

**ANDRESSA PINTO DOS SANTOS**

**RESPOSTA DE PLANTAS FORRAGEIRAS A ADUBAÇÃO COM ZINCO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Dra. Mari Lucia Campos

**LAGES, SC  
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Santos, Andressa Pinto dos  
Resposta de plantas forrageiras a adubação com zinco /  
Andressa Pinto dos Santos. -- 2019.  
61 p.

Orientadora: Mari Lucia Campos  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência Do Solo, Lages, 2019.

1. Crescimento de plantas.. 2. Estado nutricional. . 3. Gramíneas  
forrageiras.. I. Campos, Mari Lucia . II. Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência Do Solo. III. Título.

**ANDRESSA PINTO DOS SANTOS**

**RESPOSTA DE PLANTAS FORRAGEIRAS A ADUBAÇÃO COM ZINCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina CAV - UDESC, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra Mari Lucia Campos

**Banca Examinadora**

**Orientadora:** \_\_\_\_\_  
Prof<sup>ª</sup>. Dra. Mari Lucia Campos  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC  
Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages - CAV

**Membro interno:** \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. David José Miquelluti  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC  
Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages - CAV

**Membro externo:** \_\_\_\_\_  
Dra. Marlise Nara Ciotta (Pesquisadora)  
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI  
Estação Experimental Lages

**LAGES, 14 de fevereiro de 2019.**



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço de forma especial a professora Dra. Mari Lucia Campos, por aceitar ser minha orientadora, pelo carinho, dedicação, paciência e aconselhamento dados durante todo o tempo.

Aos meus pais Margarida Pinto dos Santos e Homero Prestes dos Santos pelo amor, força e apoio durante toda esta etapa. A minha irmã Venesa e também colega pela ajuda prestada durante a realização de minha pesquisa, pelo carinho e apoio.

Um agradecimento especial também ao professor David José Miquelluti, pela contribuição no trabalho.

Aos colegas do laboratório, Kathleen Steiner, Ilana Suppi, Natiele Galvan, Fernanda Cantoni, Priscila Dors, Amanda, Tais, Andrei Souza e Matheus Machado. Em especial aos estagiários Jonathas e Tais pelo auxílio prestado na condução de meu experimento.

A Noellen Menegon, Elaine Melchiorretto e Frank Guillermo Intriago pela companhia e amizade, mesmo que por um curto tempo de convivência.

Aos laboratoristas Éderson Rodrigues Pereira e Matheus Rodrigo Machado pelo auxílio na execução das análises;

À Universidade do Estado de Santa Catarina pela oportunidade e a CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram, mas por ventura tenha esquecido de mencioná-los.



## RESUMO

A deficiência de zinco em bovinos criados a pasto no Brasil é relativamente comum, devido ao baixo nível deste mineral nos solos e nas forragens. Deste modo, o trabalho teve por objetivo avaliar a resposta a diferentes modos de aplicação de Zn, sobre a produtividade e o teor desse elemento na parte aérea, das seguintes espécies forrageiras: *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* cv. Pensacola. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, e o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de três modos de aplicação de sulfato de zinco: Zn-S- via solo ( $50 \text{ mg kg}^{-1}$ ); Zn-F-via foliar (10 ml de solução a 4%); Zn-S+F-solo/foliar ( $50 \text{ mg kg}^{-1} + 10 \text{ ml}$  de solução a 4%), sem aplicação de Zn (controle). Foram feitas avaliações *in vivo* (comprimento foliar, índice SPAD) e posteriores a colheita (produção de massa fresca da parte aérea, teor de Zn na massa seca). Para a determinação do Zn da parte aérea, a digestão das amostras foi realizada pelo método 3051A, sendo os resultados quantificados pelo ICP-OES. Após a obtenção dos dados, foram efetuadas comparações por meio de contrastes específicos: C1: controle - Zn-S; C2: controle - Zn-F; C3: Zn-S - Zn-S+F e C4: Zn-S+F - Zn-F e feitas análise das médias. Os maiores incrementos nos teores de zinco em relação ao controle foram verificados para os tratamentos em ordem decrescente Zn-S+F > Zn-F > Zn-S. A aplicação foliar de Zn (Zn-F) foi o tratamento mais eficaz, pois aumentou a produção de massa fresca e seca de parte aérea e atingiu teores de zinco adequados ao consumo animal (exceto para a Pensacola).

**Palavras chave:** Crescimento de plantas. Estado nutricional. Gramíneas forrageiras.





## ABSTRACT

The deficiency of zinc in cattle raised in Brazil is relatively common, due to the low level of this mineral in soils and fodder. The objective of this work was to evaluate the response to different forms of application of Zn, on the productivity and the content of this element in the shoot, of the following forage species: *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cultivars Aruana and Tanzania, *Paspalum notatum* cv. Pensacola. The experiment was conducted in a greenhouse, and the experimental design was completely randomized, with four replications. The treatments consisted of three forms of zinc sulphate application: Zn-S (50 mg kg<sup>-1</sup>); Zn-F (10 ml of 4% solution); Zn-S + F (50 mg kg<sup>-1</sup> + 10 ml of 4% solution) without application of Zn (control). In vivo evaluations (leaf length, SPAD index) and post harvest (fresh shoot mass (FSM), Zn content in dry mass- DM) were performed. For the determination of aerial part Zn, the samples were digested using the 3051A method, and the results were quantified by ICP-OES. After obtaining the data, comparisons were made through specific contrasts: C1: control - Zn-S; C2: control - Zn-F; C3: Zn-S - Zn-S+F and C4: Zn-S+F + Zn-F and analysis of means. The highest increases in zinc levels relative to the control treatments were verified in descending order Zn-S + F > Zn-F > Zn-S. Leaf application of Zn (Zn-F) was the most effective treatment, since it increased the production of fresh and dry mass of aerial part and reached levels of zinc suitable for animal consumption (except for Pensacola).

**Key words:** Plant growth. Nutritional status. Forage grasses.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Valores médios para as variáveis MSPA, MFPA, comprimento e altura de planta, SPADin, SPADme SPADsu obtidos para *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* cv. Pensacola e *Brachiaria humidicola* nos tratamentos controle, Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e foliar (Zn-S-F).....35
- Tabela 2-** Teores médios foliares de Ca, Mg, P, Cu, Fe, Zn e Mn obtidos para *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* Flügge cv. Pensacola e *Brachiaria humidicola* nos tratamentos controle, Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e foliar (Zn-S-F).....36
- Tabela 3-** Análise de contraste entre os tratamentos para as variáveis de crescimento e índice SPAD para *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* Flügge cv. Pensacola e *Brachiaria humidicola*.....43
- Tabela 4-** Análise de contraste entre os tratamentos para teores de Zn, Ca, Mg, Cu e Fe na parte aérea para *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* Flügge cv. Pensacola e *Brachiaria humidicola*.....44



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Ca: Cálcio

cm: Centímetro

CTC: Capacidade de Troca de Cátions

Cu: Cobre

Fe: Ferro

ICP-OES: Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry (Espectometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente)

Mg: Magnésio

Mn: Manganês

P: Fósforo

SPAD<sub>in</sub>: índice SPAD no terço inferior da planta

SPAD<sub>me</sub>: índice SPAD no terço médio da planta

SPAD<sub>su</sub>: índice SPAD no terço superior da planta

CAV: Centro de Ciências Agroveterinárias

CTC: Capacidade de Troca de Cátions

mg kg<sup>-1</sup>: Miligrama por quilo

NIST: National Institute of Standards and technology

SC: Santa Catarina

SPAD: Soil Plant Analysis Development

UDESC: Universidade do Estado de Santa Catarina

Zn: Zinco

Zn-F: Zinco aplicado via foliar

Zn-S: Zinco aplicado no solo

Zn-S+F: Zinco aplicado via solo e via foliar



## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 HIPÓTESES .....	19
1.2 OBJETIVOS .....	19
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	19
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:</b> .....	21
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS .....	21
2.2 ZINCO NO SOLO, TRANSPORTE E ABSORÇÃO EM PLANTAS.....	23
2.3 IMPORTÂNCIA DO ZINCO PARA CULTURAS, SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXIDEZ.....	25
2.4 BIOFORTIFICAÇÃO .....	27
2.5 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS:.....	28
<b>2.5.1 <i>Brachiaria humidicola</i></b> .....	28
<b>2.5.2 <i>Panicum maximum</i> (cv. Aruana e Tanzânia)</b> .....	28
<b>2.5.3 <i>Paspalum notatum</i> (cv. Pensacola)</b> .....	30
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS:.....	33
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
4.1 CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL .....	35
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	45
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47





## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Censo Agropecuário Brasileiro, o país possui um rebanho bovino composto por aproximadamente 218,2 milhões de cabeças (IBGE, 2017). Aproximadamente 4,5 milhões de cabeças são criadas no Estado de Santa Catarina, pertencendo ao município de Lages o maior rebanho do Estado (IBGE, 2017). A atividade pecuária brasileira apresenta-se fundamentada com base na criação de animais mantidos predominantemente a base de pastagens (MARTINS, 2010; GUIMARÃES et al., 2011). Tal característica, implica em um dos menores custos de produção de carne bovina do mundo (FERRAZ & FELÍCIO, 2010; HERNANDES et al., 2009).

Entre as espécies dominantes nesse sistema, estão as gramíneas dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* (MACEDO, 2005, PACIULLO et al., 2016), as quais se caracterizam pela elevada produtividade, boa qualidade de forragem e ampla adaptabilidade (COLOZZA et al., 2000; MANARIN, 2005). Por outro lado, apesar de não ter grande representatividade no país, a *Paspalum notatum* é a espécie que melhor se adapta às condições de clima e solo da região Sul do país (FONTANELI; SCHEFFER-BASSO, 1995) apresentando rendimentos relativamente altos (CHAMBLISS, 2000). Na maioria das situações, as forragens no geral, não contêm os nutrientes essenciais, necessários a atender de modo integral as exigências dos animais em pastejo (PAULINO et al., 2005).

De acordo com Minson (1990) apud Macpherson (2000) 11% das forrageiras (gramíneas e leguminosas) apresentam concentrações inferiores a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de zinco em matéria seca (), situação que caracteriza deficiência foliar (BERCHIELLI et al., 2006). A deficiência de Zn representa para as pastagens, um sério problema (CAKMAK, 2000; ALLOWAY, 2008; MOUSAVI, 2011), decorrente do fato de que os solos comumente utilizados no cultivo de pastagens, possuem baixa fertilidade natural, problemas de acidez e baixa disponibilidade de micronutrientes (CARVALHO; BARBOSA; MCDOWELL, 2003; PRADO et al., 2012) e limitação de drenagem (MACEDO, 1999). O Zn é um dos elementos mais deficientes em ruminantes mantidos exclusivamente a pasto (PRADO, 2008).

Concentrações de zinco na parte aérea inferiores a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de matéria seca (MS) (BERCHIELLI et al., 2006), causam a redução da taxa de crescimento, da produtividade e de sua qualidade (YOSHIDA; TANAKA, 1969; MUNSON & NELSON, 1973; CAKMAK, 2000; ALLOWAY, 2008; MOUSAVI, 2011), bem como redução da área foliar e altura das plantas (MARSCHNER, 1995). Nestas condições, as plantas também apresentam nanismo, clorose internerval, desenvolvimento de folhas anormais e folhas rosetadas, encurtamento de

internódios das plantas (SANTOS et al., 2009; MUNER et al., 2011), redução da fotossíntese (ALLOWAY, 2008; CHEN et al., 2008) a qual pode chegar a 70%, dependendo da espécie vegetal (ALLOWAY, 2008), inibição da diferenciação e do desenvolvimento das plantas (CAKMAK, 2000).

Embora requerido em pequenas concentrações e apesar de tóxico quando em concentração muito elevadas, o zinco (Zn) é considerado primordial às plantas (PINTO et al., 2009, HOODA, 2010; TRIPATHI et al., 2015). Sua essencialidade decorre do fato deste elemento estar associado ao metabolismo de proteínas, carboidratos e auxinas (MARSCHNER, 1995), além de atuar em processos de multiplicação e crescimento das células (YAMADA, 1996), servir como ativador e/ou componente estrutural de enzimas essenciais as plantas (ALLOWAY, 1995), tais como: aldolase e isomerases (MOUSAVI, 2011), desidrogenases, proteinases, peptidases e fosfohidrolases (MARSCHNER, 1995). Como essas enzimas estão envolvidas no processo fotossintético, a deficiência de Zn reflete na fotossíntese (TEIXEIRA et al., 2004).

Mesmo em situações em que não se verifique a existência de deficiência de zinco nas pastagens, o teor de Zn no tecido vegetal, em muitas forrageiras, tende a ser inferior a exigência mínima de animais mantidos em pastoreio (ALLOWAY, 2008), a qual é de 30 mg kg<sup>-1</sup> de Zn de MS para bovinos de corte (NRC, 1996). Esta exigência ainda maior para animais destinados a produção de leite (WEISS, 2002).

Uma vez constatada a deficiência de zinco em pastagens, a correção pode ser feita através da aplicação de fertilizantes a base de zinco (ALLOWAY, 2008), sendo o sulfato de zinco uma das formas mais utilizadas e eficientes para corrigi-la, devido à alta solubilidade e o baixo custo deste fertilizante (CAKMAK, 2009), capaz de promover o aumento nos teores de Zn nas plantas (YANG & ZHANG, 2006; KUTMAN et al., 2011) e na produtividade (HERNANDES et al., 2009; SANTOS et al., 2009; MUNER et al., 2011). Contudo, apesar da importância do zinco para as plantas, em especial para as gramíneas, ainda são escassos os estudos avaliando modos de aplicação e doses de Zn para atender as exigências nutricionais das culturas (ROMUALDO, 2008; PRADO et al., 2012).

## 1.1 HIPÓTESES

A aplicação de Zn ao solo aumenta a produtividade e a concentração de Zn na parte aérea de plantas de *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cultivares Aruana e Tanzânia e *Paspalum notatum* cv. Pensacola;

A aplicação de Zn via foliar aumenta a produtividade e a concentração de Zn na parte aérea de plantas de *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cultivares Aruana e Tanzânia e *Paspalum notatum* cv. Pensacola.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar se a produção e o teor de Zn na parte aérea de plantas de *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* cultivares Aruana e Tanzânia e *Paspalum notatum* cv. Pensacola, cultivadas num CAMBISSOLO HÚMICO está relacionada à forma de aplicação de sulfato de zinco.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar se há efeito da aplicação de zinco sobre o teor de Zn na parte aérea e na produção de massa seca e fresca de plantas de *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* cultivares Aruana e Tanzânia e *Paspalum notatum* cv. Pensacola

Avaliar se há efeito dos métodos de aplicação de Zn sobre o estado nutricional (teor de Zn, Ca, Mg, Cu, P, Mn e Fe) da parte aérea das forrageiras *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* cultivares Aruana e Tanzânia e *Paspalum notatum* cv. Pensacola.

Avaliar se há efeito dos métodos de aplicação de Zn sobre fatores de crescimento: Altura (ALT), comprimento foliar, massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e Índice SPAD no terço inferior, médio e superior da planta (SPADin; SPADme e SPADsu) de plantas de *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* cultivares Aruana e Tanzânia e *Paspalum notatum* cv. Pensacola.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os sistemas agropecuários em áreas tropicais e subtropicais apresentam-se alicerçados no uso de pastagens nativas ou plantados (JANK et al., 2011). Somente no Brasil, mais de 83% do rebanho bovino é mantido exclusivamente a base de pastagens, as quais são constituídas predominantemente por gramíneas, o que implica em um dos menores custos de produção de carne bovina do mundo (FERRAZ & FELÍCIO, 2010; HERNANDES et al., 2009).

Os melhores solos são destinados a lavouras de grãos ou a culturas de grande valor industrial, voltadas à produção de fibras, óleos, resinas, açúcar, etc. (MACEDO, 1999), enquanto os solos destinados para as pastagens no Brasil, possuem baixa fertilidade natural, problemas de acidez, baixa disponibilidade de micronutrientes (PRADO et al., 2012) e limitação de drenagem (MACEDO, 1999).

Estudos conduzidos no Estado de São Paulo e na Região Sul do Brasil, tem demonstrado carência generalizada de zinco em pastagens, a qual é mais pronunciada em solos mais arenosos (VENDRAME et al., 2007). Sousa & Darsie (1985) em levantamento realizado sobre carência mineral em bovinos no Nordeste de Roraima, relataram frequente deficiência de Zn em forrageiras e conseqüentemente baixos níveis de Zn no fígado dos animais, assim como Brum et al. (1987) observaram que solos arenosos no Pantanal mato-grossense produziram forragens deficientes em Zn nas diferentes épocas do ano.

Estudos realizados, no Estado do Rio Grande do Sul demonstraram que os teores médios de zinco em pastagens nativas foram inferiores a 20 mg kg<sup>-1</sup> de MS (CAVALHEIRO & TRINDADE, 1992; SENGER et al., 1997 e WUNSCH et al., 2005). Esses teores são considerados insuficientes para atender a demanda nutricional em bovinos, conforme a National Research Council - NCR de 1996, além de caracterizar um estado de deficiência de zinco na pastagem (BERCHIELLI et al., 2006). Zinco e cobalto são os micronutrientes mais limitantes para a pecuária de corte no Estado do Rio Grande do Sul (BARCELLOS et al., 2003).

Tendo em vista, os baixos teores de Zn nas forragens, a propensão à deficiência deste elemento em bovinos criados a pasto no país é elevada (CARVALHO; BARBOSA; MCDOWELL, 2003), ocasionando danos à produção das forrageiras e conseqüentemente distúrbios a saúde animal (GUPTA; MONTEIRO; WERNER, 2001).

Apesar da exigência de zinco ser relativamente pequena e de ser pouco comum a manifestação de sintomas de deficiência deste micronutriente em forrageiras, o teor de zinco em pastagens tende a ser inferior a exigência de bovinos em pastoreio, podendo resultar em alguns casos, em grave deficiência de zinco nos animais (ALLOWAY, 2008), conseqüentemente ocasionando distúrbios a saúde animal (GUPTA; MONTEIRO; WERNER, 2001; ALLOWAY, 2008), uma vez que é recomendado a bovinos de corte que os mesmos devam ingerir no mínimo 30 mg kg<sup>-1</sup> de Zn de MS (Matéria Seca), sendo tolerância máxima de ingestão de Zn não deva ultrapassar a 500 mg kg<sup>-1</sup> de Zn de MS (NRC, 1996; 2001). Em contrapartida, para animais destinados a produção de leite, os valores exigidos de Zn superiores a 40 mg kg<sup>-1</sup> de Zn de MS (WEISS, 2002).

No caso dos animais em geral, a ingestão de quantidades inferiores de zinco por ele requeridas acarreta a estes estresse fisiológico decorrente de disfunção de inúmeros sistemas enzimáticos e de outras funções metabólicas desempenhadas por esse elemento (ALLOWAY, 2008), além de ocasionar em bovinos, redução do consumo e eficiência alimentar, queda de pelos, inflamação na boca e nariz, redução no crescimento do animal e alterações no desenvolvimento sexual de machos e em toda a fase reprodutiva de fêmeas (FONSECA, 2005), alterações cutâneas (dermatite), perdas reprodutivas ou má formação de fetos, diminuição da produção de leite, retardo no crescimento (DANTAS & NEGRÃO, 2010), crescimento atrofiado (DANTAS & NEGRÃO, 2010; TOKARNIA; DOBEREINER; PEIXOTO; 2000, ALMEIDA FILHO, 2016), problemas nos ossos também podendo resultar em pele áspera e grossa em várias espécies animais, conhecida como paraqueratose (TOKARNIA; DOBEREINER; PEIXOTO; 2000, ALMEIDA FILHO, 2016). Além disso, tal deficiência também promove disfunções endócrinas, principalmente no que se refere ao metabolismo da glicose, além de também impedir a mobilização hepática de vitamina A, sendo esta deficiência mais pronunciada mediante ao excesso de Ca, de Cu e de Fe (NICODEMO; SERENO; AMARAL, 2008).

Se por um lado, são várias as conseqüências danosas aos animais em decorrência da falta ou reduzida ingestão de zinco, por outro lado, quantidade superiores a 500 mg kg<sup>-1</sup> de Zn de MS (NRC, 1996; 2001), podem ser prejudiciais, vindo a atrapalhar a absorção ou sofrer interação no metabolismo de outros minerais, de modo causar prejuízos a produtividade dos rebanhos e alterações reprodutiva (WUNSCH et al., 2005). Contudo, foram constatados que a partir de teores de 470 mg kg<sup>-1</sup> de Zn em MS, há redução da digestibilidade das pastagens, com conseqüente diminuição do consumo pelos animais (ARELOVICH et al., 2000).

## 2.2 ZINCO NO SOLO, TRANSPORTE E ABSORÇÃO EM PLANTAS

O zinco é considerado o micronutriente mais deficiente em pastagens e em culturas agrícolas em geral (ALLOWAY, 2008), resultando não só em queda de produtividade como na deterioração da qualidade nutricional das culturas agrícolas (CAKMAK, 2000; ALLOWAY, 2008; CAKMAK, 2008; MOUSAVI, 2011). Cerca de um terço dos solos cultivados contem baixas quantidades de Zn disponível, o que pode ser explicado em função de características como: pH elevado (FURTINI NETO et al., 2001; HOODA, 2010), conteúdo elevado de matéria orgânica, solos com maior conteúdo de areia (HOODA, 2010), alto grau de intemperismo que ocorre nas regiões tropicais (SOUZA, 2013), material de origem com baixo teor total de zinco (a exemplo dos solos tropicais), elevado teor de fosfato, elevado teor de carbonato de cálcio (solos calcários), solos com concentrações salinas muito elevadas (solos salinos), altas concentrações de magnésio e/ou bicarbonato em solos ou água de irrigação, ou ainda mesmo em solos nos quais haja períodos prolongados de alagamento (ALLOWAY, 2008). Além disso, altos teores de P no solo, também induzem a deficiência de Zn (DECHEN & NACHTIGALL, 2006).

O conteúdo total de zinco no solo é dependente do material de origem. Normalmente a concentração de zinco nos solos varia de 10 a 300 mg kg<sup>-1</sup>, apresentando teor médio de 50 mg kg<sup>-1</sup> (MOUSAVI, 2011). Solos derivados de rochas ígneas básicas são mais ricos em Zn do que solos derivados de rochas sedimentares (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). Por exemplo, no caso de Santa Catarina, a concentração média de Zn no solo obtida a partir de 111 amostras de solos procedentes de vários locais do Estado foi de 39 mg kg<sup>-1</sup> (HUGEN et al. 2013). Nos vegetais, a concentração de Zn varia entre 3 a 150 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca de plantas (DECHEN & NACHTIGALL, 2006).

No Brasil, estudos demonstram que a deficiência de zinco é mais pronunciada na região do Cerrado brasileiro (MARQUES et al., 2004), dado que material de origem deste solo é pobre em Zn e devido ao uso pouco frequente de fertilizantes a base de sais solúveis de zinco (OLIVEIRA et al., 2000), sendo o Zn o micronutriente reiteradamente mais limitante ao desenvolvimento das pastagens nesta região do país (VENDRAME et al., 2007).

Sob condições de deficiência de Zn, muitas espécies de plantas são capazes de mobilizarem para seu crescimento, quantidades de Zn de folhas mais velhas para as folhas mais jovens, uma vez que nas plantas o Zn é envolvido principalmente no metabolismo de N, carboidratos e lipídios das plantas e na síntese de proteínas e RNA, sendo de grande importância na permeabilidade da membrana da raiz (CHATZISTATHIS, 2014).

No solo a dinâmica do zinco é considerada bastante complexa, ocorrendo pequena taxa de perda deste nutriente por lixiviação, devido à alta afinidade pelos coloides minerais do solo (INOCÊNCIO, 2012). A disponibilidade de Zn por sua vez, pode ser avaliada por meio de extratores químicos, sendo relativa ao seu teor no solo, que por sua vez resulta da inter-relação entre os fatores intensidade, quantidade e poder tampão do solo durante um ciclo de determinada cultura (VALLADARES et al., 2009).

Dentre os diversos fatores que influenciam a disponibilidade do Zn nos solos e a absorção pelas plantas, destacam-se: pH, textura (teores de argila), matéria orgânica (SAFFARI et al., 2009), os óxidos de ferro, alumínio e manganês (CAMARGO, 2006), salinidade, capacidade de troca de cátions (CTC), umidade e temperatura do solo, material parental, quantidade de óxidos de Fe e hidróxidos nos solos, a interação com outros nutrientes, a capacidade genotípica de absorver Zn (como a capacidade de exsudação diferencial entre os genótipos), a formação de micorrizas, diferentes práticas de manejo, etc. (CHATZISTATHIS, 2014). Mesmo quando as concentrações totais de Zn nos solos do Brasil são consideradas altas, apenas uma pequena fração deste total está biodisponível (VALLADARES et al., 2009).

O zinco pode ser transportado da raiz até o xilema através do contínuo citoplasmático das células da raiz ligadas por plasmodesmos (via simplasto) ou pode atingir o xilema através dos espaços extracelulares entre as células (via apoplasto) (WHITE et al., 2002). O transporte de zinco para a superfície da raiz nos solos é feito predominantemente pelo mecanismo de difusão (WILKINSON; LONERAGAN; QUICK, 1968 apud LIDON et al., 2013).

Devido a sua natureza eletropositiva, o zinco não ocorre na forma reduzida, (ABREU; LOPES; SANTOS; 2007), assim sendo, a forma divalente do zinco ( $Zn^{2+}$ ) representa o principal meio de absorção deste elemento pelas plantas, o qual pode ser feito via foliar ou radicular (DECHEN & NACHTIGALL, 2006). Contudo, estando o zinco presente na solução do solo e em condições de adequado teor de matéria orgânica, pode apresentar-se na forma quelada com radicais orgânicos ou em formas complexas (FURTINI NETO et al., 2001), conseqüentemente, podendo também ser absorvido pelas plantas na forma de quelatos orgânicos solúveis (CHATZISTATHIS, 2014).

A maior absorção de micronutrientes pelas raízes está condicionada ao aumento de suas concentrações na rizosfera, o que conseqüentemente aumenta sua disponibilidade (MOURINHO, 2016). No caso de os elementos minerais não serem facilmente translocados para os tecidos vegetais, faz-se necessário o uso de aplicações foliares de fertilizantes inorgânicos solúveis (WHITE & BROADLEY, 2009).



### 2.3 IMPORTÂNCIA DO ZINCO PARA CULTURAS, SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E TOXIDEZ.

O Zn é um metal de transição de número atômico 30, pertencente ao grupo II B da tabela periódica (SOUZA, 2013), sendo um dos micronutrientes cuja deficiência mais tem limitado a produção das culturas agrícolas no Brasil (PRADO et al., 2008; CHATZISTATHIS, 2014), deste modo, resultando tanto na deterioração da qualidade nutricional, como em queda de produtividade das culturas (CAKMAK, 2000; ALLOWAY, 2008; CAKMAK, 2008; MOUSAVI, 2011).

Nas plantas, o zinco desempenha importante papel na regulação nutricional, crescimento reprodutivo, síntese de clorofila, produção de carboidratos e no desenvolvimento de frutos e sementes, etc. (TRIPATHI et al., 2015). Também atua como cofator regulatório de uma ampla gama de enzimas e proteínas, as quais estão principalmente relacionadas com: metabolismo de carboidratos, fotossíntese, conversão de açúcares em amido, metabolismo protéico, metabolismo de auxina (regulador de crescimento), formação de pólen, a manutenção da integridade biológica membranas, a resistência à infecção (ALLOWAY, 2008), sendo também responsável por controlar a produção de importantes reguladores de crescimento que afetam tanto o crescimento, quanto o desenvolvimento das plantas, além de atuar em processos de multiplicação e crescimento das células (YAMADA, 1996).

Por afetar a síntese de triptofano, precursor do ácido indol acético, o zinco assume importante papel na síntese de proteínas, o que, no caso de deficiência, resulta em redução da altura das plantas, do número de folhas e dos internódios (MALAVOLTA et al., 1997; EPSTEIN & BLOOM, 2006; SANTOS et al., 2009; MUNER et al., 2011; BERALDO et al., 2012). Também resulta no decréscimo dos teores de clorofila e na taxa líquida de fotossíntese, em torno de 50%-70%, dependendo da espécie vegetal, provoca o aparecimento de folhas anormais e rosetadas (ALLOWAY, 2008), o que, conseqüentemente, resulta em decréscimos de produtividade das culturas (CAKMAK, 2000).

Para pastagens em geral, a concentração crítica de Zn na parte aérea corresponde a 20 mg kg<sup>-1</sup> de MS (BERCHIELLI et al., 2006), implicando em necessidade de adubação quando os níveis de Zn estiverem abaixo deste valor (CHATZISTATHIS, 2014). Várias fontes de adubos a base de Zn podem ser utilizadas na agricultura, tais como: quelato, óxido, carbonato, cloreto e sulfato de zinco (TEIXEIRA et al., 2008), oxissulfato (OLIVEIRA et al., 2003), fertilizantes líquidos e coquetéis com outros nutrientes, em conjunto ou não com estimulantes hormonais (INOCÊNCIO et al., 2012).

A adubação foliar de zinco representa uma alternativa complementar e de maior eficácia do que a adubação via solo, em razão de possibilitar a redução das doses de zinco aplicadas as culturas (BOROWSKI & MICHALEK, 2010; NASRI et al., 2011) e de reduzir as perdas comuns do elemento na adubação via solo por lixiviação, imobilização (BOROWSKI & MICHALEK, 2010; MOUSAVI, 2011) e por fixação no solo, uma vez que não há contato direto deste nutriente com o solo (VOLKWEISS, 1991; NASRI et al., 2011). Além de disponibilizar esse micronutriente à planta de maneira mais rápida e eficaz quando comparada a adubação via solo (VITTI & GRANDO JUNIOR, 2006), irá possibilitar em melhoria do rendimento das culturas (ALLOWAY, 2008). Quando realizada de maneira periódica, a aplicação foliar minimiza a possibilidade de contaminação por Zn (ANGELINI, 2018).

Na aplicação de zinco via foliar, ele pode chegar ao simplasto das folhas através da cutícula externa ou via penetração através dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Para sua maior eficiência, deve-se priorizar o uso de fontes mais solúveis (VITTI & GRANDO JUNIOR, 2006) a exemplo do sulfato de zinco, considerado uma das formas mais eficientes de se corrigir a deficiência deste micronutriente, devido à alta solubilidade e o baixo custo deste fertilizante (CAKMAK, 2009), aliado ao fato de que o zinco aplicado sob essa forma é mais rapidamente absorvido pelas folhas (NASRI et al., 2011).

Apesar de ser um micronutriente essencial ao crescimento e aos processos fisiológicos das plantas (MUNIRAH et al., 2015), quando em níveis elevados, seja no solo ou no tecido vegetal (HOODA, 2010; MUNIRAH et al., 2015), o zinco passa a ser potencialmente tóxico. White & Brown (2010) observaram que concentrações foliares superiores a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn, já são capazes de reduzir o crescimento da maioria das culturas.

Em condições de toxidez, constata-se a redução do desenvolvimento e do crescimento da parte aérea e radicular das culturas, bem como redução da produção de NADPH em cloroplastos vegetais (MOUSAVI, 2011), além de favorecer a formação de espécies reativas de oxigênio (EROS), que podem afetar, de forma direta o crescimento e a atividade fotossintética das plantas (CUYPERS; VANGRONVELD; CLIJSTERS, 2001). Nessas condições, o excesso de Zn, também tende a resultar em morte da plântula e em necrose da radícula ao entrar em contato com o solo (LI et al., 2011), no murchamento e necrose foliar (SOARES et al., 2001), clorose nas folhas (TEWARI; KUMAR; SHARMA, 2008) e reduzir o teor de clorofilas (ANWAAR et al., 2015), reduzir a produção de matéria seca da parte aérea (ARDUINI et al. al., 1994; CAKMAK, 2000; KHUDSAR et al., 2004 e LI et al., 2011).

Contudo, a manifestação dos efeitos de toxicidade de Zn é fortemente influenciada pela espécie vegetal, bem como pelo tempo de exposição das plantas a esse elemento e pela composição do meio de crescimento de nutrientes (TSONEV & LIDON, 2012).

## 2.4 BIOFORTIFICAÇÃO

Os trabalhos sobre biofortificação de alimentos e o HarvestPlus, reconhecido programa internacional que promove e coordena ações de biofortificação de alimentos no mundo, teve início na década de 90, com um economista chamado Howarth Bouis, do Instituto Internacional de Pesquisa em Políticas Alimentares (IFPRI) (VERGÜTZ et al., 2016).

Em 2004, tiveram início os trabalhos do programa *HarvestPlus Brasil*, coordenados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (BOLIANE, 2012), tendo como foco da pesquisa a biofortificação direcionada a alimentos básicos como feijão, arroz, milho, feijão caupi, mandioca, batata doce, trigo e abóbora (GONÇALVES et al., 2015).

A biofortificação pode ser realizada por meio do melhoramento vegetal convencional ou biotecnológico e/ou por práticas agrônômicas, que dentre elas destacam-se a adubação (CAKMAK, 2008). Dá-se o nome de biofortificação genética, processo de enriquecimento nutricional dos alimentos através do melhoramento genético, enquanto que o enriquecimento via manejo da cultura recebe o nome de biofortificação agrônômica (VERGÜTZ, et al., 2016). Esta última pode ser realizada através de tratamento de sementes, adubação via solo ou via aplicação foliar (WELCH, 2008). A biofortificação agrônômica é uma das formas mais rápidas de melhorar a qualidade dos alimentos e minimizar deficiências de nutrientes. Ela se baseia principalmente na adubação, priorizando adubos maior solubilidade para o sucesso da técnica (CAKMAK, 2008), visando melhorar dieta e saúde tanto humana quanto animal (REIS et al., 2014).

Os diferentes órgãos das plantas sejam raízes, folhas e grãos podem ter seus teores de Zn aumentados, através da prática de biofortificação agrônômica (CAMBRAIA, 2015), a partir do manejo de adubação subordinado os distintos modos de aplicação de zinco seja via foliar, solo ou pela combinação de ambos, estando também relacionado com a época de aplicação (CAKMAK, 2008; SOUZA, 2013; PASCOALINO, 2014; CAMBRAIA, 2015; MOURINHO, 2016).

As formas mais usuais de aplicação de Zn na forma inorgânica em culturas agrícolas envolvem o uso de óxidos e nitrato de zinco, e em maior quantidade do uso de sulfato de

zinco, pelo fato deste ser consideravelmente de menor custo e maior solubilidade em relação aos demais fertilizantes a base de Zn (CAKMAK, 2008).

Contudo, trabalhos voltados a biofortificação de pastagens a base de zinco não foram encontrados na literatura brasileira, enquanto que na literatura mundial um trabalho realizado na Nova Zelândia por Anderson et al. (2012) relatava o uso da biofortificação de zinco em pastagens, tendo como enfoque o benefício na alimentação de ovinos e não propriamente a forma de realização da prática de biofortificação.

## 2.5 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

### 2.5.1 *Brachiaria humidicola*

No Brasil, gramíneas do gênero *Brachiaria* figuram entre as forrageiras mais cultivadas (PACIULLO et al., 2016), ocupando mais de 80 milhões de hectares, o que representa aproximadamente 70% do total da área de pastagens cultivadas no país (MACEDO et al., 2013). Além disso, servem como importante suporte para alimentação de bovinos de corte e de leite, possuindo em torno de 11,9% de proteína bruta (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1999).

A maioria das espécies desse gênero apresenta como centro de origem a África Oriental, podendo ocorrer tanto em regiões tropicais quanto subtropicais em ambos os hemisférios (VALLE et al., 2010). Contudo, cerca da metade das pastagens cultivadas com gramíneas deste gênero, apresentam-se degradadas, especialmente em função da ausência de fertilização de manutenção ou devido à taxa de lotação animal demasiadamente elevadas (BODDEY et al., 2004).

Aproximadamente 100 espécies compõem o gênero *Brachiaria*, das quais a *Brachiaria humidicola* representa uma das sete espécies mais utilizadas na América Tropical (KELLER-GREIN et al., 1996). A *Brachiaria humidicola* é uma gramínea perene originária da África Equatorial (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1999). A espécie possui hábito de crescimento estolonífero-rizomatoso sendo pouco exigente quanto a fertilidade do solo (PERES et al., 2012), porém responde bem à adubação, podendo ser cultivada até mesmo em solos mal drenados (EUCLIDES et al., 2010), além de ser resistente a geadas (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1999).

### 2.5.2 *Panicum maximum* (cv. Aruana e Tanzânia)

A pecuária brasileira apresenta como alicerce o uso de pastagens de gramíneas (COLOZZA et al., 2000), entre elas a espécie *Panicum maximum* Jacq., figura como uma das mais utilizadas, especialmente em sistemas intensivos de produção de leite a pasto (GOMIDE et al., 2016), também sendo muito utilizadas na alimentação de equinos e caprinos (SILVA, 2013), em função de sua elevada produtividade, boa qualidade de sua forragem e ampla adaptabilidade (COLOZZA et al., 2000). Juntamente com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Andropogon*, as gramíneas do gênero *Panicum*, constituem-se em uma das principais forrageiras cultivadas (MACEDO, 2005).

A espécie *Panicum maximum* Jacq., apresenta seu centro de origem o continente africano, localizado na região que se estende desde a África Tropical até a África do Sul (EUCLIDES et al., 2008). Com um conteúdo de proteína de aproximadamente 8,4%, a espécie apresenta boa palatabilidade (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1999), e elevado valor nutritivo, o qual permite atender a demanda alimentar de até três novilhos por hectare, garantindo um ganho de peso diário de 0,3 a 0,7 kg novilho<sup>-1</sup> (FONTANELI et al., 2012).

O *P. maximum*, trata-se de uma planta perene e uma das forrageiras mais cultivadas na América tropical, sendo bastante resistente ao pisoteio e ao fogo, porém bastante exigente quanto a fertilidade, tendo preferência por solos profundos e de textura levemente arenosa, e locais de temperatura alta, mas com precipitação acima de 900 mm ao ano (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1999)

A fertilidade do solo é um dos fatores de grande relevância para produtividade e qualidade dessas gramíneas e para a eficiência do sistema pecuário. Contudo, a baixa disponibilidade de nutrientes na maioria dos solos, aliada a falta de adubação adequada nas pastagens ou até mesmo ausência desta, constituem-se um entrave no processo produtivo de forrageiras, o qual acaba por refletir tanto na produção quanto na disponibilidade destas na alimentação de animais (RODRIGUES, 2006).

O *P. maximum* apresenta exigência média a alta quanto à fertilidade do solo podendo produzir nesses casos até 50 t MS ha<sup>-1</sup>, necessitando reposição de nutrientes após longos períodos de pastagem, para que haja declínio em sua produtividade (FONTANELI et al., 2012), portanto, sendo muito responsivas a aplicação de fertilizantes (MONTAGNA, 2018).

As principais cultivares da espécie *Panicum maximum* Jacq., são melhor adaptadas a solos profundos, férteis e bem drenados (CORRÊA & SANTOS, 2003), sendo muito utilizada na alimentação de bovinos em função de sua elevada produtividade de matéria seca e boa qualidade como alimento (RODRIGUES, 2006).

Dentro dessas cultivares, o capim Aruana, gramínea de origem africana, e hábito estolonífero (FONTANELI et al., 2012), lançada no Brasil no ano de 1989 pelo Instituto de Zootecnia da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, tem tido seu plantio muito estimulado, entretanto, informações acerca de exigências nutricionais desta cultivar ainda são escassas (COLOZZA et al., 2000). Lançada cerca de um ano após a cv. Aruana pela Embrapa Gado de Corte o capim Tanzânia apresenta hábito cespitoso (JANK et al., 2005), boa produtividade e alto valor nutritivo, requerendo um manejo adequado de fertilidade para que não seja degradada (MELO et al., 2001).

### **2.5.3 *Paspalum notatum* (cv. Pensacola)**

A espécie *Paspalum notatum* Flüggé, é uma gramínea perene rizomatosa, nativa do sul do México, América Central, Caribe e América do Sul (OCHOGAVÍA et al., 2018), sendo especialmente abundante no Brasil, leste da Bolívia, Paraguai e nordeste da Argentina (GATES et al., 2004). No Brasil, a espécie melhor se adapta às condições de clima e solo da região Sul do país (FONTANELI & SCHEFFER-BASSO, 1995), contudo, podem ser cultivadas em quase todos os ecossistemas do país (NABINGER, 2006).

O gênero *Paspalum* L. possui mais de 400 espécies tropicais e subtropicais (STRAPASSON et al., 2000), onde a maioria dessas espécies apresentam modo de reprodução apomítico (QUARÍN & NORMANN, 1990), garantindo a homogeneidade genética das populações, o que por sua vez dificulta o ganho genético destas espécies e no lançamento de cultivares (PEREIRA et al., 2015).

Contudo, entre as espécies do gênero *Paspalum* L., a cultivar Pensacola representa uma das poucas que se propaga via sementes (FACHINETTO et al., 2012), sendo resultante de uma população de cruzamento diplóide (SMITH et al., 2002). A espécie destaca-se pelo excelente valor forrageiro (NABINGER & DALL'AGNOL, 2008), que permite atingir uma lotação de três novilhos por hectare com ganhos diários de 0,3 a 0,7 kg novilho<sup>-1</sup> (FONTANELI et al., 2012).

A Pensacola caracteriza-se por ser uma planta rústica, que se desenvolve em diferentes tipos de solo, em especial naqueles de textura média ou franca, sendo resistentes ao frio, a geadas e a secas (FONTANELI et al., 2012; STEINER et al., 2017), predominando em solos de boa drenagem, tendo, porém, a capacidade de suportar baixa fertilidade natural (KAMINSKI et al., 1998), além de tolerar solos de pH baixo, contudo, a adição de micronutrientes são adequados para o crescimento (GATES et al., 2004).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre fevereiro a maio de 2017, em casa de vegetação, no Departamento de Solos e Recursos Naturais, localizado no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC-CAV), no município de Lages, SC, sob coordenadas 27°48'58"S e 50°19'34"O. As espécies utilizadas no experimento foram *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana (capim Aruana) e Tanzânia (capim Tanzânia), *Paspalum notatum* Flüggé cv. Pensacola (capim Pensacola) e *Brachiaria humidicola*.

O solo utilizado foi um Cambissolo Húmico Alumínico léptico (EMBRAPA, 2013) coletado em ambiente natural (campo nativo), a uma profundidade de 0-20 cm no campus do CAV, mesmo município. A escolha por este solo foi em função de sua enorme representatividade para a pecuária no Estado de Santa Catarina.

Posteriormente, a sua coleta, o solo foi seco ao ar livre, moído e tamisado em peneira de 2 mm. Duas amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Análise Química do Solo – LASQ do CAV-UDESC, sendo o valor médio para as propriedades apresentado no laudo: pH em água 5,0; índice SMP 4,8, CTC em pH 7,0 de 23,3 cmolc dm<sup>-3</sup>; saturação de base de 25,8%, teores de Al, Ca e Mg trocáveis 2,75; 3,16 e 2,55 cmolc dm<sup>-3</sup> respectivamente; teores de K, P, Fe e Mn de 122, 3, 55,4 e 3,8 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente; e teor de matéria orgânica e de argila de 25 e 400 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente. O teor de Zn foi de 0,3 mg dm<sup>-3</sup>, valor abaixo do nível crítico de 0,5 mg dm<sup>-3</sup> (CQFS-RS/SC, 2016).

Antes da semeadura, o solo permaneceu incubado com calcário dolomítico (filler) mantido com umidade próxima a 60% da capacidade de campo (CC) até a estabilização do pH em 5,9, no 30º dia. Decorrido esse período, foram aplicados ao solo 0,48 g kg<sup>-1</sup> de ureia; 0,18 g kg<sup>-1</sup> de cloreto de potássio e 0,5 g kg<sup>-1</sup> de superfosfato triplo, conforme recomendação do manual de adubação e calagem (CQFS-RS/SC, 2016), concomitantemente a isso também foi feita aplicação das doses de Zn no solo na forma de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O). Após a adubação, o solo foi acomodado nas unidades experimentais que consistiam em vasos contendo 2,2 kg de solo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: sem aplicação de Zn (controle); aplicação de Zn no solo (Zn-S); aplicação de Zn na folha (Zn-F) e aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F).

A fonte de zinco utilizada foi o sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), assim sendo, o tratamento Zn-S correspondeu a incorporação de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de sulfato de zinco no solo, enquanto que a aplicação foliar foi realizada aplicando-se 10 ml de solução a 4% de sulfato de zinco, na parte aérea das plantas folha (Zn-F). O tratamento Zn-S+F, foi realizado pela combinação dos tratamentos anteriores ( $50 \text{ mg kg}^{-1} + 10 \text{ ml}$  de solução a 4%) e controle (sem aplicação Zn).

Em cada unidade experimental, foram semeadas quinze sementes, realizada uma semana após a adubação. Transcorrido dez dias após a semeadura, efetuou-se o desbaste, deixando-se duas plantas por unidade experimental. A partir da semeadura, as plantas cresceram por 72 dias, período em que a umidade do solo foi mantida constante.

Ao 17º dia após a semeadura, realizou-se a aplicação foliar de sulfato de zinco. Com o auxílio de um borrifador, foram pulverizados em cada unidade experimental, cerca de 10 mL de solução, adotando-se como padrão o correspondente a dez borrifadas. Durante a aplicação, o solo foi protegido com papel toalha, a fim de garantir que não ocorresse contato da solução escorrida com o solo.

Aos 70 dias após a semeadura, foram mensuradas a altura das plantas (distância do solo até a última lígula completamente expandida, ou até a inserção da última folha no caule) e o comprimento foliar médio de cada planta. Nesta ocasião, também foram tomados valores de intensidade do verde das folhas das plantas (índice Soil Plant Analysis Development – SPAD), através do medidor portátil de clorofila SPAD 502 (Konica Minolta®, Tóquio, Japão), considerando-se a média de leituras efetuadas no terço inferior (SPADin), médio (SPADme) e superior (SPADsu) em três folhas em cada uma das plantas que compunham a unidade experimental.

A estabilização do crescimento da parte aérea ocorreu em torno do 72º dia, quando, procedeu-se a coleta da parte aérea, juntamente com a coleta de uma amostra de solo, utilizada para determinação do teor de Zn no solo pelo método Mehlich-1 (SOBRAL, 2016). Posteriormente, o material vegetal coletado, foi pesado em balança de precisão (0,0001 g), para determinação da disponibilidade de matéria fresca da parte aérea (MFPA), na sequência as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar, a  $65^\circ\text{C}$ , por 72 horas, sendo o material pesado novamente e moído em moinho tipo Willey, para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA).

Para a extração do Zn e dos elementos Ca, Cu, Fe, Mn, Mg e P no tecido vegetal das culturas, a digestão das amostras foi realizada pelo método 3051 A (USEPA, 2007) onde pesou-se 0,2 g de tecidos em tubos de Teflon em seguida, adicionou-se 3 mL de ácido nítrico



(65%), ficando uma noite em repouso (pré-digestão), seguido da adição de 2 mL de peróxido de hidrogênio por ocasião da digestão. Todas as amostras foram digeridas em forno microondas Multiwave 3000 (Anton Paar, Graz, Áustria), à temperatura de 140 °C e pressão em torno de 20 Bar, durante 40 min. Após o resfriamento, as amostras foram transferidas para tubos tipo falcon, tendo seu volume completado para 25 ml com água deionizada. As concentrações de Ca, Cu, Mn, Mg, Fe, P, e Zn da parte aérea foram quantificados por espectrômetro óptico de emissão por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (Optima® 8300, Perkin Elmer, USA).

A extração e a quantificação foram realizadas em duplicatas. Foram realizadas doze provas em branco para o cálculo do Limite de Detecção Qualitativo (LDQ), segundo a equação  $LDQ = (M \pm t \times s)$  (APHA, 2005), onde, M é a média das leituras para as provas em branco, t é o valor t-Student para um intervalo de confiança de 99 %, em razão do número de graus de liberdade de medições repetidas (3,1 no caso de oito repetições); e s é o desvio-padrão das leituras para provas em branco. Valores de LDQ foram de 8,28 mg Kg<sup>-1</sup> para Ca, 0,09 mg Kg<sup>-1</sup> para Cu, 0,24 mg Kg<sup>-1</sup> para Fe, 13,5 mg Kg<sup>-1</sup> para Mg, 0,78 mg Kg<sup>-1</sup> para Mn, 1,7 mg Kg<sup>-1</sup> para P, e 0,04 mg Kg<sup>-1</sup> para Zn. A confiabilidade do método analítico empregado para a determinação da concentração de Zn nas plantas foi garantida pelo uso de material de referência padrão do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST - SRM Pine Needles 1575a). Os teores recuperados de Zn na amostra referência (NIST) foram de 64% do Zn total.

### 3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS:

Após a obtenção dos dados, foram efetuadas comparações por meio de contrastes específicos e testados por meio do teste F. Os contrastes analisados foram: C1: controle - Zn-S; C2: controle - Zn-F; C3: Zn-S - Zn-S+F e C4: Zn-S+F - Zn-F. Todas as análises foram conduzidas utilizando-se o software R (R Core Team, 2016). Para todos os testes efetuados foi considerado o nível mínimo de significância de 5%.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL

A aplicação de Zn no solo (Zn-S) possibilitou incremento de 101 a 333% de zinco na parte aérea entre todas as espécies trabalhadas (Tabela 1). A exceção da *B. humidicola*, na qual incrementou a produção de MSPA (21%) e MFPA (25%), todas as demais culturas apresentaram redução destas variáveis, quando o Zn foi aplicado no solo (Tabela 1). A redução da altura da Aruana, Tanzânia, Pensacola e *B. humidicola*, em relação a controle, foi respectivamente de 21, 15, 20 e 15 %, enquanto que a produção de MSPA e MFPA da Aruana, Tanzânia e Pensacola foi de 49 e 16%; 67 e 46%; 31 e 21%, respectivamente (Tabela 1).

**Tabela 1-** Valores médios para as variáveis MSPA, MFPA, comprimento e altura de planta, SPADin, SPADme, SPADsu obtidos para *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* cv. Pensacola e *Brachiaria humidicola* nos tratamentos controle, Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e foliar (Zn-S-F).

CULTURA	Tratamento	MSPA	MFPA	ComF	Altura	SPADin	SPADme	SPADsu
		-----g-----	-----g-----	-----cm-----	-----cm-----			
ARUANA	Controle	3,99	27,53	16,22	14,69	36,24	38,85	47,19
	Zn-S	2,05	23,16	16,30	11,55	24,64	30,35	31,23
	Zn-S+F	1,88	26,13	14,94	13,69	26,38	29,88	34,50
	Zn-F	2,88	34,03	14,07	12,70	26,53	29,70	32,88
TANZÂNIA	Controle	2,32	31,0	18,29	16,99	32,74	36,73	41,14
	Zn-S	0,76	16,8	19,55	14,36	18,51	22,21	25,78
	Zn-S+F	1,53	16,80	18,51	12,28	18,98	18,75	27,23
	Zn-F	3,51	39,79	14,07	16,11	25,10	28,23	31,19
PENSACOLA	Controle	1,39	4,31	7,07	4,31	27,28	31,73	36,26
	Zn-S	0,95	3,40	6,87	3,45	26,19	31,35	35,00
	Zn-S+F	2,31	5,45	7,43	3,65	22,34	27,25	31,35
	Zn-F	1,21	1,30	5,76	3,28	22,29	27,43	28,75
<i>B. humidicola</i>	Controle	2,51	14,69	11,19	9,87	22,61	27,00	31,80
	Zn-S	3,04	18,30	9,82	8,41	23,11	25,89	30,13
	Zn-S+F	2,19	8,54	12,35	9,76	20,55	25,85	25,19
	Zn-F	1,71	17,8	13	14,04	47,56	28,78	32,34

**Fonte:** Produção do próprio autor, 2018.

**MSPA:** Massa Seca da Parte Aérea; **MFPA:** Massa Fresca da Parte Aérea; **ComF:** comprimento foliar; **SPADin:** SPAD no terço inferior da planta; **SPADme:** SPAD no terço médio da planta e **SPADsu:** SPAD no terço superior da planta

A aplicação de Zn via foliar (Zn-F) quando comparada a controle, propiciou que a produção de MFPA da Aruana, Tanzânia e *B. humidicola*, fosse aumentada em

respectivamente em 24, 28 e 21%, porém, reduziu em 70% a produção de MFPA da Pensacola (Tabela 1). Além disso, a aplicação de Zn via foliar, em comparação a controle, promoveu para a Aruana, Pensacola e *B. humidicola* um decréscimo de MSPA de 28, 13, 32%, respectivamente e reduziu a altura das cultivares Aruana, Tanzânia e Pensacola, respectivamente em 14, 5 e 24 %, contudo, incrementou em 52% a MSPA da Tanzânia e em 42% a altura da *B. humidicola* (Tabela 1). Por outro lado, a aplicação de Zn via foliar, reduziu o índice SPADme da Aruana em 24% (Tabela 1 e 3).

**Tabela 2-** Teores médios foliares de Ca, Mg, P, Cu, Fe, Zn e Mn obtidos para *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* cv. Pensacola e *Brachiaria humidicola* nos tratamentos controle, Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e foliar (Zn-S-F).

CULTURA	Tratamento	Ca	Mg	P	Cu	Fe	Zn	Mn
		-----%-----			-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
ARUANA	Controle	0,5	1,04	0,17	11,6	417,2	8,1	97,9
	Zn-S	0,6	1,01	0,18	11,3	320,0	26,5	97,9
	Zn-S+F	0,5	1,03	0,14	11,1	370,7	126,2	97,9
	Zn-F	0,6	1,02	0,18	11,1	342,4	90,6	97,9
TANZÂNIA	Controle	0,5	1,4	0,20	11,1	253,2	7,0	97,9
	Zn-S	0,6	1,1	0,17	11,1	207,0	30,3	97,9
	Zn-S+F	0,5	1,2	0,20	11,1	276,1	132,9	97,9
	Zn-F	0,4	1,3	0,20	11,1	482,2	108,8	97,9
PENSACOLA	Controle	0,3	0,5	0,14	13,5	551,4	14,3	97,9
	Zn-S	0,5	0,7	0,24	17,3	1054,6	29,4	75,5
	Zn-S+F	0,6	0,8	0,25	15,4	809,8	708,9	97,9
	Zn-F	0,7	1,1	0,18	11,1	405,9	160,4	97,9
<i>B. humidicola</i>	Controle	0,4	0,6	0,24	11,1	232,2	17,1	97,9
	Zn-S	0,3	0,7	0,21	13,5	252,1	34,4	97,9
	Zn-S+F	0,4	0,6	0,20	14,8	334,1	448,8	97,9
	Zn-F	0,4	0,9	0,24	11,1	306,4	176,5	97,9

Fonte: Produção do próprio autor, 2018

Quando comparado a aplicação de zinco no solo (Zn-S), o tratamento Zn-S+F resultou para as espécies estudadas em aumento da MFPA (exceção *B. humidicola*), MSPA (exceção Aruana e Tanzânia) e altura (exceção Tanzânia), porém, reduziu o índice SPADme (Tabela 1 e 3).

Embora o tratamento de Zn-S+F quando comparado a aplicação no solo (Zn-S), tenha propiciado decréscimos de 53% da MFPA em relação a *B. humidicola*, de 15% da altura em relação à Tanzânia e de 9 e 28% de MSPA, para a Aruana e *B. humidicola* respectivamente, este mesmo tratamento possibilitou que a altura da Aruana, Pensacola e *B. humidicola* fosse aumentada em 19, 6 e 16 %, respectivamente e que a produção de MFPA, para a Aruana, Tanzânia e Pensacola fosse elevada em 13; 0,03 e 60%, respectivamente. De mesmo modo, também houve incremento no caso da Tanzânia e Pensacola de 103 e 143% de MSPA por meio do tratamento Zn-S+F, respectivamente, quando estes foram comparados ao tratamento Zn-S (Tabela 1 e 3).

Verificou-se que quando comparada ao tratamento Zn-S+F, a aplicação de zinco via foliar (Zn-F) possibilitou que a produção de MFPA da Aruana, Tanzânia e *B. humidicola* fosse incrementada em 30, 136, e 108%, respectivamente, que o índice SPADme no caso da Tanzânia e *B. humidicola* fosse incrementado respectivamente em 51 e 11%, que a produção de MSPA para as cultivares Aruana e Tanzânia fosse aumentada respectivamente em 54 e 129%, além de também ter possibilitado aumento na altura da Tanzânia, Pensacola e *B. humidicola* de 31, 10 e 44%, respectivamente (Tabela 1 e 3). Entretanto, o tratamento Zn-F reduziu em 0,6% o índice SPADme em 7% a altura da Aruana, além de também ter reduzido a produção de MFPA da Pensacola em 76%, de reduzir a produção de MSPA da Pensacola e *B. humidicola*, em 48 e 22%, respectivamente, e de ter promovido decréscimo de Zn na parte aérea para a Aruana, Tanzânia, Pensacola e *B. humidicola* de 28, 18, 77 e 61%, respectivamente (Tabela 1, 2 e 3).

Os teores de zinco na parte aérea variaram de 8,09 a 126,15 mg kg<sup>-1</sup>, 6,98 a 132,27 mg kg<sup>-1</sup>, 14,27 a 708,93 mg kg<sup>-1</sup> e 17,13 a 448,78 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente para as cultivares Aruana, Tanzânia, Pensacola e para a *B. humidicola* (Tabela 2). Considera-se 50 mg kg<sup>-1</sup> MS, como sendo teor foliar adequado de zinco para as forrageiras, enquanto que teores inferiores a 20 mg kg<sup>-1</sup> caracterizam deficiência do elemento nas folhas (BERCHIELLI et al., 2006) e teores superiores a 400 mg kg<sup>-1</sup> são considerados tóxicos as culturas (FAQUIN, 2005). Desse modo, os resultados dos teores de Zn da parte aérea, demonstram que valores menores do que 20 mg kg<sup>-1</sup> somente ocorreram onde não foi aplicado Zn (controle). Enquanto que a concentração de Zn na parte aérea esteve abaixo do considerado adequado as plantas, quando

houve aplicação de Zn no solo (Zn-S) e muito acima do adequado para os tratamentos Zn-S+F e Zn-F.

Contudo, os teores de Zn da parte aérea obtidos pelo tratamento Zn-S+F, para os casos da *B. humidicola* (448,8 mg kg<sup>-1</sup>) e da Pensacola (708,9 mg kg<sup>-1</sup>), atingiram valores superiores ao considerado tóxico (400 mg kg<sup>-1</sup>) (FAQUIN, 2005) (Tabela 2). No caso da *B. humidicola*, os valores de zinco atingidos pelo tratamento Zn-S+F, resultaram em toxidez para a cultura, manifestada pela redução de MSPA, MFPA, altura e índice SPAD em relação a controle (Tabela 1).

Diferentemente do ocorrido para a *B. humidicola*, verificou-se que para a Pensacola o excesso de zinco (708,9 mg kg<sup>-1</sup>) obtidos no tratamento Zn-S+F não ocasionou redução sobre a produção de massa fresca e seca da parte aérea, bem como comprimento foliar, em relação ao controle (Tabela 1). Pelo contrário, houve incremento destas variáveis, o que indica baixa sensibilidade e/ou alta tolerância da planta a elevados teores deste elemento, diferentemente do que verificado para Pensacola. Comportamento semelhante foi observado por Orioli Junior et al. (2008) em trigo, Teixeira (2016) em capim Mombaça, SHU et al. (2002) em *Cynodon dactylon*, Pereira (2001) em alface, Rosolem & Franco (2000), Ernani et al. (2001) e Pereira et al. (2007) em milho, os quais observaram que mesmo em teores muito elevados nas plantas, não houve manifestação de sintomas de toxidez.

A ausência de sintomas de toxidez de Zn para a Pensacola, mesmo com valores muito acima do considerado tóxico, possivelmente pode ser atribuída a mecanismos bioquímicos de tolerância ao Zn na parte aérea (KÜPPER et al. 1999). Por meio dos quais, o zinco seria retido nos vacúolos, sendo complexados por proteínas como metalotioneína, peptídeos como fitoquelatinas (KÜPPER et al. 1999), ácidos orgânicos como o malato e citrato ou por outros agentes de ligação (GODBOLD et al., 1984, KROTZ et al., 1990, KÜPPER et al. 1999), ou no caso de tecidos não vacuolados a retenção de zinco seria feita pelo ácido fítico (MARSCHNER, 1995) o que ajudaria a prevenir a toxidez (GODBOLD et al., 1984, KROTZ et al., 1990 MARSCHNER, 1995 e KÜPPER et al. 1999).

Por outro lado, apesar de não manifestar sintomas de toxidez para a forrageira, os teores de Zn obtidos para Pensacola no tratamento Zn-S+F, ficaram muito acima da faixa de tolerância máxima de ingestão animal (<500 mg kg<sup>-1</sup>) (NRC, 2001). Nesta situação, o consumo desta forragem, pode vir a atrapalhar a absorção e/ ou ainda interagir no metabolismo de outros minerais, de modo causar prejuízos a produtividade dos rebanhos e alterações reprodutiva (WUNSCH et al., 2005). Além disso, concentrações superiores a 470

mg kg<sup>-1</sup> de Zn na massa seca, reduzem a digestibilidade da pastagem, conseqüentemente levando a diminuição do consumo pelos animais (ARELOVICH et al., 2000).

O limite de toxicidade de Zn pode variar entre espécies, tempo de exposição ao estresse e composição do meio de crescimento (SANTOS, 2014). Assim sendo, muito embora o teor de Zn atingido para a Tanzânia com o tratamento Zn-S+F (132 mg kg<sup>-1</sup>) não tenha sido muito elevado, o mesmo resultou em toxidez, evidenciada pela redução acentuada na produção de MFPA, MSPA, altura e índice SPAD em relação a controle (Tabela 2). Além disso, embora seja preconizado na literatura que teores superiores a 400 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (FAQUIN, 2005) sejam consideradas tóxicas as culturas, autores como White & Brown (2010), apresentam que concentrações foliares superiores a 100 mg kg<sup>-1</sup>, já são capazes de reduzir o crescimento da grande maioria das culturas, o que poderia explicar o fato da manifestação de toxidez, quando em concentração inferior a 400 mg kg<sup>-1</sup>.

Sabe-se que a deficiência de zinco (> 20 mg kg<sup>-1</sup> MS) reflete na altura, no rendimento das culturas e no amarelecimento das plantas. Contudo, apesar de todas as espécies estudadas, serem deficientes na ausência de adição de Zn (controle) não foram observados sintomas característicos de deficiência de Zn (Tabelas 1 e 2), assim como verificado por WERNER et al. (1996) para o capim-xaraés, por Romualdo (2008) em plantas de sorgo e por Rosolem & Franco (2000) em milho, os quais não verificaram para estas culturas danos ao crescimento e desenvolvimento inicial. Um dos fatores no qual se pode atribuir isto, provavelmente esteja relacionado às condições de cultivo, o qual foi feito em vaso, enquanto que os dados utilizados na literatura foram obtidos para condições de campo (SANTOS et al., 2009). A falta de manifestação de sintomas de deficiência de zinco pode ser explicada segundo Rosolem & Franco (2000) pelo fato que as plantas foram colhidas, sem haver tempo suficiente para que este se manifestasse no crescimento da parte aérea. Outra explicação que também pode ser dada a isso, se deve ao fato de que as gramíneas forrageiras utilizam a estratégia de quelação pela excreção de fitossideróforos para adquirir Zn do solo, necessitando assim de baixas taxas de crescimento (WIRÉN et al. 1996, ERNST, 2006, FLORA & PACHAURI, 2010).

Constatou-se por meio dos contrastes realizados, pouca ou nenhuma influência sobre os demais nutrientes (macro e micronutrientes), assim como verificado por Inocêncio (2014), Oliveira et al. (2016) e Cambraia (2015) (Tabela 4), o que é exemplificado nos casos da Aruana, as quais a adição de Zn independentemente da forma que foi aplicada, não apresentou nenhum efeito sobre demais elementos analisados (Tabela 4). Exceção foi verificada em relação a Pensacola, para a qual foi constatado efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos tratamentos

sobre os teores foliares de Ca, Fe, Cu e Mg para a *B. humidicola* e Tanzânia onde houve efeito significativo do contraste sobre o teor de Mg (Tabela 4).

Para Aruana e Tanzânia a aplicação de zinco foliar (Zn-F), foi o único tratamento a promover acréscimo na produção de MFPA e MSPA, em relação a controle, enquanto que os demais tratamentos além de reduzirem essas variáveis, também promoveram a redução da altura e dos índices SPAD<sub>in</sub>, SPAD<sub>me</sub>, SPAD<sub>su</sub> (Tabela 1). No entanto, diferentemente do que verificado para estas culturas, no caso da Pensacola, a aplicação foliar reduziu drasticamente a produção de MFPA em relação a controle, enquanto que o tratamento Zn-S+F, foi a único a promover acréscimo MFPA, MSPA em relação a controle (Tabela 1).

Já para a *B. humidicola*, o maior incremento de MFPA e MSPA foi obtido pelo tratamento Zn-S, seguido do tratamento Zn-F, onde ambos promoveram aumentos de 24,6 e 21% em relação a controle. Contudo, o tratamento Zn-F, também foi responsável por incrementar em 21% da MFPA, em aproximadamente 13% o comprimento foliar e aumentar em mais de 40% da altura, em relação a controle, também tendo aumentado o índice SPAD (inferior, médio e superior), enquanto que com a aplicação de Zn-S, houve a redução de todas estas variáveis anteriormente citadas (Tabela 1).

A redução do índice SPAD, verificada para a maioria dos tratamentos estudados (Tabela 1 e 3), de maneira indireta implica a redução do teor de clorofila nas folhas, o que possivelmente atribui-se ao fato de que o Zn em concentrações elevadas inibe o transporte de elétrons do fotossistema II (PS II) com concomitante diminuição na biossíntese de clorofila (CHALOUB et al. 2005). Kaya1 et al. (2018) também verificou a redução do conteúdo de clorofila em pimenteira, medida de forma indireta pelo índice SPAD devido à toxicidade do Zn (KAYAL et al., 2018).

A aplicação foliar de zinco (Zn-F) foi o método que mais incrementou o rendimento (MSPA e/ou MFPA) das forrageiras trabalhadas, com exceção da Pensacola. (Tabela 1). De modo geral, comparativamente em relação a controle, a aplicação foliar (Zn-F) possibilitou menor decréscimo da MSPA e da altura, do que o tratamento Zn-S, apesar de ambos promoverem decréscimo nessas variáveis (exceção foi vista para a *B. humidicola* com o tratamento Zn-F em relação a variável altura e Tanzânia com o tratamento Zn-F em relação a variável MSPA), contudo promoveram maior incremento da MFPA e da concentração de Zn na parte aérea (Tabela 1 e 3). Atribui-se a elevação no rendimento das forrageiras (MFPA e MSPA) possivelmente ao efeito do zinco na nutrição da planta atuando como ativador enzimático de diversos processos metabólicos, pois em plantas deficientes em zinco, tem-se, em geral, acúmulo de aminoácidos, diminuição da síntese de proteínas associadas à



diminuição das auxinas, decrescendo assim a produção de massa vegetal (HERNANDES et al., 2009; BERALDO et al., 2012).

Por outro lado, houve maior eficiência da adubação de Zn aplicado nas folhas (Zn-F), em relação ao solo (Zn-S) para *B. humidicola* e para as cultivares Aruana e Tanzânia, refletindo em maior produção de massa fresca e seca da parte aérea destas culturas, comportamento também verificado por e por Arzolla et al. (1962) em cafeeiro e por Galvão (1996), Rastija et al. (2002) para o milho, Quaggio et al. (2003) em citrus e Correia et al. (2008) em arroz. A aplicação de Zn no solo tem eficiência muito baixa quando comparada com a sua aplicação via foliar, apesar da baixa redistribuição desse nutriente nas folhas e nos ramos novos (LABANAUSKAS et al., 1964; EMBLETON et al., 1965), tendo como vantagem disponibilizar esse micronutriente à planta de maneira mais rápida e eficaz quando comparada a adubação via solo (VITTI & GRANDO JUNIOR, 2006), o que por sua vez irá possibilitar na melhoria do rendimento das culturas (ALLOWAY, 2008). Além disso, a aplicação foliar quando realizada de maneira periódica, minimiza a possibilidade de contaminação por este elemento (ANGELINI, 2018) (Tabela 1). Correia et al. (2008), estudando o efeito de diferentes modos de aplicação de Zn sobre a nutrição e crescimento de plantas de arroz cultivado, em condições de vaso, constatou que o zinco quando aplicado via foliar, promoveu maior incremento na produção de massa seca da cultura em relação aplicação via solo (Tabela 1).

Assim como verificado por Alves (2017) para o feijão-caupi, verificou-se que o tratamento Zn-S+F para a Tanzânia e *Brachiaria humidicola* obteve as menores médias de MFPA quando comparada a demais modo de aplicação de zinco, o que possivelmente se deve ao fato de que quando em excesso, se acumulam no xilema tampões ("plugs") contendo o elemento, os quais dificultam a ascensão da seiva bruta, o que por vez reduz a produção de massa vegetal (massa seca e/ou massa verde) (MALAVOLTA et al., 1997).

O tratamento Zn-S+F, apesar de ter sido o único capaz de elevar a produção de MSPA e MFPA para a Pensacola, atingiu teores de Zn na massa seca, muito acima da capacidade de ingestão de bovinos. Por outro lado, a aplicação de Zn via foliar (Zn-F), foi o único tratamento que permitiu que esta cultura atingisse teores de Zn que atendessem a demanda deste nutriente na alimentação animal, porém, reduziu drasticamente a produção de MFPA (Tabela 1). Desta forma, nenhum tratamento foi eficaz em aliar produtividade a teores adequados de Zn a alimentação bovina, para o caso da Pensacola.

Muito embora os tratamentos Zn-S+F e Zn-F, por vezes tenham propiciado incremento sobre a produção da massa fresca e seca da parte aérea das culturas em função das médias dos

tratamentos (Tabela 1), para a maioria dos tratamentos e culturas avaliadas não foi verificado diferença estatística ( $P>0,05$ ) quando estes tratamentos foram contrastados (Tabela 3). A ausência de resposta a aplicação de Zn sobre a produtividade (MSPA e MFPA), também foi relatado em outras forrageiras como *Brachiaria decumbens* (KAWATOKO et al., 2012) e capim-Tanzânia (OLIVEIRA et al., 2000).

A aplicação foliar de Zn (Zn-F) foi o tratamento mais eficaz dentre todos em termos quantitativos e qualitativos (exceto para Pensacola), uma vez que propiciou aumento de produtividade (MFPA) em mais 20% para as culturas avaliadas em relação a controle, tendo também elevado os teores de Zn na massa seca, de forma que estes atingissem os valores mínimos estabelecidos pela NRC (1996) para bovinos de corte e de leite, sem, no entanto, permitir que estes valores ultrapassassem o limite máximo de Zn a ser ingerido por bovinos (Tabela 1). Deste modo, ao analisar os tratamentos realizados, verificou-se que dentre todas as culturas avaliadas, a cultivar Tanzânia por intermédio do tratamento Zn-F, foi a que apresentou a maior produção de massa seca (>51%) e fresca (>28%) quando comparada ao controle, tendo também atingido valores adequados para o consumo animal (Tabela 1).

**Tabela 3-** Análise de contraste entre os tratamentos para as variáveis de crescimento e índice SPAD para *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* Flüggé cv. Pensacola e *Brachiaria humidicola*

CONTRASTE	CULTURA	MSPA (g)		MFPA (g)		Altura (cm)		SPADme	
		CONTRASTE	Pr> F	CONTRASTE	Pr> F	CONTRASTE	Pr> F	CONTRASTE	Pr> F
C1	ARUANA	1,9	0.0250*	4,37	0.2949	3,14	0.1039	8,5	0.0101*
C2		1,1	0.2658	-6,5	0.1211	1,99	0.3052	9,15	0.0058*
C3		0,2	0.9832	-2,97	0.4764	-2,14	0.2702	0,48	0.8829
C4		-1	0.2382	-7,9	0.0604	0,99	0.6209	0,17	0.9567
C1	TANZÂNIA	1,6	0.0253*	14,21	0.0010*	2,63	0.1702	14,51	<.0001*
C2		-1,2	0.2175	-8,75	0.0382*	0,87	0.6394	8,5	0.0101*
C3		-0,8	0.1947	0	0.9990	2,09	0.2816	3,46	0.2850
C4		-2	0.0296*	-22,95	<.0001*	-3,84	0.0493*	-9,48	0.0043*
C1	PENSACOLA	0,4	0.5160	0,91	0.8276	0,86	0.6675	0,38	0.9075
C2		0,2	0.9415	3,01	0.4701	1,04	0.5936	4,3	0.1853
C3		-1,4	0.0188*	-2,05	0.7960	-0,2	0.0016*	4,1	0.1756
C4		1,1	0.0658	4,15	0.4681	0,38	0.0012*	-0,17	0.8129
C1	<i>B. humidicola</i>	-0,5	0.6325	-3,61	0.3863	1,46	0.4586	1,11	0.7303
C2		0,8	0.4163	-3,09	0.4580	-4,17	0.0313*	-1,78	0.5825
C3		0,8	0.4734	9,76	0.0212*	-1,35	0.4907	0,04	0.9907
C4		0,5	0.5656	-9,24	0.0288*	-4,28	0.0276*	-2,93	0.3659

**Contrastes:** C1: controle (0 Zn) - Zn-S; C2: controle - Zn-F; C3: Zn-S - Zn-S+F e C4: Zn-S+F - Zn-F.

\*Efeito significativo ( $p < 0,05$ )

**Fonte:** Produção do próprio autor, 2018.

**Tabela 4-** Análise de contraste entre os tratamentos para teores em mg kg<sup>-1</sup> de Zn, Ca, Mg, Cu e Fe na parte aérea para *Panicum maximum* Jacq. Cultivares Aruana e Tanzânia, *Paspalum notatum* Flüge cv. Pensacola e *Brachiaria humidicola*

Contraste	Cultura	Ca		Fe		Cu		Mg		Zn	
		Contraste	Pr> F	Contraste	Pr> F	Contraste	Pr> F	Contraste	Pr> F	Contraste	Pr> F
C1	Aruana	-250,95	0,7425	142,37	0.2349	0,32	0.7916	97,16	0.7732	-18,44	<.0001*
C2		-233,62	0,7613	74,78	0.4505	0,49	0.6777	74,78	0.9223	-82,55	<.0001*
C3		643,45	0.3544	-50,64	0.4695	0,20	0.8589	-50,64	0.8328	-99,63	<.0001*
C4		-626,11	0.3673	28,26	0.7742	-0,03	0.9790	28,26	0.9837	35,51	0.0012*
C1	Tanzânia	-1046,60	0,1507	46,18	0.3782	-0,01	0.9947	3316,39	0.0028	-23,27	<.0001*
C2		289,17	0.6667	-228,98	0.0691	0,49	0.9947	1210,02	0.2617	-101,86	<.0001*
C3		667,84	0.3237	-69,05	0.3139	0,20	10000	-1607,90	0.1372	-102,61	<.0001*
C4		667,92	0.3757	-206,12	0.0901	0,00	10000	-498,46	0.6426	24,02	0.0366*
C1	Pensacola	-1925,88	0,0007*	-503,25	0.0324*	-3,75	0.0190*	-1425,16	0.1870	-15,17	<.0001*
C2		-3218,01	<.0001*	145,52	0.2805	0,49	0.0791	-5266,60	<.0001*	-146,14	<.0001*
C3		-769,21	0.4356	244,88	0.7271	0,20	0.0388*	-720,68	0.4456	-679,49	<.0001*
C4		-522,92	0.5178	403,88	0.0092*	4,33	0.0816	-3120,75	0.0127	548,52	<.0001*
C1	<i>B.humidicola</i>	478,70	0,5985	-19,86	0.7551	-2,41	0.0906	-552,53	0.6071	-17,24	<.0001*
C2		-79,29	0.8789	-74,23	0.3284	0,49	1,000	-2556,42	0.0195*	-159,33	<.0001*
C3		-540,58	0.3614	-81,99	0.3641	0,20	0.7100	1165,29	0.2796	-414,42	<.0001*
C4		-17,41	0.8136	27,62	0.8090	3,71	0.0403	-3169,18	0.0041*	272,33	<.0001*

**Contrastes:** C1: controle (0 Zn) - Zn-S; C2: controle - Zn-F; C3: Zn-S - Zn-S+F e C4: Zn-S+F - Zn-F

\*=Efeito significativo (p>0,05)

**Fonte:** Produção do próprio autor, 2018.

## 5 CONCLUSÃO

Houve efeito significativo dos tratamentos sobre o teor de Zn em todas as culturas estudadas, tendo sido evidenciados os maiores incrementos nos teores foliares de Zn em relação ao controle, para os tratamentos em ordem decrescente: Zn-S+F > Zn-F > Zn-S.

A aplicação de zinco no solo promoveu a redução de massa seca e fresca da parte aérea, índice SPAD e altura das espécies estudadas, com exceção da *B. humidicola*, na qual o tratamento promoveu acréscimo na produção de massa seca e fresca da parte aérea.

Houve efeito significativo do modo de aplicação de zinco sobre Ca, Mg, Cu e Fe somente para a Pensacola, onde foi evidenciado o aumento nos teores de Ca, Mg com a aplicação foliar e aumentos nos teores de Cu e Fe com a aplicação solo+foliar, no caso desta cultura.

A aplicação de zinco independentemente do modo como tenha sido realizada, não interferiu sobre o teor de Mn e P, comprimento foliar, índice SPAD<sub>in</sub> e SPAD<sub>su</sub> para nenhuma das culturas trabalhada.

Para *B. humidicola* e Tanzânia houve redução acentuada na produção de MFPA, MSPA, altura e índice SPAD no tratamento Zn-S+F em relação ao controle.

Nenhum tratamento foi eficaz em aliar produtividade a teores adequados de Zn a alimentação bovina, para o caso da Pensacola. Para as demais culturas, a aplicação foliar de Zn (Zn-F), aumentou a produção de massa (MFPA e/ou MSPA) e atingiu teores de zinco adequados ao consumo animal.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, SBCS, 2007. p.645-736.

ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Nobel, 1999. 162 p.

ALLOWAY, B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. IFA, Paris, 2008.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. Blackie, Glasgow (1995), 1995. p. 368.

ALMEIDA FILHO, S. L. **Minerais para ruminantes**. Uberlândia: EDUFU, 2016.138 p.

ALVES, L. V. F. V. **Estratégias de adubação com zinco para biofortificação agrônômica do feijão-caupi**. 2017. 72 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

ANDERSON, C. W.N. et al. Zinc-enriched and zinc-biofortified feed as a possible animal remedy in pastoral agriculture: animal health and environmental benefits. **Journal of Geochemical Exploration**. v. 121, p. 30-35, out. 2012.

ANGELINI, Bruno Geraldi. **Enriquecimento de sementes de feijão e trigo com zinco através da aplicação foliar do micronutriente**. 2018. 68 p. Dissertação (Mestrado) USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2018.

ANWAAR, S. A.; et al. Silicon (Si) alleviates cotton (*Gossypium hirsutum* L.) from zinc (Zn) toxicity stress by limiting Zn uptake and oxidative damage. **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 22, n. 5, p. 3441- 3450, 2015.

ARDUINI, I., D. I et al. Cadmium and copper change root growth and morphology of *Pinus pinea* and *Pinus pineaster* seedlings. **Physiol. Plant**. 92: 675- 680. 1994.

ARELOVICH, H.M., et al. Effects of supplemental zinc and manganese on ruminal fermentation, forage intake, and digestion by cattle fed prairie hay and urea. **J. Anim. Sci.**, v. 78, p. 2972-2979, 2000.

BARCELLOS, J. O. J. et al. Suplementação mineral de bovinos de corte em ambientes subtropicais. In: BARCELLOS, J.O.J. (Ed.). **Suplementação mineral de bovinos em regiões subtropicais**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

BERALDO, J. M. G. et al. Produção e nutrição do capim-Marandu submetido a doses de zinco no solo. **Revista Biotemas**, 25 (2), 2012.

BERCHIELLI, T.T et al. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2006. 583 p.

BODDEY, R.M. et al. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.103, p.389-403, 2004.

BOLIANI, E. **Adubação e biofortificação: caracterização química e física do arroz (*Oryza sativa L.*)**. 2012. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012, 116 f.

BOROWSKI, E.; MICHALEK, S. The effect of foliar nutrition of spinach (*Spinacia oleracea L.*) with magnesium salts and urea on gas exchange, leaf yield and quality. **Acta Agrobotânica**, v. 63, p. 77-85, 2010.

BROADLEY, M. R., et al. Biofortification of UK food crops with selenium. **Proc. Nutr. Soc.**, n. 65, p. 169-181, 2006.

BRUM, P. A. R. et al. Deficiências minerais de bovinos na sub-região dos Paiaguás, no Pantanal Mato-grossense. II. Cobre, zinco, manganês e ferro. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 22, n. 9/10, p. 1049-1060, 1987.

CAKMAK, I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytol.** 146:185–205. 2000.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant Soil**, 302:1–17, 2008.

CAKMAK I. Enrichment of fertilizers with zinc: Na excellent investment for humanity and crop production in India. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.**; 23:281-289, 2009.



CAMARGO, A. O. **Reações e interações de micronutrientes no solo**. 2006. Artigo em Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_3/Micronutrientes/Index.](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/Micronutrientes/Index.)>. Acesso em: 10 de jul. 2017.

CAMBRAIA, T. L. L. **Biofortificação agrônômica do feijão pelo manejo da adubação com Zn**. 2015. 49f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

CARVALHO, F.A.N., BARBOSA, F.A., McDOWELL, L.R. **Nutrição de bovinos a pasto**. Belo Horizonte: Papelform, 2003. 438p.

CAVALHEIRO, A. C. L.; TRINDADE, D. S. **Os minerais para bovinos e ovinos criados em pastejo**. Ed. Sagra-DC LUZZATTO 1ª edição, 1992, 142 p.

CHALOUB, R, et al. Early toxic effects of zinc on PSII of *Synechocystis aquatilis* f. *aquatilis* (Cyanophyceae). **J Phycol**. 2005;41(6):1162-1168.

CHAMBLISS, C. Bahiagrass UFL SSAGR-36. **Chemosphere**, 75, 1468-1476, 2000.

CHATZISTATHIS, T. **Micronutrients Deficiency in Soils and Plants**. Oak Park, Illinois: Bentham Science Publishers, 2014. 205 p.

COLOZZA, M.T. et al. Respostas de *Panicum Maximum* cultivar Aruana a doses de nitrogênio **B. Industr. anim.**, N. Odessa, v.57, n.1, p.21-32, 2000.

CORRÊA, L. A., Santos, P. M. Importância do Gênero *Panicum* na Produção de Carne Bovina no Brasil. **Revista JC Maschietto**, ano 01, n° 01, agosto/2003.

CORREIA, M. A. R. et al. Modos de aplicação de zinco na nutrição e no crescimento inicial da cultura do arroz. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 1-7, Out./Dez. 2008.

CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 376p.

CUYPERS, A.; VANGRONVELD, J.; CLIJSTERS, H. The redox status of plant cells (AsA and GSH) is sensitive to zinc imposed oxidative stress in roots and primary leaves of *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 39, n. 8, p. 657–664, July/Aug. 2001.

DANTAS, C. C. O.; NEGRÃO, F. M. Funções e sintomas de deficiência dos minerais essenciais utilizados para suplementação dos bovinos de corte. **UNICiências**, v.14, n.2, p. 199-223, 2010.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2006, p. 327-354.

EMBLETON, T. W. et al. Effectiveness of soil vs. foliar applied zinc and of foliar applied manganese on California lemons. **American Society for Horticultural Science Proceedings**, Alexandria, v. 86, p. 253-259, 1965.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

ERNANI, P. R. et al. Influência de adições sucessivas de zinco, na forma de esterco suíno e de óxido, no rendimento de matéria seca de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 905-911, 2001.

ERNST, W. H. O. Evolution of metal tolerance in higher plants. **For. Snow Landsc**, 2006;80(3): 251--274.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 151-168, 2010.

FACHINETTO, J.M. et al. Agronomic evaluation and persistence analysis in a collection of *Paspalum notatum* Flüggé (Poaceae) accessions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.189-195, 2012.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. de. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FLORA, S. J. S., PACHAURI V. Chelation in metal intoxication. **Int J Environ Res Public Health**. 2010;7(7):2745-2788.

FONSECA, C. A. **Fontes e níveis de zinco no desempenho de bovinos terminados em confinamento e relativa biodisponibilidade**. 2005. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária, Goiânia, 2005.

FONTANELI, R. S., et al. Gramíneas forrageiras perenes de verão. In: FONTANELI, R. S., et al. (Eds.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. - Brasília, DF: Embrapa, 2012.

FONTANELI, R. S.; SCHEFFER-BASSO, S. M. Cadeia forrageira para o Planalto Médio. In: **Cadeias forrageiras regionais**. Porto Alegre: Federacite; Caramuru, 1995. p. 43-83. (Federacite, 7).

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA, 2001. 252 p.

GALRÃO E. Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-escuro, argiloso, sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.283-289, 1996.

GATES R.N. et al. Bahiagrass. In: MOSER, L.E. et al. (Eds.). **Warm-season (C4) grasses**. Madison: ASA, CSSA, and SSSA, 2004. p.651-680.

GISSEL-NIELSEN, G. Effects of selenium supplementation of field crops. In: FRANKENBERGER, W.T., ENGBERG, R. A. [eds.] **Environmental chemistry of selenium**. New York: Marcel Dekker Inc.; 1998. pp. 99–112.

GODBOLD, D.L. et al. Accumulation of zinc and organic acids in roots of zinc tolerant and non-tolerant ecotypes of *Deschampsia caespitosa*. **J. Plant Physiol.** v. 116, p. 59-69, 1984.

GOMIDE, C. A. M. et al. ***Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça para uso em pastejo: produção e custo**. Juiz de Fora, MG Agosto, 2016. Circular técnica 113.

GUIMARÃES, M. M. C. et al. Estimativa da composição química do Capim Braquiária cv. Marandú por meio de um clorofilômetro portátil. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia** v.4, n.2, Mai/Ago. 2011.

GUPTA, U. C.; GUPTA, S. C. **Quality of animal and human life as affected by selenium management of soils and crops**. Communications in Soil Science and Plant Analysis n. 33, p.15–18, 2002.

GUPTA, U.; MONTEIRO, F. A.; WERNER, J. C. Micronutrients in grassland production. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 2001, Piracicaba. **Proceedings...** Piracicaba: Fealq, 2001. p. 1097.

HERNANDES, A. et al. Desenvolvimento e nutrição do capim-tanzânia em função da aplicação de zinco. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.5, p.383-389, Set./Out. 2009.

HOODA, P. S. **Trace elements in soils**. London: Wiley, 2010. 618 p.

HUGEN, C. et al. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.622-628, 2013.

IBGE. **Censo agropecuário 2017: resultados preliminares 2017**. Rio de Janeiro, v. 6, p.1-108, 2017.

INOCÊNCIO, M. F. et al. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1550-1554, Out. 2012.

JANK, L. et al. Breeding tropical forage. **Crop Breeding and Applied Biotechnology S1**: 27-34, 2011.

KAMINSKI, J. et al. Resposta de biótipos da grama forquilha à calagem e à frequência de corte. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 581-586, Dez. 1998.

KAWATOKO, M. et al. Efeito imediato de calcário, nitrogênio e zinco na produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens*. **TERRA LATINOAMERICANA**, v. 30, n. 1, 2012.

KAYAL, C. et al. Hydrogen sulfide regulates the levels of key metabolites and antioxidant defense system to counteract oxidative stress in pepper (*Capsicum annuum* L.) plants exposed to high zinc regime. **Environ Sci Pollut Res**, 25:12612-12618, 2018.

KELLER-GREIN, G.; MAASS, B. L.; HANSON, J. Natural variation in *Brachiaria* and existing germoplasma collections. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE C. B. (ed.). **Brachiaria: biology, agronomy, and improvement**. Cali: CIAT, 1996. p. 16-42.

KHUDSAR, T. et al. Zinc-induced changes in morpho-physiological and biochemical parameters in *Artemisia annua*. **Biol. Plant**. 48 (2):255-260. 2004.

KROTZ, R.M. et al. Relationships between cadmium, zinc, Cd-peptide and organic acids in tobacco suspension cells. **Plant Physiol.**, v. 91, p. 780-787, 1990.

KÜPPER H, et al. Cellular compartmentation of zinc in leaves of the Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. **Plant Physiol.** 1999;119(1):305-311.

KUTMAN, U. B. et al. Biofortification of durum wheat with through soil and foliar applications of Nitrogen. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 87, n.1, p. 1-9, feb. 2011.

LABANAUSKAS, C. K. et al. Effects of foliar applications of manganese, zinc and urea on yield and fruit quality of Valencia oranges and nutrient concentrations in the leave, peel and juice. **American Society for Horticultural Science Proceedings**, Alexandria, v. 82, p. 143-153, 1964.

LI, T. et al. Rhizosphere characteristics of zinc hyperaccumulator *Sedum alfredii* involved in zinc accumulation. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 185, p. 818-823, 2011.

LIDON, F. C. et al. Essential key points for zinc biofortification: uptake, translocation and accumulation mechanisms in higher plants. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25: p. 798-804. 2013.

MACEDO, M. C. M. et al. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: encontro de adubação de pastagens da Scot consultoria - Tec - Fértil, 1. 2013, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181.

MACEDO, M. C. M. Degradação de pastagens; conceitos e métodos de recuperação In: Sustentabilidade da pecuária de leite no Brasil, 1999, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora. 1999. p.137-150.

MACEDO, M.C.M. **Degradação de pastagens: conceitos, alternativas e métodos de recuperação.** In: EPAMIG. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.26, n.226, p.36-42, 2005.

MACPHERSON, A. Trace-mineral of forages. In: GIVENS, D. I.; OWEN, E.; AXFORD, R. F. E.; OMED, H. M. (Eds) **Forage evaluation in ruminant nutrition.** London: CAB International, p. 345-371. 2000.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafós, 1997.

MANARIN, S. A. **Combinações de doses de fósforo e de zinco em solução nutritiva para o Capim-Tanzânia**. 2005. 68 p. Dissertação (Mestrado) Piracicaba, 2005. ESALQ- USP. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

MARQUES, J. J. et al. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v.121, p.31-43, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINS, L. E. C. **Respostas fisiológicas, metabólicas, estruturais e produtivas do capim-marandu às disponibilidades de fósforo e zinco**. 2010. 53 p. Dissertação (Mestrado). ESALQ- USP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

MINSON, D. J. **Forage in Ruminant Nutrition**. Academic Press, London, 483 p.1990.

MONTAGNA, C. D. **Uso de aditivos em silagens de *Panicum maximum***. 2018. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2018.

MOURINHO, R. P. P. **Biofortificação do grão de *Triticum aestivum* L. em zinco**. 2016. 206 p. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Caparica, Portugal, 2016.

MOUSAVI, S. R. Zinc in Crop Production and Interaction with Phosphorus. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 5(9): 1503-1509, 2011.

MOUSAVI, S. R. zinc in crop production and interaction with phosphorus. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 5(9): 1503-1509, 2011.

MUNER, L. H. et al. Disponibilidade de zinco para o milho em resposta á localização de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícolas e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n.1, p. 29-36, jan. 2011.

MUNIRAH, N. et al. The Effects of Zinc Application on Physiology and Production of Corn Plants. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 9(5) March, Pages: 161-165, 2015.

MUNSON, R. D.; NELSON, W. L. **Principles and practices in plant analysis**. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.) Soil testing and plant analysis. Madison: SSSA, 1973.

NABINGER C. Manejo e Produtividade das Pastagens Nativas do Subtrópico Brasileiro. In: Simpósio de Forrageiras e Produção Animal, 1º, Canoas. **Anais...** Canoas: ULBRA, p. 25-75. 2006.

NABINGER, C; DALL'AGNOL, M. Principais gramíneas nativas do RS: características gerais, distribuição e potencial forrageiro. In Dall'Agnol M, Nabinger C and Santos RJ (eds) **Anais...** do 3 simpósio de forrageiras e produção animal. UFRGS, Porto Alegre, p.7-54. 2008.

NASRI, M. et al. Zn-foliar application influence on quality and quantity features in *phaseolous vulgaris* under different levels of N and K fertilizers. **Advances in Environmental Biology**, Punjab, v. 5, p. 839–846, 2011.

NICODEMO, M. L. F.; SERENO, J. R. B.; AMARAL, T. B. **Minerais na eficiência reprodutiva de bovinos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. 69p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 80).

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrients Requeriments of Deef Cattle**. Wasintgton: Academy press, 7 ed., 1996, 360p.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle: Seventh revised edition**. National Academy of Science, Washington, 2001, p.54-74.

OCHOGAVÍA, A. et al. Structure, target-specificity and expression of PN\_LNC\_N13, a long non-coding RNA differentially expressed in apomictic and sexual *Paspalum notatum*. **Plant Mol Biol.**, v. 96, p. 53–67. jan. 2018.

OLIVEIRA, I. P. et al. Efeitos qualitativo e quantitativo de aplicação do zinco no capim Tanzânia-1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 30, n.1, p. 43-48, jan./jun. 2000.

OLIVEIRA, S. C. et al. Resposta de duas cultivares de arroz a doses de zinco aplicado como oxissulfato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 387-396, mar. 2003.

ORIOLI JUNIOR, V. et al . Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de massa seca de plantas de trigo. **R.C. Suelo Nutr. Veg.**, Temuco , v. 8, n. 1, p. 28-36, 2008.

PACIULLO, D. S. C. et al. **Tecnologia e custo de produção de Brachiaria brizantha para uso sob pastejo**. 1ª ed. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 7 p. (Circular Técnica 112). 2016.

PASCOALINO, J. A. L. **Estratégias de adubação com zinco para biofortificação agrônômica do trigo**. 2014. 64 p. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PAULINO, M. F. et al. Fontes de energia em suplementos múltiplos de auto-regulação de consumo na recria de novilhos mestiços em pastagens de *Brachiaria decumbens* durante o período das águas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.3, p.957-962, maio/jun. 2005.

PEREIRA, E.A. et al. Adaptabilidade e estabilidade em genótipos apomíticos do gênero *Paspalum*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.8, p.1361-1367, 2015.

PEREIRA, J. M. N. **Absorção e distribuição de cádmio e zinco em plantas de alface e cenoura**. 2001. 83 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2001.

PEREIRA, N. M. Z. et al. Disponibilidade de zinco para o milho afetada pela adição de Zn e pelo pH do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.3, p. 273-284, 2007.

PERES, R. M. et al. Produção de sementes do capim *Brachiaria humidicola*: Uma alternativa para a agricultura familiar. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v. 9, n. 2, 2012.

PINTO, S. I.C. et al. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.6, p.1005-1014, 2009.

PRADO, R. M. et al. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 67-74, jan./mar. 2008.

PRADO, R. M. et al. Zinco na nutrição e produção do capim-*megathyrus* cultivado em Latossolo Vermelho distrófico. **Scientia Agraria Paranaensis**. Volume 11, número 2, 2012, p 82-92.

PRADO, R.M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: FUNEP, 2008. 500p.



QUAGGIO, J. A. et al. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 627-634, 2003.

QUARÍN, C. L. and Normann, G. A. Interpecific hybrid between five *Paspalum* species. **Botanical Gazette**, 151:366-369. 1990.

RASTIJA, M. et al. Response of corn to zinc fertilization. Proc. Union of Scientists Rouse. Energy efficiency and agricultural engineering. **Int. Sci. Conf. Rouse**, Bulgaria, v. 1, p. 131–136, 2002.

R Core Team (2016). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REIS, A.R. et al. Agronomic biofortification of upland rice with selenium to improve human health. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 27, p. 42-42, 2013.

REIS, A.R. et al. Biofortificação agrônômica com selênio no Brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.8(2), p.128-138, 2014.

RODRIGUES, J. F. H. **Características morfogênicas e estruturais do *Panicum maximum* Jacq cv. milênio sob adubação**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2006, 48f.

ROMUALDO, L. M. **Modos de aplicação de zinco no crescimento Inicial de plantas de milho e de sorgo em casa de Vegetação**. 2008. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

ROSOLEM, C. A.; FRANCO, G. R. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:807-814, 2000.

SAFFARI, M. et al. Evaluation of three sequential methods for fractionation of zinc in calcareous and acidic soils. **Research Journal of Biological Sciences**, Brisbane, v. 4, n. 7, p. 848-857, abr. 2009.

SANTOS, J. O. **Deficiência e excesso de zinco em mudas de cafeeiro : metabolismo de carboidratos e respostas antioxidantes**. 2014. 68 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras : UFLA, 2014.

SANTOS, T. M. et al. Produção de biomassa e nível crítico tóxico do capim-xaraés em função da aplicação de zinco. **Boletim de Indústria Animal**, São Paulo, v.66, n.1, p.53-60, 2009.

SENGER, C.G.D. et al. Teores minerais em pastagens do Rio Grande do Sul. II. Sódio, enxofre, zinco, cobre, ferro e manganês. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.1, p.101- 108, 1997.

SILVA, P. M. P. **Tolerância ao déficit hídrico em *Panicum maximum***. 2013. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2013.

SMITH, R. L. et al. Transformation of Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge). **Plant Cell Reports**. 20(11):1017-1021, mai. 2002.

SOARES, C. R. F. S. et al. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Pesq. Agropec. Bras.** 36(2):339-348. 2001.

SOBRAL, L. F. et al. **Extrações com Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em Argissolo fertilizado com zinco, manganês e cobre**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 15 p.. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros.

SOUSA, J.C.; DARSIE, G. Deficiências minerais em bovinos de Roraima, Brasil. I - Zinco e Cobalto. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 20, n.1, p. 1309-16. 1985.

SOUZA, G. A. **Biofortificação da cultura de trigo com zinco, selênio e ferro: explorando o germoplasma brasileiro**. 2013. Tese (doutorado). UFLA, Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2013, 112 p.

STEINER, MARCELO G. et al . Forage potential of native ecotypes of *Paspalum notatum* and *P. guenoarum*. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, Rio de Janeiro , v. 89, n. 3, p. 1753-1760, Set. 2017 .

STRAPASSON, E. et al. Seleção de descritores na caracterização de germoplasma de *Paspalum* sp. por meio de componentes principais. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa , v. 29, n. 2, p. 373-381, Abr. 2000.

TEIXEIRA, I. R. et al. Teores de clorofila em plantas de feijoeiros influenciadas pela adubação com manganês e zinco. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, no. 2, p. 147-152, 2004.

TEIXEIRA, I. R. et al. Fontes e doses de zinco no feijoeiro cultivado em diferentes épocas de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 255-259, mai. 2008.

TEIXEIRA, N. M. **Adubação foliar de zinco quelatizado e seus efeitos na produção de capim-mombaça**. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena. Área do conhecimento: Produção Animal, 2016.

TEWARI, R. K.; KUMAR, P.; SHARMA, P. N. Morphology and physiology of zincstressed mulberry plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Santiago, v.171, n. 1, p. 286–294, 2008.

TOKARNIA, C. H.; DOBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. **Pesq. Vet. Bras.**, Rio de Janeiro, v.20, n.3, p. 127-138, 2000.

TRIPATHI, D. K. et al. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. **Acta Physiol Plant** (2015) 37:139.

TSONEV, T.; LIDON, F. J. C. Zinc in plants - An overview. **Emir. J. Food Agric**24 (4): 322-333. 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Microwave Assisted acid digestion of sediments, sluges, soil, and oils. Method 3051A** - 2007. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>>. Acesso em:20 dez. 2018.

VALLADARES, G. S. et al. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1105-1114, out. 2009.

VALLE, C.B. et al. Gênero *Brachiaria*. In: FONSECA, D.M. da; MARTUSCELLO, J.A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa: Ed. da UFV, 2010. **800 p.**

VENDRAME, P.R.S. et al. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.6, p.859-864, jun. 2007.

VERGÜTZ, L. et al. Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 42, n. 2, p. 22-29, mai.–ago. 2016.

VITTI, G. C.; GRANDO Jr., N. O uso de micronutrientes na maximização da produção. **Visão Agrícola: Soja**. Piracicaba: USP/ESALQ, n. 5, p. 24-26, 2006.

VOLKWEISS, S.J., 1991. Fontes e metodos de aplicacao. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS; CNPq, pp: 391-412.

WEISS, W. P. **Relationship of mineral and vitamin supplementation with mastitis and milk quality**. Proceeding of Annual National Mastitis Council. Orlando, p. 37-44, 2002.

WELCH, R. M. **Linkages between trace elements in food crops and humans health**. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). Micronutrient deficiencies in global crop production. New York: Springer, 2008. p. 287-309.

WERNER, J. C. et al. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.263-273. (IAC. Boletim Técnico 100).

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**. v. 182, n. 1, p. 49–84, 2009.

WHITE, P. J. et al. Does zinc move apoplastically to the xylem in roots of *Thlaspi caerulescens*? **New Phytologist**, London, v. 153, n. 1, p. 201–207, 2002.

WHITE, P. J.; BROWN, P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botany**, Oxford, v. 105, n. 1, p. 1073–1080, 2010.

WILKINSON, H.F.; LONERAGAN, J. F.; QUICK, J. P. The movement of zinc to plant roots. **Soil Sci Soc Amer Proc**. v. 32, n.6, p. 831-833, 1968.

WIRÉN, N. et al. Roots of iron-efficient maize also absorb phytosiderophore-chelated zinc. **Plant Physiol**. 1996;111(4):1119-1125.

WUNSCH, C. et al. Microminerais para bovinos de corte nas pastagens nativas dos Campos de Cima da Serra, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v.35, n. 4, jul-ago, 2005.

WUNSCH, C. et al. Microminerais para bovinos de corte nas pastagens nativas dos Campos de Cima da Serra, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v.35, n. 4, jul-ago, 2005.

YAMADA, T. **Zinco. É a lei – o zinco é exigido pelas culturas.** POTAFOS. Arquivo do Agrônomo, n° 10. Informações Agronômicas, n° 73. Piracicaba, São Paulo. 1996. p.21-22.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain filling of cereals under soil drying. **New Phytologist**, London, v. 169, n.2, p. 223-236, feb. 2006.

YOSHIDA, S.; TANAKA, A. Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils. **Soil Science & Plant Nutrition**, Tokyo, v. 15, n. 2, p. 75–80, Apr. 1969.