família Gramineae/Poaceae. É uma planta anual, com tamanhos variando de um a quatro metros de altura, selecionada para produção de grãos (PAULO CÉSAR MAGALHÃES et al., 2003). Produzido em quase todos os continentes, o

milho tem uma grande importância econômica, pois sua utilização vai desde a alimentação humana e animal à produção de embalagens biodegradáveis nas grandes indústrias de tecnologias. Apenas 15% da produção de milho é destinado ao consumo humano, e cerca de 85% é destinado à alimentação de animais (PAES, 2006).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material botânico**

Este trabalho foi realizado com três diferentes espécies de vegetais, sendo duas destas encontradas em áreas de canga ferruginosa, *Mimosa acutistipula* var. *férrea* (Fabaceae, Subfamília Mimosoideae), *Solanuncrinitun* (Solanaceae) e a cultivar de *Zeamays DKB 390 VT PRO2®* (Poaceae). As sementes das três espécies foram doadas pelo Instituto Tecnológico Vale, e armazenadas em câmara fria.

#### **3.2 Caracterização e preparação do solo**

Neste estudo, foram utilizados dois tipos de solos, Latossolo Vermelho distroférico, (com baixo teor de Fe), e segundo o solo de canga (com alto teor de Fe). As análises físicas e químicas do solo, conforme método (EMBRAPA 1997) são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1** - Análises físicas e químicas dos solos utilizados neste estudo.

| Latossolo |                              |      |       |                          |      |        |      |      |      |
|-----------|------------------------------|------|-------|--------------------------|------|--------|------|------|------|
| pH        | M.O.<br>H <sub>2</sub> O (%) | P    | K     | S<br>mg kg <sup>-1</sup> | Zn   | Mn     | Cu   | B    | Fe   |
| 6,4       | 0,73                         | 0,84 | 16    | 7,85                     | 0,08 | 2,26   | 1,18 | 0,02 | 12,1 |
| Argila    | 69                           | -    | -     | -                        | -    | -      | -    | -    | -    |
| Selite    | 24                           | -    | -     | -                        | -    | -      | -    | -    | -    |
| Areia     | 17                           | -    | -     | -                        | -    | -      | -    | -    | -    |
| Canga     |                              |      |       |                          |      |        |      |      |      |
| pH        | M.O.<br>H <sub>2</sub> O (%) | P    | K     | S<br>mg kg <sup>-1</sup> | Zn   | Mn     | Cu   | B    | Fe   |
| 6,6       | 6,15                         | 1,51 | 23,33 | 34,59                    | 2,31 | 158,25 | 0,38 | 0,15 | 183  |
| Argila    | 31                           | -    | -     | -                        | -    | -      | -    | -    | -    |
| Selite    | 30                           | -    | -     | -                        | -    | -      | -    | -    | -    |
| Areia     | 38                           | -    | -     | -                        | -    | -      | -    | -    | -    |

Neste estudo foram utilizados vasos com capacidade para 2 dm<sup>3</sup> de solo e um delineamento experimental de 6x3 + 1, sendo seis tratamentos, três espécies mais um controle adicional, totalizando 21 vasos para cada espécie. Foram aplicadas as seguintes concentrações de Fe 0, 50, 100, 200, 400 e 800 mg/dm<sup>-3</sup> para o Latossolo. O solo de canga foi utilizado como controle adicional, visando observar o efeito do elevado teor de Fe nesse material sobre o crescimento vegetal

A adubação foi realizada de acordo com Malavolta et. al. 1997, utilizando os macronutrientes nas seguintes quantidades: 150 mg de N, 200 mg de P, 75 mg de K, 50 mg de S, Mg e Ca por dm<sup>-3</sup>, e os micronutrientes nas seguintes quantidades, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm<sup>-3</sup>. Antes da adubação foi realizada a calagem, visando elevar a saturação por bases a 60%, com carbonato de magnésio e

carbonato de cálcio, proporção de 1:4. Após a incubação do solo por 30 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP), deixando o solo úmido, realizou-se a aplicação dos demais nutrientes. Posteriormente foi aplicado as diferentes doses de Fe, através do produto comercial Quelmax Fe-EDDHA (6%). O solo de canga não recebeu nenhum tipo de adubação e adição de Fe, sendo utilizado nas condições in natura.

### **3.3 Plantio e Cultivo**

As sementes foram selecionadas e contadas para o semeio. Antes da semeadura, foi feito a quebra de dormências das sementes das espécies de cangas. Para quebrar dormência das sementes de *Mimosa acutistipulavar. férrea* e *Solanum crinitum*, essas foram submetidas ao tratamento com ácido sulfúrico por 8 e 5 minutos, respectivamente. As sementes de milho não receberam tratamento para quebra de dormência.

Cada vaso, separadamente, recebeu quinze sementes de *M. acutistipula var. ferrea* e *S. crinitum*, totalizando trezentos e quinze sementes de cada espécie, para o milho foram utilizadas dez sementes por vaso, totalizando duzentos e dez sementes.

### **3.4 Germinação, desenvolvimento e produção de massa seca**

Durante os quarenta e cinco dias de cultivo, o índice de germinação foi monitorado e anotado a cada 5 dias, registrando a germinação para a *M. acutistipula var. ferrea* e *S. crinitum*, para o milho esse período foi de 20

dias, sendo o índice de germinação anotado a cada 2 dias. Após esse tempo, foi realizado o desbaste das mudas nos vasos, deixando apenas quatro indivíduos por repetição da mimosa e solanum, e dois indivíduos para o milho.

Com cento e vinte dias de cultivo para a *M. acutistipula* var. *ferrea* e *S. crinitume* sessenta dias para o milho foi avaliado a altura das plantas e comprimento das raízes. Para a determinação da massa seca, as plantas foram separadas em parte aérea e raízes e colocadas em estufas com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 70°C, até peso constante.

### 3.5 Teores de nutrientes

Para a realização das análises de teores de nutrientes presentes na parte e na raiz das plantas, pesou 500 mg do material, triturou-se em pequenas porções. As amostras foram digeridas em 10 ml de HNO<sub>3</sub>, por 30 min a uma temperatura de 150°C, em um sistema de digestão em bloco. Adicionou-se 1,0 ml de HClO<sub>4</sub> elevando a temperatura a 210°C por 20 min. Diluiu-se o material digerido com água destilada para 25 ml. Amostras em branco foram incluídas para que possa ter um controle das amostras e qualidade dos resultados (PEREIRA et al., 2017).

Foi avaliado o índice de translocação dos macro e micro nutrientes da raiz para a parte aera das plantas pela seguinte formula.

$$It = \frac{Tpa}{Tt} \times 100$$

Onde, o índice total ( $It$ ) igual ao teor de nutriente na parte aérea ( $Tpa$ ) dividido pelo teor de nutriente total na planta ( $Tt$ ) x 100.

### 3.6 Análises anatômicas e histoquímicas

Utilizou-se duas plantas de cada repetição para fazer as análises anatômicas, foram coletadas raízes e folhas, sendo que para a *M. acutistipula var ferrea* foi coletado a sexta folha, e utilizado o folíolo intermediário, na *S. crinitume* no milho coletou-se a segunda folha, onde as folhas estavam completamente estendidas e utilizando a região mediana das folhas. Padronizou a região da zona pilífera das raízes para as três espécies.

A análise histoquímica para identificação de Fe nos tecidos foliares foi realizada a partir de cortes transversais feitos a mão livre com material fresco na região mediana das folhas coletadas. Para a identificação do Fe, foi preparado uma solução de ferrocianeto de potássio a 5% e uma solução de ácido clorídrico a 10%, esta coloração é conhecida como Azul de Prússia (ADAMSKI et. al. 2012). Em microtubos, adicionou-se 1 ml de cada solução, onde os cortes foram deixados nesta solução por 24 horas. Os recipientes ficaram abertos para que a reação aconteça, e em seguida, lavou-se os cortes com água destilada, montou-se as lâminas e as análises foram realizadas em microscópio de luz (Zeiss, Oberkochen, Alemanha) que possui uma câmera AxioCamErc 5s (Zeiss, Oberkochen, Alemanha) acoplada a objetiva e ligada ao computador, onde as imagens foram salvas em CD.

As análises anatômicas das raízes e das folhas foram feitas com dois indivíduos de cada repetição. O material foi fixado em FAA,

desidratados em uma sequência de diferentes concentrações de álcool (70, 80, 90 e 100), deixados por 15 minutos em vácuo e duas horas em cada concentração alcoólica, e deixado por 24 horas em solução de resina para pré-infiltração composta de etanol 100% e resina líquida base (1:1), para depois realizar emblocamento com o kit HistoResin (Leica Microsystems, Heidelberg, Alemanha).

Os cortes foram feitos em micrótopo semi automático rotativo com espessura de corte 8 µm de espessura e corados com azul de toluidina (O'Brien, 1994) tampão acetato 0,1 M, pH 4,7, e lavados com água destilada para retirar o excesso de corante. As laminas foram montadas com Verniz vitral. As laminas foram analisadas em microscópios de luz (Zeiss, Oberkochen, Alemanha) que possui uma câmera AxioCamErc 5s (Zeiss, Oberkochen, Alemanha) acoplada ao computador onde foram armazenadas e salvas em CD (PIRES et al., 2015).

No software imajetoll Tool, versão 3.0 (University of Texas Health Science Center, San Antonio, TX, EUA), foi medido os tecidos dos vegetais. Para anatomia foliar mediu-se epiderme abaxial e adaxial, mesofilo, área do cilindro vascular, e quantidade de vasos de xilema, na raiz mediu-se área total da raiz, área do cilindro vascular, área do xilema, espessura da epiderme da raiz, córtex endoderme, tamanho da célula de xilema e quantidade de células xilemáticas.

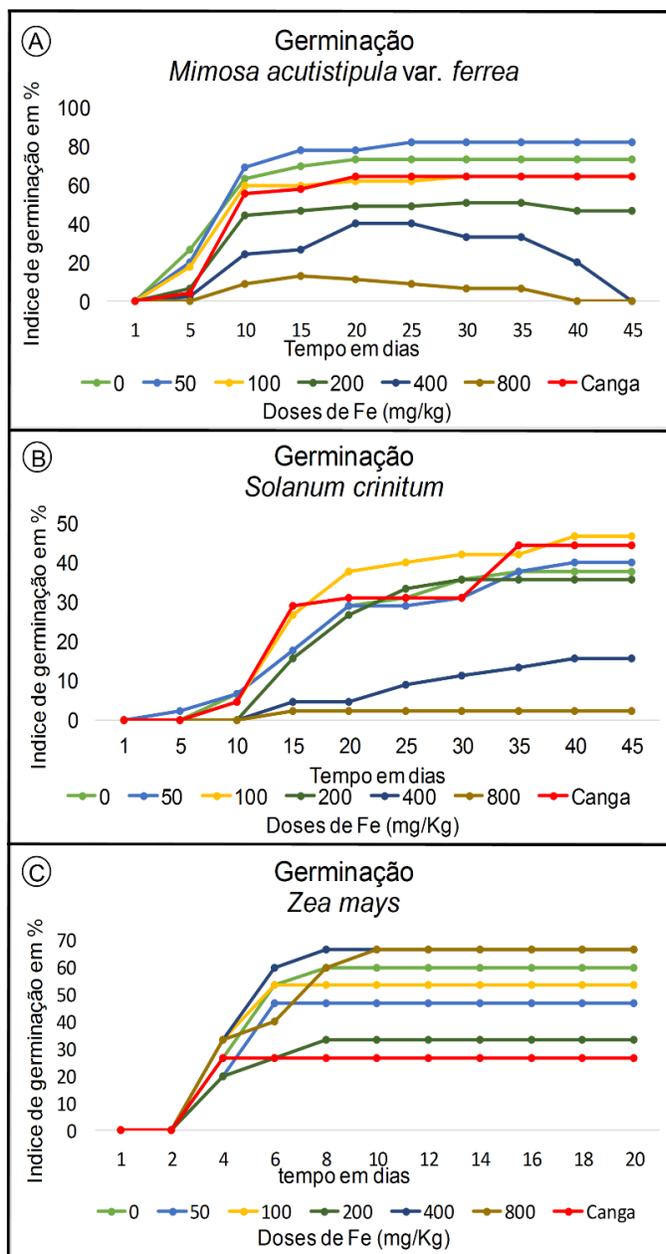
Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ao teste de média (SkottKnott, a 5% e 1%) com o uso do programa estático SISVAR (FERREIRA 2008).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Germinação

Observou que as doses de Fe influenciaram na germinação das três espécies avaliadas, sendo o efeito menos drástico para o milho, intermediário para a *M. acutistipula* var. *ferrea* e mais drástico para a *S. crinitum* (Figura 3).

Quando se analisou as plantas cultivadas em solo de canga, observou-se que a *M. acutistipula* var. *ferrea* e a *S. crinitum* apresentaram os maiores índices, de aproximadamente 66% e 40% para a *M. acutistipula* var. *ferrea* e a *S. crinitum* respectivamente. Resultado diferente ocorreu para o milho, onde essa espécie obteve 30% de índice de germinação. Os resultados encontrados para o milho podem estar relacionados à falta de nutrientes no solo de canga, o qual, possivelmente, comprometeu a germinação dessa espécie, que é altamente dependente de nutrientes para se desenvolver.



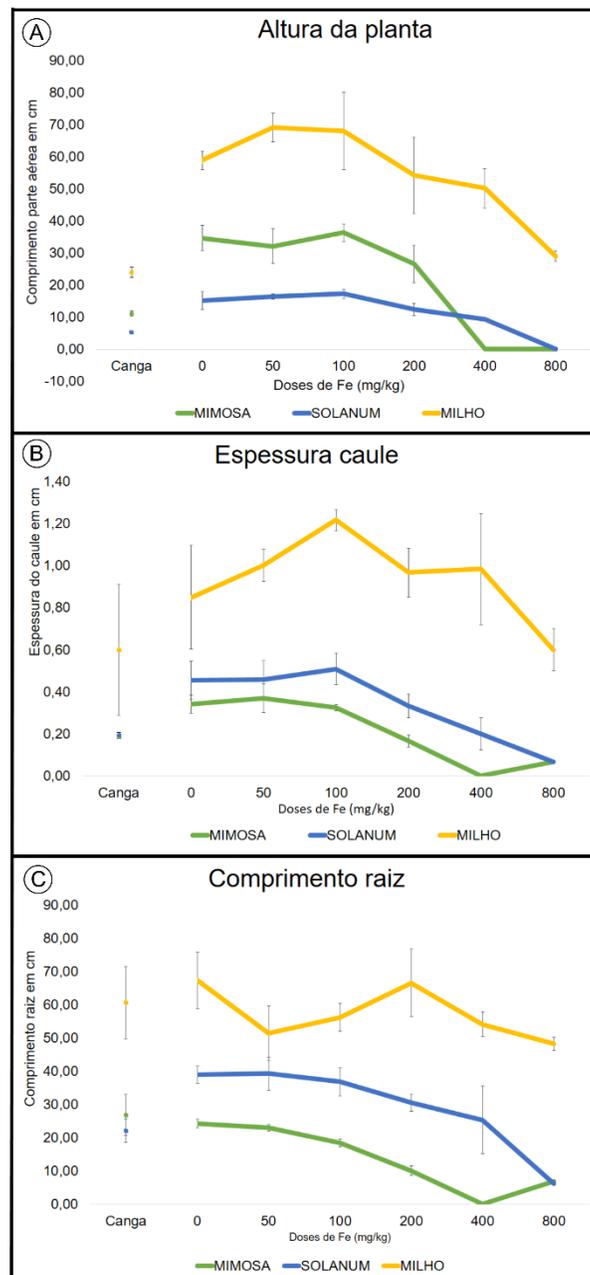
**Figura 3** – Índice de germinação da *M. acutistipula* var. *ferrea*, *S. crinitum* e *Zeamays*, em diferentes concentrações de Fe. A mimosa e solanum foram avaliadas a cada 5 dias durante 45 dias, e no milho a cada 2 dias durante 20 dias.

Observa-se na figura 3C que a partir do 15º dia até o 45º tem a morte das plantas, nas maiores concentrações de Fe. Mostrando que as espécies atingiram o maior índice de germinação e, em seguida as plantas começaram a morrer. No tratamento de 200 mg kg<sup>-1</sup> temos um pequeno índice de morte das plantas, já na dose 400 e 800 mg kg<sup>-1</sup> este índice é bem maior chegando a morte total das plantas nesses tratamentos. Na dose de 400 mg kg<sup>-1</sup> as plantas começam a morrer a partir do 25º dia e chegando a morte de todas as plantas no 45º dia, já no tratamento de 800 mg kg<sup>-1</sup> as plantas começaram a morrer a partir do 15º dia e chegando a morte de todas as plantas no 40º dia. Para a *S. crinitum* as plantas cultivadas na dose de 800 mg kg<sup>-1</sup> também morreram, porém estas mortes ocorreram após o período de avaliação de germinação.

Foi observado que os maiores índices de germinação ocorreram nas doses menores de Fe, pois as sementes necessitam de uma grande quantidade de ATP, sendo importante o fornecimento de Fe nesta etapa. Os menores índices e morte das plântulas, observado nas doses mais altas de Fe pode ter ocorrido pelo fato do armazenamento do Fe em vacúolos prejudica o desenvolvimento das plântulas (NOZOYE et al., 2007).

## 4.2 Crescimento

Na figura 4, são apresentado os resultados para a altura, comprimento das raízes e diâmetro do caule da *M. acutistipula* var. *ferrea*, *S. crinitum* e *Z. mays* em função das doses de Fe aplicadas. De maneira geral, as menores e intermediarias doses aplicadas não tiveram efeito bem definido para essas variáveis.

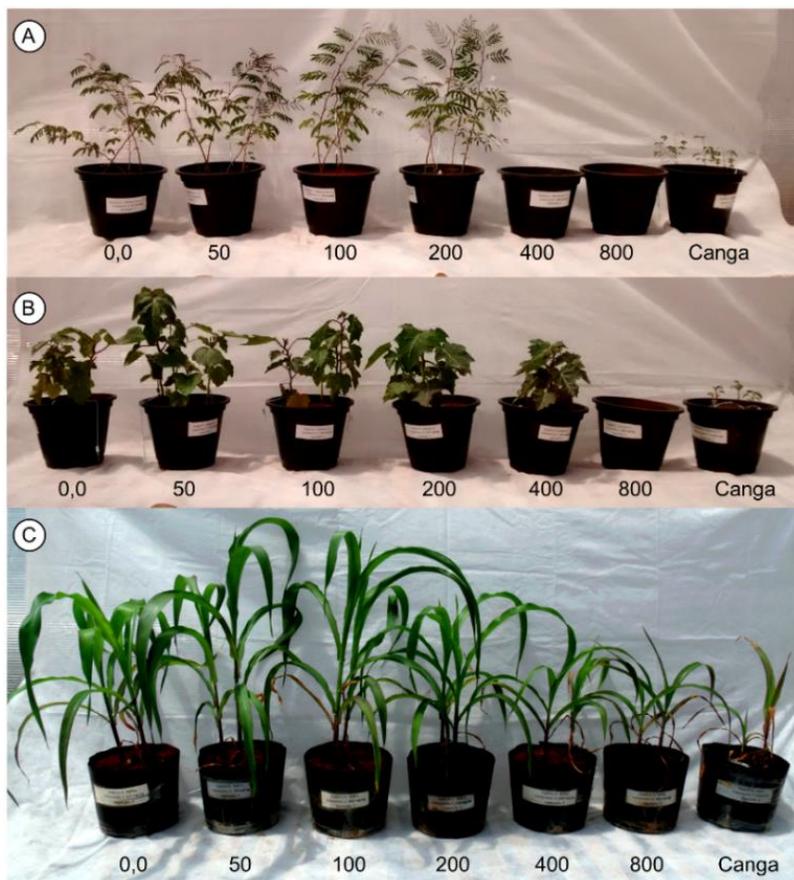


**Figura 4** – Altura da parte aérea (A), espessura do caule (B) e comprimento da raiz (C) das espécies após 120 dias de cultivo para *M. acutistipula* var. *ferrea* e *S. crinitum* com 60 dias para o *Zeamays*, submetidos ao teste estatístico skott-knott  $p < 0,05$

Por outro lado, as maiores doses de Fe reduziram a altura das plantas, o comprimento das raízes e o diâmetro do caule, anulando a germinação das sementes e, conseqüentemente, a determinação dessas variáveis a partir da dose de 400 e 800 mg kg<sup>-1</sup> para a *M. acutistipula* e *S. crinitum*, respectivamente.

O fato do Fe ser um elemento essencial para as plantas explica os resultados obtidos neste trabalho, ou seja, plantas intermediarias quando não se aplica Fe, plantas maiores nas doses intermediarias e plantas menores e até morte das plantas nas doses maiores de Fe. Possivelmente, o excesso de Fe no meio de cultivo causou alterações fisiológicas no interior das plantas, promovendo a redução no crescimento e morte dessas plantas.

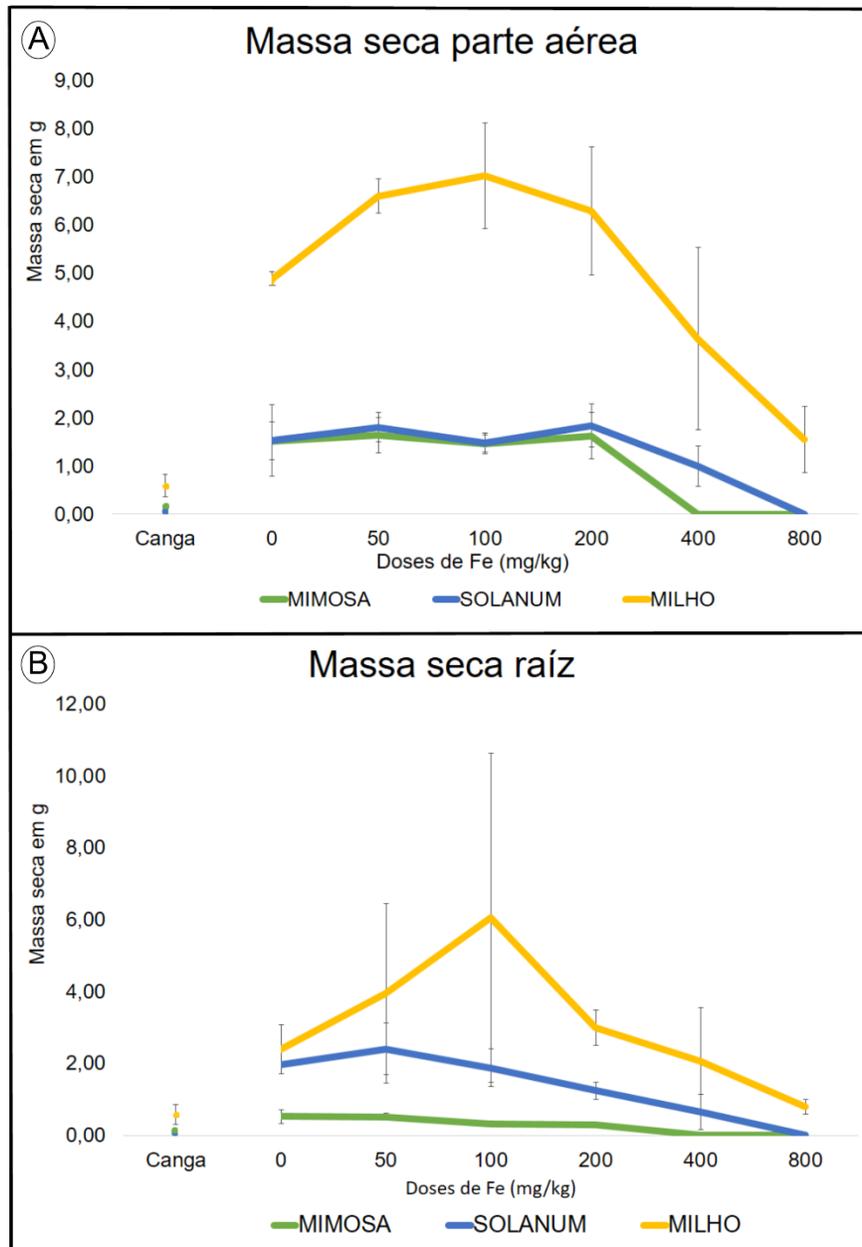
A Figura 5 representa o desenvolvimento das espécies em função das doses de Fe e da utilização do solo de canga. Observou-se que a *M. acutistipula* var. *férrea* desenvolveu até a dose de 200 mg/kg de Fe, e as maiores plantas foram verificadas nas doses de 100 mg/kg e 200 mg/kg de Fe. Enquanto que a *S. crinitum* desenvolveu-se até a dose de 400 mg/kg de Fe, sendo o tratamento que proporcionou maior crescimento foi o de 50 mg/kg de Fe. Por outro lado, as plantas de milho desenvolveram em todas as doses de Fe, porém seu desenvolvimento foi afetado nas doses maiores. Comparando o crescimento das plantas cultivadas no solo de canga com as de Latossolo adubado e com as doses de Fe, nota visivelmente na figura 5 que as plantas no solo de canga tiveram seu desenvolvimento comprometido pela não aplicação de nutrientes, mostrando que o solo desse ecossistema limita o crescimento das plantas.



**Figura – 5** Visualização do crescimento das plantas de *Mimosa acutistipula* variedade férrea (A), *Solanum crinitum* (B) com 120 dias de cultivo e *Zeamays* (C) com 60 dias de cultivo.

### 4.3 Massa seca da parte aérea e raiz

A massa seca da parte aérea e raiz das espécies estudadas foram significativamente influenciadas pelo aumento das doses de Fe aplicadas no solo (Figura 6). As três espécies apresentaram comportamento semelhante, ou seja, incremento na produção de biomassa nas doses intermediárias e redução nas maiores doses de Fe aplicadas.



**Figura 6** – Produção de massa seca da parte aérea (A) e raiz (B). Submetidas ao teste estatístico skott-knott  $p < 0,05$ .

O Fe sendo um elemento essencial para as plantas contribuiu para o aumento na produção de massa seca nas doses menores (Figura 6). Porém, a diminuição na produção de massa seca pode ser causada pelo stress oxidativo causado pelo excesso desse elemento. O acúmulo deste metal nos tecidos pode ocasionar danos a algumas estruturas como DNA, proteínas, decorrentes da produção de radicais livres advindos do excesso de Fe presente nos tecidos celulares (NAGAJYOTI; LEE; SREEKANTH, 2010).

#### **4.4 Efeito das doses de Fe nos teores de macro e micronutrientes na parte aérea e nas raízes**

Nas tabelas 2 e 3 são apresentados os teores de macro e micro nutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas *M. acutistipula* var. *ferrea*, *S. crinitum* e *Zeamays* em função das doses de Fe aplicadas. De maneira geral, as três espécies estudadas apresentaram diferentes respostas em termos de teores de nutrientes na parte aérea e nas raízes, com os tratamentos de Fe utilizados. Para a parte aérea, a *M. acutistipula* mostrou aumento nos teores de S, B e Cu. Já a *S. crinitum* apresentou aumento nos teores de K, Cu e Fe, e redução nos teores de Ca. Enquanto que as plantas de milho aumentaram os teores de N, P K, S e Zn com as doses de Fe aplicadas. Para os teores de nutrientes nas raízes, as doses de Fe aumentaram os teores de S e Mn para a *M. acutistipulavar. ferrea*, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Zn na *S. crinitum*, enquanto favoreceu somente o aumento de N nas raízes das plantas de milho.

O solo de canga proporcionou os maiores teores para alguns elementos na parte aérea e nas raízes das três espécies estudadas. Na

parte aérea, observou maior quantidade de K, Ca, Mn e Zn na *M. acutistipular. ferrea*, maior Mg na *S. crinitum* e maiores teores de Ca, S e Fe nas plantas de milho. Nas raízes, o solo de canga promoveu os maiores teores de S e Mn na *M. acutistipular. ferrea*, N, Mg, S, Cu e Zn na *S. crinitum*, e N e Mn nas plantas de milho. Esses resultados podem estar associados ao menor crescimento dessas espécies no solo de canga, que promoveu efeito de concentração desses elementos ocasionado pelo menor desenvolvimento vegetal promovido nesse solo.

**Tabela 2** – Teores de macro e micronutrientes massa seca da parte aérea de *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, *Solanum crinitum* e *Zeamays* em função das doses de ferro

|   | Dose de Fe | N      | P     | K                  | Ca     | Mg    | S     | B                   | Cu    | Fe      | Mn      | Zn     |
|---|------------|--------|-------|--------------------|--------|-------|-------|---------------------|-------|---------|---------|--------|
|   |            |        |       | g kg <sup>-1</sup> |        |       |       | mg kg <sup>-1</sup> |       |         |         |        |
| <i>M. acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> | 0          | 18,6 a | 1,0 a | 7,4 b              | 10,5 b | 1,2 b | 0,7 c | 46,6 b              | 5,4 b | 333,2a  | 114,8 b | 21,6 b |
|   | 50         | 20,2 a | 1,1 a | 6,9 b              | 11,1 b | 1,5 a | 1,3 c | 55,4 b              | 6,4 b | 300,5 a | 126,8 b | 20,2 b |
|   | 100        | 22,8 a | 1,0 a | 5,9 b              | 9,4 b  | 1,3 b | 1,7b  | 46,0 b              | 8,4a  | 351,1a  | 163,3 b | 18,1 b |
|   | 200        | 26,3 a | 1,4 a | 7,4 b              | 7,2 b  | 1,0 b | 2,7 a | 68,5 a              | 11,0a | 329,0a  | 138,4 b | 20,1 b |
|   | Canga      | 24,2a  | 0,7 a | 9,9a               | 17,9 a | 1,0 b | 0,4 d | 83,5 a              | 10,3a | 346,0a  | 243,0a  | 26,3a  |
|   | 0          | 21,4 b | 1,3a  | 29,2 b             | 17,1a  | 2,7a  | 0,7 b | 73,8a               | 8,1 b | 614,6 c | 67,1 b  | 40,9a  |
| <i>S. crinitum</i>                        | 50         | 21,7 b | 1,2a  | 28,8 b             | 18,7a  | 2,8a  | 1,4 b | 63,2a               | 8,5 b | 936,6 b | 77,1 b  | 25,9a  |
|   | 100        | 16,7 c | 1,2a  | 27,4 b             | 16,3a  | 2,82  | 1,5 b | 56,8a               | 9,7 b | 1327,1a | 159,9a  | 26,3a  |
|   | 200        | 25,8 b | 1,2 a | 31,7 b             | 10,6 b | 1,8 b | 0,8 b | 52,3a               | 14,1a | 1424,9a | 173,0a  | 26,4a  |
|   | 400        | 37,9 a | 1,5a  | 40,9a              | 12,0 b | 2,7a  | 2,9 b | 43,4 b              | 17,7a | 1282,2a | 98,2 b  | 28,8a  |
|   | Canga      | 18,5 c | 1,5a  | 19,2 c             | 5,1 c  | 2,5a  | 1,0 b | 24,1 c              | 6,4 b | 298,5 c | 83,5 b  | 27,5a  |
|   | 0          | 13,9 b | 1,1 b | 16,3 b             | 4,2 b  | 2,3a  | 0,3 b | 19,2 b              | 5,3a1 | 364,3 b | 83,9 c  | 16,3 b |
| <i>Z. mays</i>                            | 50         | 15,6 b | 1,4 b | 19,0 b             | 1,5 b  | 1,1a  | 0,4 b | 12,5 b              | 5,9a1 | 279,4 b | 106,8 c | 16,5 b |
|   | 100        | 19,2 b | 1,8a  | 20,9 b             | 1,9 b  | 1,6a  | 0,7 b | 10,5 b              | 5,8a1 | 239,8 b | 83,6 b  | 22,0 b |
|   | 200        | 26,4 b | 1,9a  | 28,6a              | 2,3 b  | 2,0a  | 1,6a  | 12,1 b              | 6,4a1 | 428,0 b | 109,8 c | 24,2 b |
|   | 400        | 28,1a  | 1,8a  | 33,4a              | 1,3 b  | 1,5a  | 1,5a  | 20,8 b              | 8,2a1 | 779,9 b | 89,3 b  | 37,2a  |
|   | 800        | 26,1 a | 0,8 b | 28,6a              | 6,9a   | 2,3a  | 1,1a  | 32,9a               | 4,4a1 | 1571,2a | 161,2a  | 33,5a  |
|   | Canga      | 14,5 b | 0,7 b | 10,4 c             | 6,6a   | 1,1a  | 1,2a  | 38,7a               | 6,6a1 | 2587,5a | 33,6 d  | 16,7 b |

Para cada espécie, as médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 3** – Teores de macro e micronutrientes massa seca da raiz de *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, *Solanum crinitum* e *Zeamays* em função das doses de ferro

|   | Dose de Fe | N      | P     | K      | Ca    | Mg    | S     | B      | Cu     | Fe        | Mn      | Zn     |
|---|------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-----------|---------|--------|
|   |            |        |       |        |       |       |       |        |        |           |         |        |
| <i>M. acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> | 0          | 12,4 b | 0,9 a | 7,4 a  | 5,8 a | 1,0 a | 1,3 b | 49,2 a | 8,8 a  | 3713,0 a  | 29,6 c  | 16,0 a |
|   | 50         | 13,0 b | 0,7a  | 7,0 a  | 3,5 a | 0,9 a | 2,4 b | 42,5 a | 10,0 a | 2583,9 a  | 65,8 a  | 12,8 a |
|   | 100        | 14,2 b | 1,3 a | 7,8 a  | 5,1 a | 1,4 a | 3,4 a | 42,5 a | 16,7 a | 8180,0 a  | 91,5 a  | 19,4 a |
|   | 200        | 18,9a  | 1,1 a | 9,9 a  | 5,0 a | 1,4 a | 3,2 a | 50,0 a | 16,1 a | 5675,5 a  | 100,3 a | 16,1 a |
|   | Canga      | 14,8 b | 0,7 a | 8,9 a  | 5,4 a | 1,1 a | 3,3 a | 27,4 b | 10,9 a | 2542,2 a  | 70,8 b  | 12,1 a |
| <i>S. crinitum</i>                        | 0          | 12,6 a | 1,0 a | 15,8 a | 4,9 a | 1,0 b | 0,8 b | 55,7 a | 10,3 b | 3431,3 c  | 41,4 a  | 18,3 a |
|   | 50         | 14,1 a | 1,1 a | 13,1 a | 5,2a  | 1,3 b | 1,5 b | 50,1 a | 11,9 b | 3170,4 c  | 38,9 a  | 13,9 b |
|   | 100        | 13,1 a | 1,2 a | 12,7 a | 4,6 a | 1,3 b | 1,5 b | 26,0 a | 14,8 b | 3809,0 c  | 56,1 a  | 12,6 b |
|   | 200        | 14,3 a | 1,0 a | 16,9 a | 4,5 a | 1,4 b | 2,3 a | 39,4 a | 13,7 b | 3320,3 c  | 59,4 a  | 10,9 b |
|   | Canga      | 24,8 a | 1,5 a | 25,3 a | 2,8 a | 1,5 a | 2,6 a | 39,0 a | 26,8 a | 5942,0 b  | 60,2 a  | 19,8 a |
| <i>Z. mays</i>                            | 0          | 14,3 b | 0,8 a | 12,3 a | 4,3 a | 0,9 a | 1,1 a | 40,2 a | 17,6 a | 10371,4 a | 38,5 b  | 18,1 a |
|   | 50         | 12,7 b | 1,0 a | 15,3 a | 4,1 a | 0,8 a | 1,0 a | 27,3 a | 20,6 a | 16540,0 a | 49,7 b  | 20,7 a |
|   | 100        | 11,6 b | 0,9 a | 5,6 a  | 0,8 b | 0,6 a | 1,1 a | 20,2 a | 27,8 a | 24922,3 a | 82,4 b  | 18,6 a |
|   | 200        | 13,0 b | 0,9 a | 6,2 a  | 1,5 b | 0,6 a | 1,4 a | 22,7 a | 32,1 a | 18241,8 a | 91,4 b  | 18,1 a |
|   | 400        | 17,0 a | 1,0 a | 8,0 a  | 1,3 b | 0,7 a | 1,4 a | 33,7 a | 31,9 a | 21568,6 a | 116,6 b | 19,6 a |
|   | 800        | 18,8 a | 1,2 a | 9,4 a  | 1,6 b | 0,7 a | 1,9 a | 34,9 a | 39,7 a | 26127,1 a | 158,5 b | 26,3 a |
|   | Canga      | 16,9 a | 0,9 a | 14,5 a | 1,7 b | 0,8 a | 2,6 a | 43,5 a | 32,1 a | 51703,2 a | 324,3 a | 27,0 a |

Para cada espécie, as médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

#### **4.5 Efeito das doses de Fe na translocação de macro e micronutrientes da raiz para a parte aérea nas espécies avaliadas**

A tabela 4 mostra os índices de translocação para os macro e micro nutrientes em função das doses de Fe. De maneira geral, as doses de Fe pouco influenciaram o índice de translocação dos nutrientes avaliados nas três espécies. A maior variação foi encontrada para o Mn para a *M. acutistipula* var. *ferreae* S. *crinitum*; S, B e Mn para a *solanum*; K, Ca e Mg para o milho. Para as três espécies, o Fe foi o nutriente menos translocado da raiz para a parte aérea.

O teor de Fe na raiz, observado na tabela 3 pode ser causado pela queda na translocação deste metal para a parte aérea, pode ter interferido na translocação de outros nutrientes para a planta, fazendo com que a raiz tenha a função de reservatório de nutrientes, disponibilizando os elementos em baixas quantidades e em um determinado período de tempo (ZHANG; ZHANG; MAO, 1999).

O aumento de barreiras, como espessamento de endoderme e que ocorreu na *M. acutistipula* var. *ferreae* pode ter influenciado o transporte de elementos essenciais para as plantas, explicando a redução nos teores de alguns elementos Mn para *M. acutistipula* var. *ferreae*, S, B e Mn para *solanum* e K, Ca e Mg para o milho, e o Fe para as três espécies.

Outro fator que pode ter contribuído para a redução na translocação desses nutrientes é o tamanho do feixe xilemático ter diminuído, essa modificação diminui a quantidade de elementos e de Fe transportado para a parte aérea, na tentativa de diminuir o efeito tóxico causado pelos metais.

**Tabela 4** - Índice de translocação de nutrientes da raiz para a parte aérea em (%) de *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, *Solanum crinitum* e *Zeamays* em função das doses de ferro

|   | Dose de Fe | N      | P      | K      | Ca     | Mg     | S      | B      | Cu     | Fe     | Mn     | Zn     |
|---|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <i>M. acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> | 0          | 59.9 a | 52.7 a | 50.2 a | 63.8 b | 53.2 b | 38.2 a | 49.1 b | 38.1 a | 8.2 a  | 79.2 a | 57.4 a |
|   | 50         | 60.6 a | 61.6 a | 50.3 a | 77.8 a | 66.0 a | 35.8 a | 56.9 b | 39.6 a | 10.5 a | 65.3 b | 61.2 a |
|   | 100        | 61.7 a | 49.6a  | 45.0 a | 64.6 b | 47.8 a | 34.7 a | 50.4 b | 37.1 a | 7.0 a  | 63.9 b | 50.6 a |
|   | 200        | 57.8 a | 54.5 a | 42.5 a | 59.1 b | 42.3 a | 45.3 a | 57.7 b | 40.1 a | 5.4 a  | 57.8 c | 54.9 a |
|   | Canga      | 62.0 a | 48.3 a | 52.7 a | 76.6 a | 47.0 a | 11.7 b | 75.3 a | 48.4 a | 11.9 a | 77.4 a | 68.4 a |
| <i>S. crinitum</i>                        | 0          | 63.1 a | 57.3 a | 65.1 a | 79.2 a | 73.8 a | 47.0 a | 57.5 b | 45.4 a | 15.3 b | 62.6 b | 66.7 a |
|   | 50         | 60.5 a | 51.6 a | 68.7 a | 77.8 a | 67.1 a | 47.8a  | 56.9 b | 42.0 a | 25.0 a | 65.8 b | 64.9 a |
|   | 100        | 55.2 b | 51.3 a | 68.1 a | 77.8 a | 67.0 a | 50.8 a | 69.0 a | 39.7 a | 25.9 a | 73.8 a | 67.6 a |
|   | 200        | 64.2 a | 53.7 a | 67.3 a | 66.5 a | 54.3 a | 24.2 b | 56.5 b | 50.6 a | 30.3 a | 74.3 a | 70.6 a |
|   | 400        | 64.4 a | 52.6 a | 73.2 a | 76.3 a | 61.4 a | 48.5 a | 49.0 c | 42.0 a | 5.1 a  | 55.0 b | 56.1 a |
|   | Canga      | 42.7 c | 51.0 a | 43.0 b | 63.6 a | 62.8 a | 27.0 b | 38.0 d | 19.3 b | 4.7 a  | 57.9 b | 58.0 a |
| <i>Z. mays</i>                            | 0          | 46.2 b | 61.1 a | 57.0 b | 50.6 a | 72.3 a | 20.6 b | 32.4 a | 28.5 a | 5.3 a  | 69.1 a | 49.3 a |
|   | 50         | 55.0 b | 56.9 a | 55.1 a | 27.1 c | 55.9 b | 28.9 b | 33.5 a | 22.4 a | 1.7 a  | 68.1 a | 44.1 a |
|   | 100        | 61.9 a | 66.9 a | 78.2 a | 68.1 a | 70.3 a | 33.6 b | 33.1 a | 18.7 a | 0.9 a  | 49.8 a | 54.0 a |
|   | 200        | 67.2 a | 67.2 a | 81.9 a | 59.5 a | 75.3 a | 52.4 a | 36.4 a | 18.6 a | 2.3 a  | 55.1 a | 57.2a  |
|   | 400        | 62.3 a | 63.8 a | 80.8 a | 51.7 b | 68.1 a | 51.7 a | 36.4 a | 20.5 a | 3.5 a  | 45.4 a | 65.2 a |
|   | 800        | 58.2 a | 39.0 b | 75.4 a | 77.6 a | 72.4 a | 38.3 b | 48.5 a | 10.1 a | 6.4 a  | 54.8 a | 56.5 a |
|   | Canga      | 46.2 b | 43.5 b | 45.7 b | 80.0 a | 57.2 b | 32.9 b | 47.5 a | 24.5 a | 5.3 a  | 10.8 b | 38.3 a |

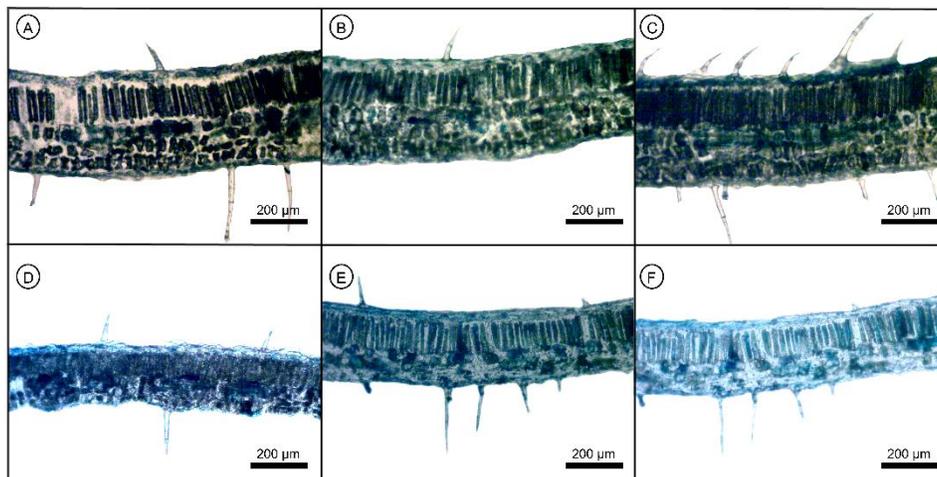
Para cada espécie, as médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

#### 4.6 Histoquímico

A coloração Azul de Prússia foi utilizada visando observar os locais de acumulação do Fe nos tecidos vegetais para as três espécies estudadas. Este método complementa os estudos que visam a identificação do Fe, podendo ser identificado em pequenas ou em grandes quantidade, e podem ser detectado em microscopia de luz mostrando a localização e distribuição do Fe nos tecidos vegetais estudados.

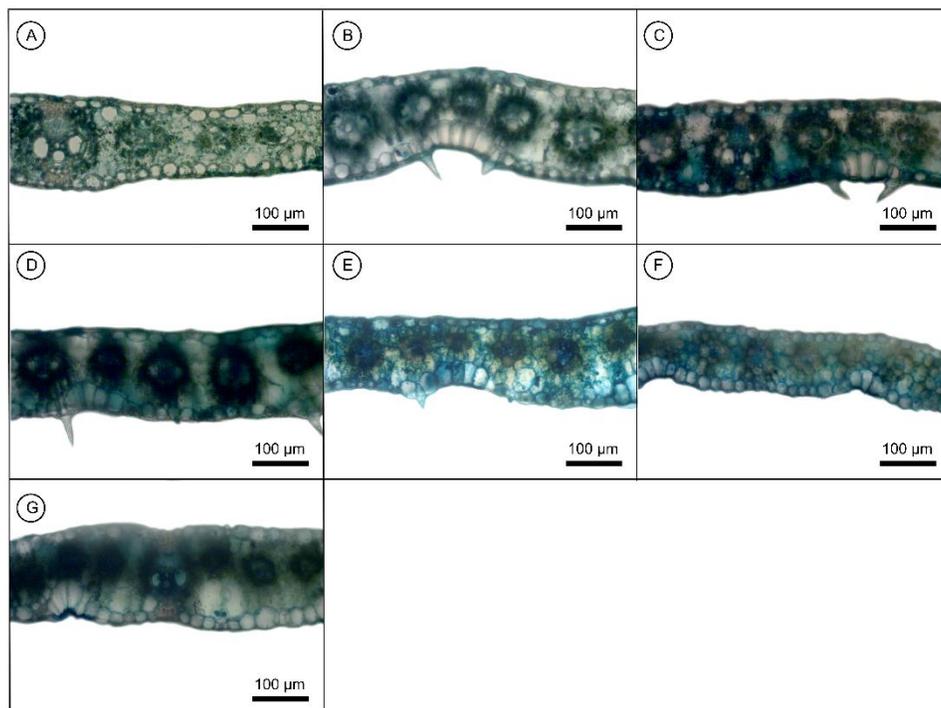
O teste histoquímico para o acúmulo de Fe nas folhas de *S. crinitum* e *Z. maysé* representado na figura 7 e 8. Na figura 7 observa-se o mesofilo da folha de *S. crinitum* contendo pontos azulados, que podem corresponder à deposição de Fe. A sequência de imagens na figura 7 indica pela sua coloração que à medida que a concentração de Fe aumenta, visualiza uma maior área corada de azul, indicando que há maior acúmulo de Fe no mesofilo foliar.

Também, observa-se que além da coloração azulada no mesofilo foliar, esta coloração é observada na epiderme a partir do tratamento 200 mg/kg de Fe (Figura D), nota-se, além disso, uma pequena região azulada nos tricomas, indicando que o Fe, também, possa estar armazenado nos anexos da epiderme.



**Figura 7** – Análise histoquímica da folha de *Solanum crinitum*, em diferentes concentrações de Fe. Metodologia utilizada Azul de Prússia, onde a coloração azulada indica a presença de Fe armazenado nos tecidos. (A) tratamento controle, (B) 50 mg kg, (C) 100 mg kg, (D) 200 mg kg, (E) 400 mg kg e em, (F) solo de canga

Para o milho, (Figura 7) verificou-se resultado semelhante ao da *S. crinitum*, onde a coloração azulada predomina ao redor dos feixes vasculares e espalha-se ao longo do mesofilo à medida que aumentou a dose de Fe, fato também observado na epiderme.



**Figura 8** – Análise histoquímica da folha de Milho, em diferentes concentrações de Fe. Metodologia Azul de Prússia, onde a coloração azulada indica a presença de Fe nos tecidos, (A) tratamento controle, (B) 50 mg kg, (C) 100 mg kg, (D) 200 mg kg, (E) 400 mg kg, (F) 800 mg kg e em (G) solo de canga.

O armazenamento do Fe a nível subcelular como a compartimentalização nos vacúolos e em plastídios são mecanismos cruciais que fazem as plantas suportarem a toxidez de Fe. Nos plastídios é encontrado a ferritina que estão ligadas ao armazenamento do Fe (BRIAT; DUBOS; GAYMARD, 2015). No presente estudo foi identificado o acúmulo de Fe nos tecidos fotossintetizantes, o acúmulo de Fe nestes tecidos pode estar relacionado ao fato do Fe ter participação no mecanismo fotossintético das plantas.

O teste não foi realizado para a *M. acutistipularum ferrea*, seus folíolos sendo muito pequenos foi difícil a visualização e identificação do local de

armazenamento do Fe nos tecidos do mesofilo foliar através da na microscopia de luz, pois no preparo utiliza cortes à mão livre.

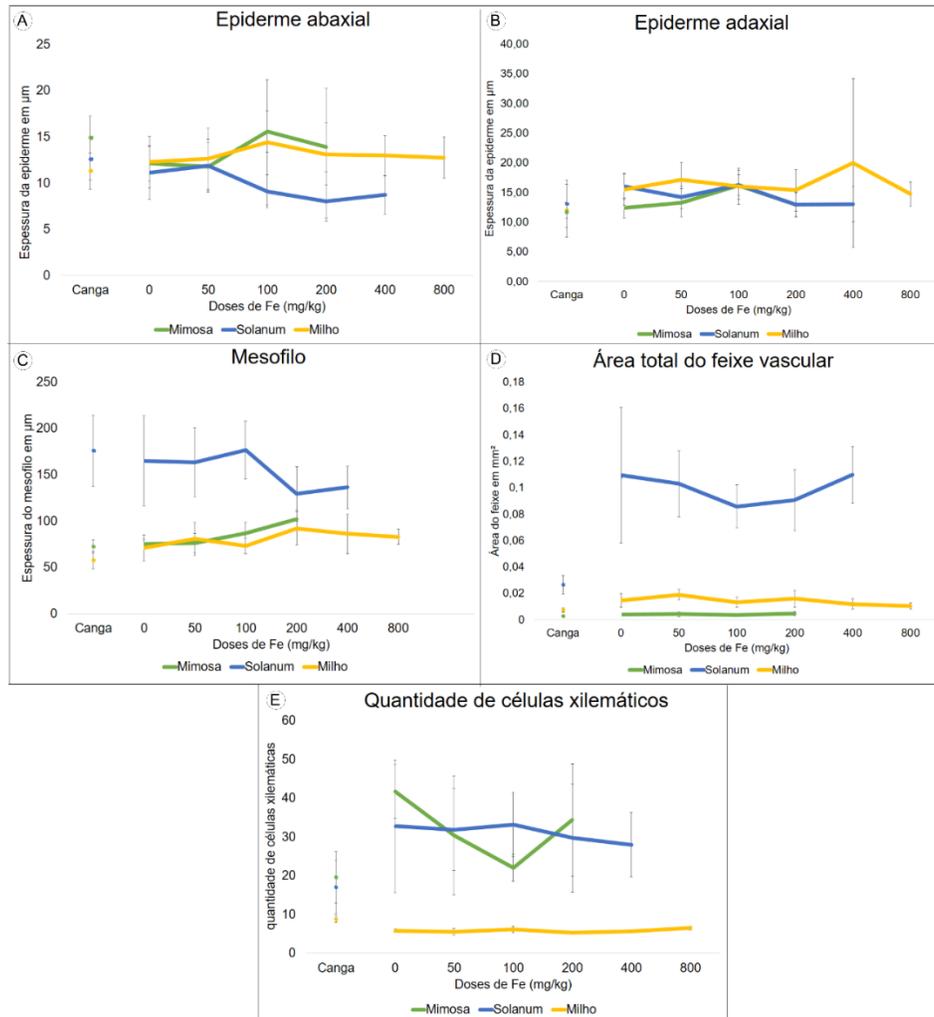
## 4.7 Anatomia

### 4.7.1 Folha

Observou-se que para a *M. acutistipula* var. *ferrea* que a maioria das variáveis avaliadas apresentaram efeito significativo em função das doses de Fe aplicadas. Houve espessamento da epiderme até as doses intermediárias (Figura 9 A e B), enquanto o mesofilo mostra que a espessura destes tecidos aumenta gradualmente até a maior dose de Fe aplicada (Figura 9C). Por outro lado, os feixes vasculares (Figura 9D) mostram resultados distintos, com aumento na área do feixe vascular até 100 mg/kg de Fe, seguido de uma diminuição desta área e posterior aumento novamente. A Figura 9D indica que a quantidade de células de xilema diminui nas doses intermediárias de Fe e aumenta nas doses maiores. Os resultados também mostram que o solo de canga exerceu influência nos tecidos vegetais da *M. acutistipula*, com menores médias observadas para esse solo.

Os resultados para folha de *Solanum crinitum*, mostra que a epiderme tende a diminuir sua espessura nas maiores doses de Fe (Figura 9A e B). O mesofilo aumenta suas espessuras até a dose de 100 mg kg, e nas doses maiores de Fe diminui sua espessura (Figura 9 C). A área do feixe vascular diminui nas doses menores e aumenta sua área nas doses maiores. Há um aumento na quantidade de células xilemáticas nas doses

menores e nas doses mais altas Fe há uma queda na quantidade destas células no feixe.

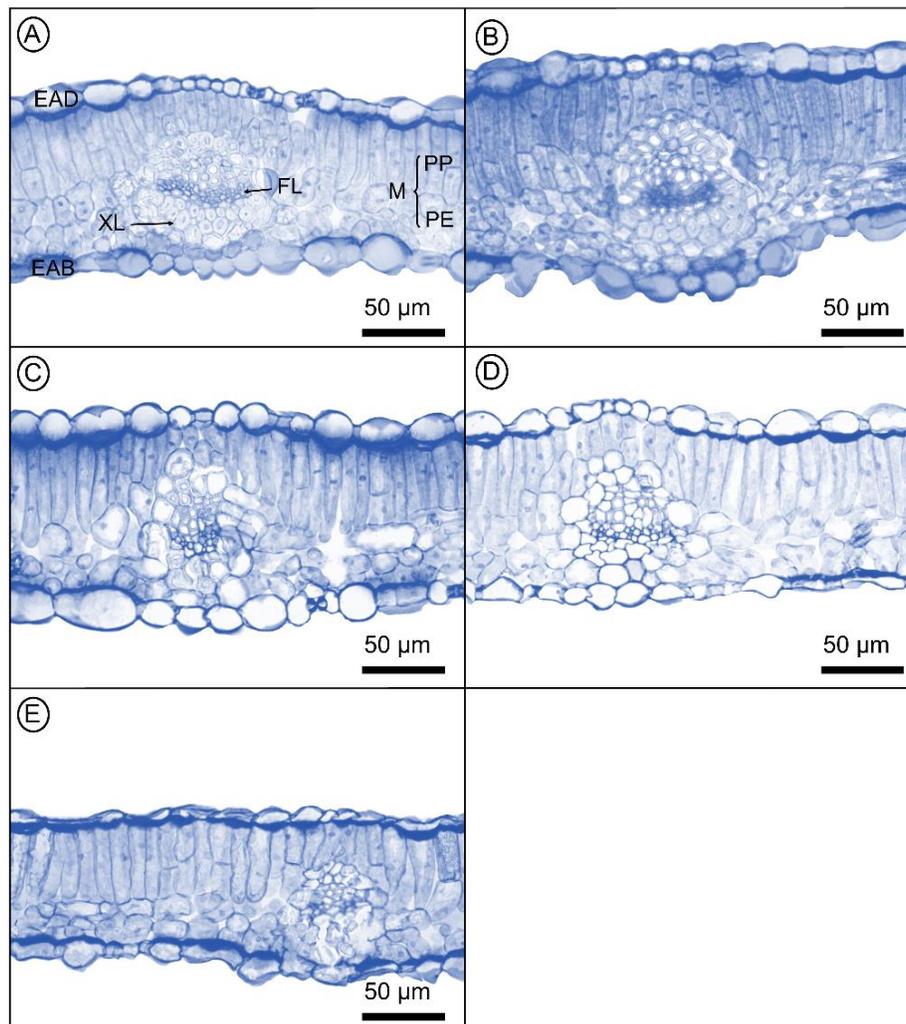


**Figura 9** - Anatomia foliar das três espécies estudadas, (A) epiderme abaxial, (B) epiderme adaxial, (C) mesofilo, (D) área do feixe vascular e em (E) quantidade de células de xilema. Submetidos ao teste estatístico skott-knott  $p < 0,05$ .

De maneira geral, as doses de Fe aplicadas não alteraram significativamente a epiderme adaxial e abaxial, o mesofilo, a área total do feixe vascular e do xilema e a quantidade de número de células xilemáticas. Porém observa-se que as epidermes se espessaram nas doses intermediárias, porém nas doses mais altas houve uma redução na espessura das epidermes, (Figura 9A e B). Também, observou o Fe reduziu o tamanho do feixe vascular, e, por outro lado, aumentou o número das células xilemáticas.

Diferentemente das espécies que são encontradas na canga ferruginosa, o milho desenvolveu em todos os tratamentos, o que pode ser consequência do melhoramento vegetal, para apresentar crescimento precoce e resposta à adição de nutrientes, mesmo com a presença de Fe no meio de crescimento. O solo de canga proporcionou o menor crescimento, resultado esse que pode estar associado à ausência da adubação, a qual limitou o seu crescimento.

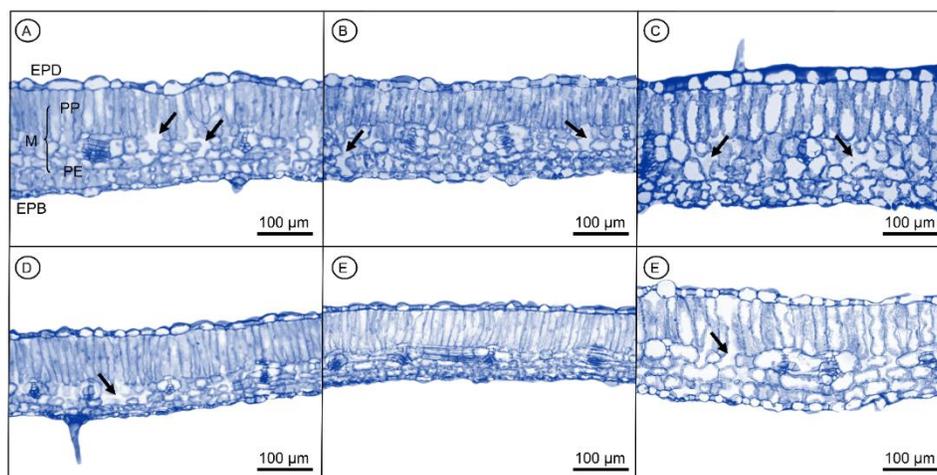
A figura 10 representa imagens das folhas de *M. acutistipula* var. *ferrea*, geradas a partir da microscopia de luz, onde observa-se a epiderme adaxial (EAD), epiderme abaxial (EAB), o mesofilo (M) que se divide em parênquima paliçádico (PP) e parênquima esponjoso (PE), o feixe vascular composto por floema (FL) ao centro e xilema (XL) na parte exterior.



**Figura 10** – Imagens dos folíolos de *Mimosa acutistipula* variedade *ferrea* geradas a partir de microscopia de luz. (A) tratamento controle, (B) 50 mg kg, (C) 100 mg kg, (D) 200 mg kg e em (E) solo de canga. Imagens vistas no aumento de 40X.

A figura 11 mostra o mesofilo de *S. crinitum* em função das diferentes doses de Fe aplicadas no Latossolo e na canga sem a

aplicação desse elemento. Observou maior espessura do mesofilo nas doses intermediárias de Fe e no solo de canga.

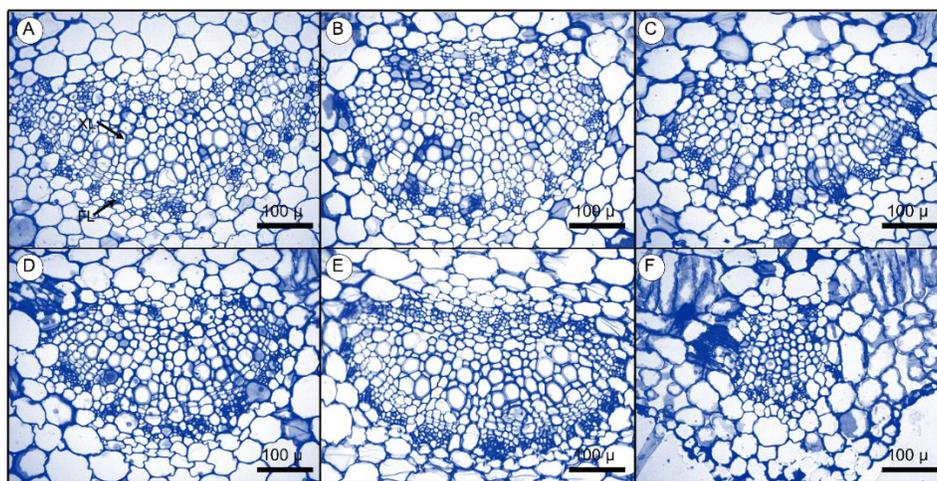


**Figura 11** – Imagens do mesofilo foliar de *Solanum crinitum*, geradas a partir de microscopia de luz, as imagens foram capturas no aumento de 20X. (A) tratamento controle, (B) 50 mg kg, (C) 100 mg kg, (D) 200 mg kg, (E) 400 mg kg e em (F) solo de canga.

Verificou-se que a epiderme adaxial (EPD) é mais espessa do que a epiderme abaxial (EPB), e que o mesofilo não é homogêneo (M) dividindo em parênquima paliçádico (PP) e parênquima esponjoso (PE), e esse se divide em paliçádico e esponjoso. Na concentração abaixo de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  de Fe observou-se células maiores com espaços intracelular indicados pelas setas, e plantas cultivadas na dose de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  verifica-se células menores e justapostas, proporcionando pouco ou nenhum espaço intracelular. A figura 13 mostra o feixe vascular central das folhas de *S. crinitum*. Ao contrário da *M. acutistipula* o feixe vascular da *S. crinitum* é formado por xilema ao centro e floema na parte exterior.

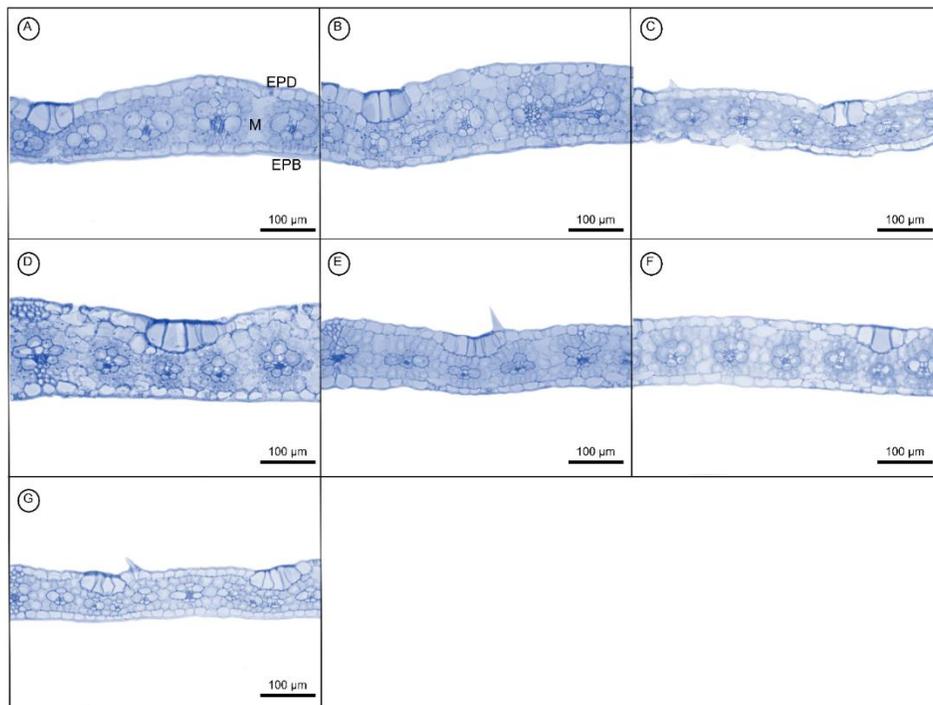
A figura 12 mostra o feixe vascular central das folhas de *S. crinitum*, as imagens foram geradas por microscopia de luz e capturadas no

aumento de 20X. Ao contrário da *M. acutistipula* var. *ferrea* feixe vascular da *S. crinitum* é formado por xilema (XL) ao centro e floema (FL) na parte exterior. Podemos observar que na imagem (F) o feixe vascular das plantas cultivadas no solo de canga, observa-se que são plantas com o menor diâmetro e números de células xilemáticas, quando se compara com as plantas cultivadas em Latossolo.



**Figura 12** – Imagens da nervura central de *Solanum crinitum*, geradas a partir de microscopia de luz, capturadas na objetiva de 20X. (A) tratamento controle, (B) 50 mg kg, (C) 100 mg kg, (D) 200 mg kg, (E) 400 mg kg e em (F) solo de canga.

A figura 13 mostra o mesofilo da folha de *Z. mays*. Nas imagens, pode-se observar a epiderme adaxial (EPD) e abaxial (EPB), o conjunto de células buliformes e o mesofilo (M), sendo esse classificado como homogêneo. O mesofilo mais espesso foi observado no tratamento onde aplicou a dose de 200 mg de Fe. Por outro lado, o mesofilo menos espesso foi observado no solo de canga, resultado esse que corrobora com os anteriores, uma vez que nesse solo promoveu o menor desenvolvimento vegetal em função da não aplicação de nutrientes.



**Figura 13** - Imagens de microscopia de luz do mesofilo foliar do *Zeamays*. Imagens geradas a partir de microscopia de luz, capturadas no aumento de 20X. (A) tratamento controle, (B) 50 mg kg, (C) 100 mg kg, (D) 200 mg kg, (E) 400 mg kg, (F) 800 mg kg em (G) solo de canga.

O aumento da espessura da epiderme abaxial e adaxial nas doses intermediárias de Fe, para as três espécies estudadas, as quais foram observadas nas imagens de microscopia, podem estar associadas ao acúmulo deste metal em seu tecido. Estudos descrevem que o armazenamento do Fe ocorre tanto na epiderme abaxial quanto na adaxial, (SANTANA et al., 2014). E a redução destes tecidos nas doses maiores podem ser causados pela intoxicação por este metal.

O espessamento do mesofilo, conseqüentemente do parenquima paliçádico e esponjoso observado neste estudo, podem ter ocorrido devido

ao Fe estar ligado diretamente com o aparelho fotossintético das plantas. (CASTRO et al. 2009) dizem que estes tecidos são muito importantes para o metabolismo da planta sendo responsável pela produção de energia e fotoassimilados para o vegetal, sendo o ferro como elemento essencial para os processos como desenvolvimento do cloroplasto, biossíntese da clorofila e fotossíntese (NAGAJYOTI; LEE; SREEKANTH, 2010).

#### 4.7.2 Raiz

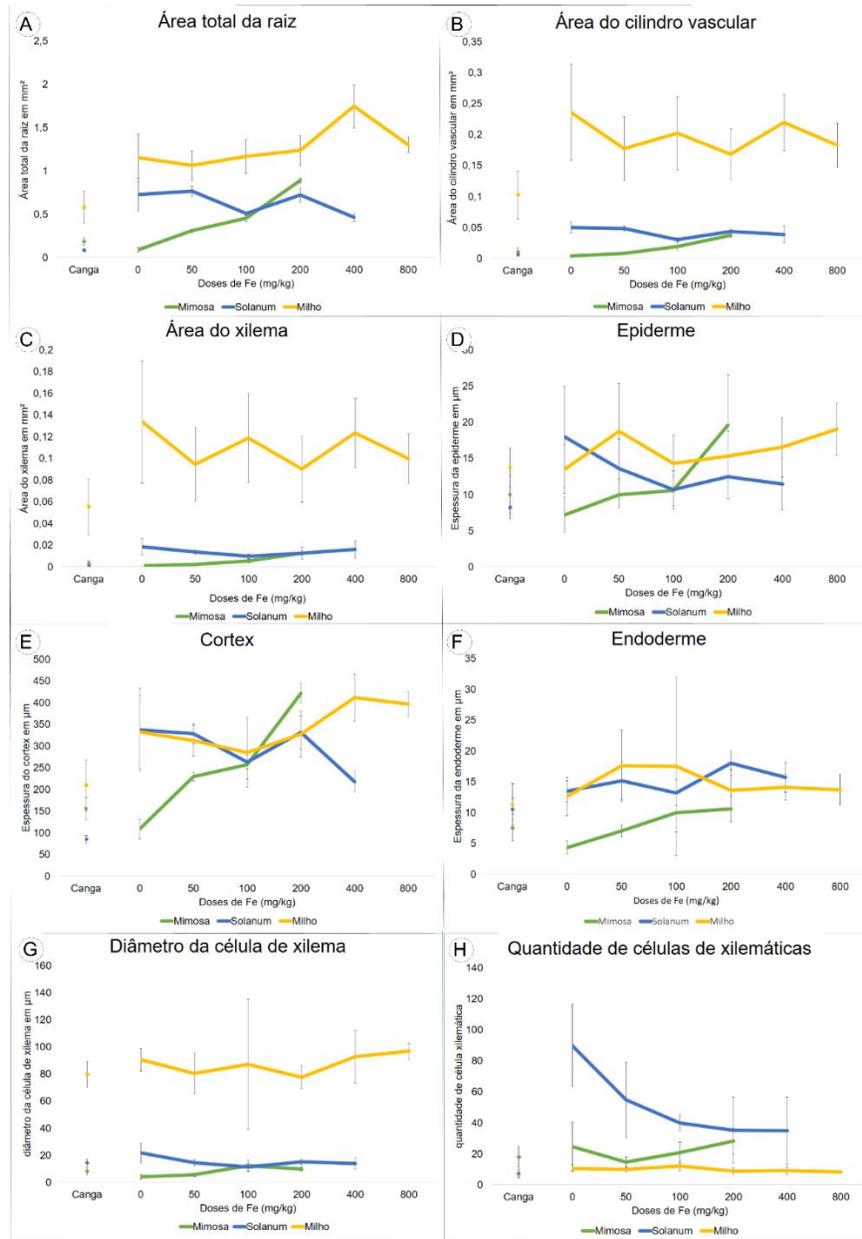
A figura 14 mostra os resultados obtidos para a raiz da *M. acutistipula* var. *ferrea*, *S. crinitum* e *Z. mays*. Onde foram avaliados a área total da raiz, área do cilindro vascular e do xilema, espessura da epiderme, córtex da raiz, endoderme, tamanho de vaso e a quantidade de vaso xilemático.

Para a *M. acutistipula* var. *ferrea*, todas as variáveis foi observado efeito significativo, com espessamento dos tecidos a medida que a concentração de Fe foi aumentando. No entanto a figura 14F, mostra que o tamanho dos feixes nas doses mais altas tendem a diminuir sua espessura.

Observou que as maiores doses de Fe tenderam a reduzir os tecidos da raiz na *S. crinitum*. De maneira geral, os menores valores para todas as variáveis analisadas foram encontrados no solo de canga. Esse resultado pode estar diretamente ligado ao menor desenvolvimento vegetal devido a não aplicação de nutrientes nesse solo. Diferentemente da *M. acutistipula* que o aumento da dose de Fe promoveu maior tamanho da raiz, na *S. crinitum* reduziu dos tecidos da raiz aumentando as doses de Fe.

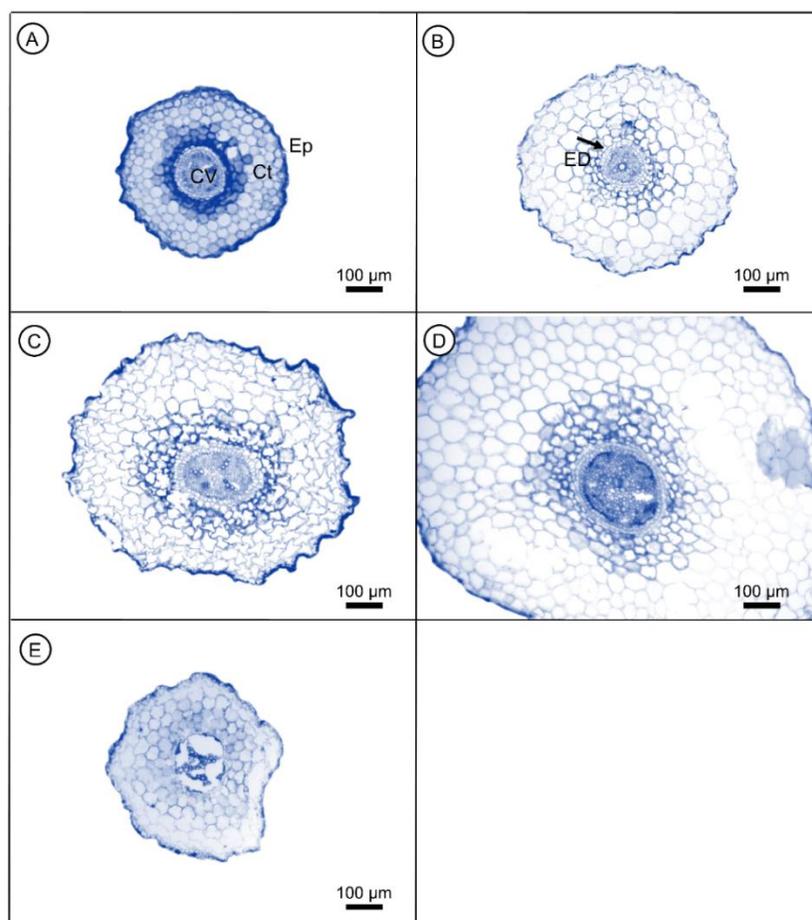
Analisando as variáveis para o milho, verifica-se que com o aumento da concentração de Fe, as raízes aumentaram sua área total (Figura 14A).

A epiderme e o córtex se espessaram nas doses mais altas, (Figura 14D e E). Observa-se que o tamanho das células xilemáticas diminui nas doses menores e aumenta nas doses maiores, no entanto há uma redução dessas células nas doses maiores. O Solo de canga influenciou na formação dos tecidos da raiz do milho também, este fato pode estar relacionado por este solo não ter recebido a adição de nutrientes.



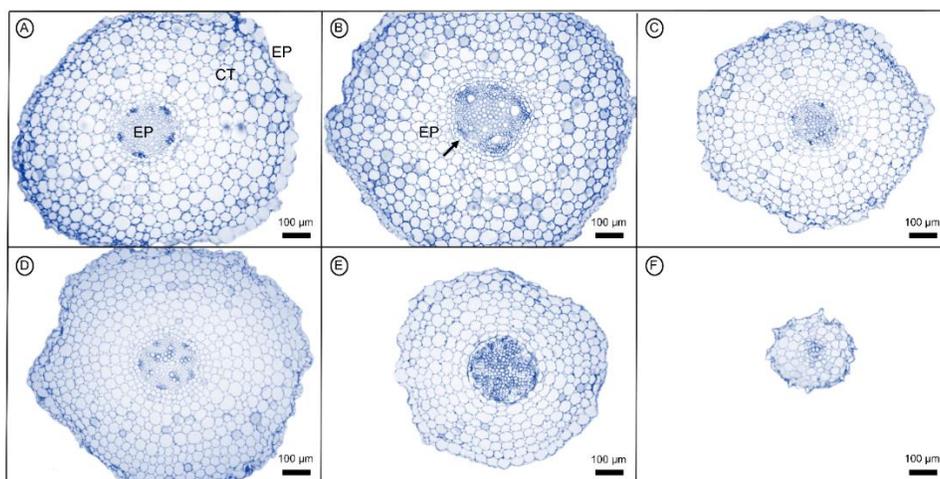
**Figura 14** - Anatomia das raízes das três espécies estudadas, (A) área total da raiz, (B) área do cilindro vascular, (C) área do xilema, (D) espessura da epiderme, (E) espessura do córtex, (F) tamanho da célula xilemática e em (G) número de células xilemáticas. Submetidos ao teste estatístico skott-knott  $p < 0,05$ .

As imagens geradas a partir de microscopia de luz das raízes são apresentadas na figura 15. Observa-se aumento da espessura dos tecidos da raiz, epiderme (EP), córtex (CT) e cilindro vascular (CV) com o aumento das doses de Fe. Nota se, também, que a raiz que desenvolveu no solo de canga teve semelhante espessura que no Latossolo sem as doses de Fe.



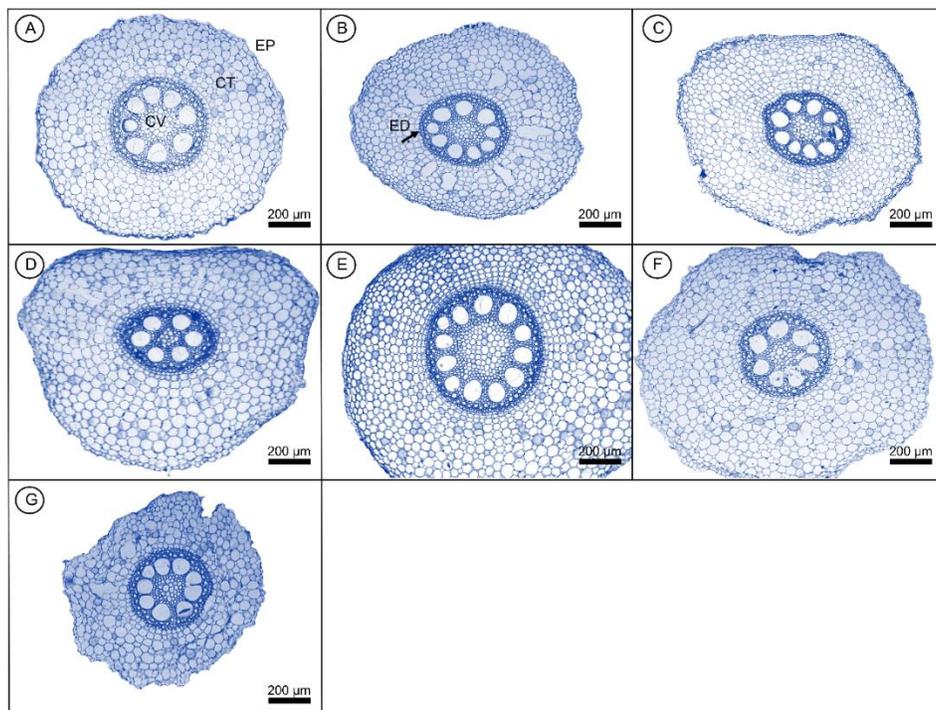
**Figura 15** – Imagens das raízes de *Mimosa acutistipula* variedade *ferrea*, geradas a partir de microscopia de luz. (A) tratamento controle, (B) 50 mg kg, (C) 100 mg kg, (D) 200 mg kg e, (E) solo de canga. Imagens vistas no aumento de 10X.

A figura 16 é possível visualizar as alterações nas raízes de *S. crinitum* em função das doses de Fe. Observa-se redução na espessura das raízes com o aumento das doses de Fe. O solo de canga proporcionou raízes mais finas, com tecidos poucos desenvolvidos.



**Figura 16** - Imagens das raízes de *Solanum crinitum*, geradas a partir de microscopia de luz. (A) tratamento controle, (B) 50 mg kg, (C) 100 mg kg, (D) 200 mg kg, (E) 400 mg kg em (F) solo de canga. As imagens foram capturadas no aumento de 10X.

A figura 17 mostra a raiz de milho em função dos tratamentos aplicados. Observou-se aumento no diâmetro da raiz da dose 50 até 400 mg de Fe, e redução do diâmetro no dose de 800 mg de Fe. O menor diâmetro foi observado plantas cultivadas em solo de canga.



**Figura 17** - Imagens das raízes de Zea mays, geradas a partir de microscopia de luz, (A) tratamento controle sem Fe, (B) 50 mg/kg, (C) 100 mg/kg, (D) 200 mg/kg, (E) 400 mg/kg, (F) 800 mg/kg e em (G) solo de canga. Imagens vistas no aumento de 10X.

A redução dos elementos condutores, observados neste estudo, é citada na literatura como uma adaptação que as plantas desenvolvem para garantir o fluxo constante, uma outra característica observada é a redução no número de células xilêmicas em razão da presença de metais pesados, sendo essas algumas plasticidades que permitem que uma planta sobreviva em um ambiente contaminado por metais (GOMES et al., 2011).

A presença e o aumento da espessura de barreiras apoplásticas, como por exemplo a endodere, observadas nas raízes das plantas nativas, tem um papel fundamental na proteção dos tecidos contra a

toxicidade de metais (SIQUEIRA-SILVA et al., 2012), o espessamento dessas células pode impedir que o Fe passe do cortex da raiz para o cilindro vascular, evitando que o Fe seja transportado para a parte aérea e cause danos nos tecidos foliares. Tal evidencia foi observada neste presente estudo, principalmente nas doses intermediarias de Fe.

Analisando os resultados de anatomia obtidos para o milho e comparando com os resultados da anatomia das especies nativas da canga ferruginosa, observamos que não teve muita influencia significativa nos tecidos celulares do milho, sendo que essa é uma cultivar melhorada geneticamente pelo homem, podendo explicar a alta resistencia das plantas mediante as doses de Fe.

## 5 CONCLUSÃO

As doses de Fe utilizadas influenciaram o crescimento das três espécies estudadas, observando incremento no crescimento nas doses intermediárias e redução no desenvolvimento das plantas nas maiores doses aplicadas.

As maiores alterações anatômicas foram observadas nos tecidos, epidermes, mesofilo, feixe vascular e córtex da raiz para as espécies estudadas.

Os teores de nutrientes foram alterados em função das doses de Fe aplicadas, principalmente para a espécie *M. acutistipula* var. *ferrea* que teve aumento nos teores de S, B, e Cu na parte aérea e aumento dos teores dos elementos S e Mn nas raízes. A *S. crinitum* mostrou aumento nos teores de K, Cu e Fe na parte aérea e, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Zn na raiz. Para o milho, observou aumento nos teores de N, P, K, S e Zn para parte aérea, e aumento dos teores de N na raiz.

A baixa disponibilidade de nutrientes no solo de canga comprometeu o desenvolvimento das três espécies estudadas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSKI, J. M. et. al. Responses to excess iron in sweet potato: Impacts on growth, enzyme activities, mineral concentrations, and anatomy. **Acta Physiologiae Plantarum**, 2012. v. 34, n. 5, p. 1827–1836.

ALFORD. É. R. ELIZABETH. A. H. MARK. W. P. **Metallophytes-a view from the rhizosphere**. Plant Soil, 2010. 337:33–50.

ALVES, L. Q. et al. **Effects of lead on anatomy, ultrastructure and concentration of nutrients in plants Oxycaryum cubense (Poep. & Kunth) Palla: A species with phytoremediator potential in contaminated watersheds**. Environmental Science and Pollution Research, 2014. v. 21, n. 10, p. 6558–6570.

ARAÚJO. T. O. et. al. **Morphoanatomical responses induced by excess iron in roots of two tolerant grass species**. Environmental Science and Pollution Research, 2015. 22:2187–2195.

BARNABY, R. C. Sensitivae Censitae. **A Description of the Genus Mimosa Linnaeus (Mimosaceae) in the New World**. Memoirs of The New York Botanical Garden, 1991. p. 835 pages.

BRIAT, J. F.; DUBOS, C.; GAYMARD, F. **Iron nutrition, biomass production, and plant product quality**. Trends in Plant Science, 2015. v. 20, n. 1, p. 33–40.

CASTRO. E. M. de. et. al. **Histologia vegetal: estruturas e funções de órgão vegetativos**. Lavras. UFLA, 2009. 234 p.

CHENG. H. et. al. **Does radial oxygen loss and iron plaque formation on roots alter Cd and Pb uptake and distribution in rice plant tissues?** Plant Soil, 2014. 375:137–148.

DIAS FILHO, M. B. **Plantas invasoras em pastagens cultivadas da Amazônia: estratégias de manejo e controle**. 1990. p. 103.

DO CARMO, F. F.; JACOBI, C. M. **A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto**

**fitogeográfico.** Rodriguesia, 2013. v. 64, n. 3, p. 527–541.

FERNANDES. G.W. et al. **Challenges for the conservation of vanishing megadiverse rupestrian grasslands.** Nativa Conservação, 2014; 1 2(2):162–165.

Ferreira, D.F. **SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística.** Revista Symposium, 2008. v.6, p.36-41.

FIGUEIREDO, M. A.; BAETA, H. E.; KOZOVIT, A. R. **Germination of native grasses with potential application in the recovery of degraded areas in Quadrilátero Ferrífero, Brazil.** Biota Neotropica, 2012. v. 12, n. 3, p. 1–6.

GIACHETTI. G. SEBASTIANI. L. **Metal accumulation in poplar plant grown with industrial wastes.** Chemosphere 64, 2006. p. 446–454

GOMES, M. P. et al. **Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in Brachiaria decumbens.** Scientia Agricola, 2011. v. 68, n. 5, p. 566–573.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. **Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero , MG.** Megadiversidade, 2008. v. 4, n. 1–2, p. 25–33.

LINA. A. L. de R. et al. **Rehabilitattion of ironstone outcrops degraded by iron mining activity in Minas Gerais state Brazil.** Reclamation Across Industries, June, 2013. p. 287-294.

MAGALHÃES. P. C. et al. **Fisiologia do Milho.** Circular Técnica, 22, Embrapa Milho e Sorgo, Dezembro, 2002.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. Piracicaba, 1997. Potafos. 319p.

MOFFAT, K.; ZHANG, A. **The paths to social licence to operate: An integrative model explaining community acceptance of mining.** Resources Policy, 2014. v. 39, n. 1, p. 61–70.

MONTEIRO, H.S. et. al. **(U–Th)/He geochronology of goethite and the origin and evolution of cangas.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 131, 2014, p. 267–289.

NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D.; SREEKANTH, T. V. M. **Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review.** *Environmental Chemistry Letters*, v. 8, n. 3, p. 199–216, 2010.

NOZOYE, T. et al. **The expression of iron homeostasis-related genes during rice germination.** *Plant Molecular Biology*, v. 64, n. 1–2, p. 35–47, 2007.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho.** EMBRAPA. Circular Técnica 75, v. 75, p. 6, 2006.

PAULO CÉSAR MAGALHÃES et al. **Fisiologia do milho.** Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, p. 1–23, 2003.

PEREIRA, M. P. et. al. **Leaf ontogeny of *Schinus molle* L. plants under cadmium contamination: the meristematic origin of leaf structural changes.** *Protoplasma*, 2017.

PIRES, M. F. et al. **Etileno e peróxido de hidrogênio na formação de aerênquima em milho tolerante a alagamento intermitente.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 9, p. 779–787, 2015.

PRIORIT, R.; CONSERVA, R. P. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil.** Belo Horizonte: [s.n.].

RASBAND. W. ImageJ. software. **National Institute of Health:** Bethesda, MD, USA, v. 2012.1997

REYT, G. et. al. **Iron-and ferritin-dependent reactive oxygen species distribution: Impact on arabidopsis root system architecture.** *Molecular Plant*, v. 8, n. 3, p. 439–453, 2015.

SANTANA, B. V. N. et. al. **Leaf morphoanatomy of species tolerant to excess iron and evaluation of their phytoextraction potential.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 21, n. 4, p. 2550–2562, 2014.

SHI, G.; SUN, L.; WANG, X. **Leaf responses to iron nutrition and low**

**cadmium in peanut : anatomical properties in relation to gas exchange.** p. 99–111, 2014.

SILVA, A. I. S. et. al. **Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of restinga subjected to excess iron.** *Ecotoxicology and Environmental Safety* 78, 2012, p. 265–275.

SILVEIRA, F. A. O. et al. **Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority.** *Plant and Soil*, v. 403, n. 1–2, p. 129–152, 2016.

SIQUEIRA-SILVA, A. I. et. al. **Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of restinga subjected to excess iron.** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 78, p. 265–275, 2012.

SKIRY CZ, A. et. al. **Canga biodiversity, a matter of mining.** *Frontiers in plant science*, v. 5, n. November, p. 653, 2014.

SKIRY CZ. A. et. al. **Canga biodiversity, a matter of mining.** *Frontiers in Plant Science, Plant Genetics and Genomics*. November 2014. V. 5, Article 653.

SONTER, L. J. et. al. **Global demand for steel drives extensive land-use change in Brazil's Iron Quadrangle.** *Global Environmental Change*, v. 26, n. 1, p. 63–72, 2014.

VÁZQUEZ, D. P. et. al. **Ecological consequences of dead wood extraction in an arid ecosystem.** *Basic and Applied Ecology*, v. 12, n. 8, p. 722–732, 2011.

VINCENT, R. D. C.; MEGURO, M. **Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil.** *Revista Brasileira de Botânica*, v. 31, n. 3, p. 377–388, 2008.

ZHANG, X. K.; ZHANG, F. S.; MAO, D. R. **Effect of iron plaque outside roots on nutrient uptake by rice (Oryza sativa L.): Phosphorus uptake** *Plant and Soil*, 1999. Disponível em: <internal-pdf://416-2239054849/416.pdf%5Cn%3CGo to ISI%3E://000081309200004>