

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Tratamento de sementes de milho com zinco e cobre**

**Marcos Altomani Neves Dias**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba  
2013**

Marcos Altomani Neves Dias  
Engenheiro Agrônomo

**Tratamento de sementes de milho com zinco e cobre**

Orientador:  
Prof. Dr. **SILVIO MOURE CICERO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba**  
**2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Dias, Marcos Altomani Neves

Tratamento de sementes de milho com zinco e cobre / Marcos Altomani Neves Dias. - -  
Piracicaba, 2013.  
60 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.  
Bibliografia.

1. Revestimento de sementes 2. Micronutrientes 3. Vigor de sementes
4. Armazenamento de sementes I. Título

CDD 633.15  
D541t

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, familiares, à minha namorada Érika e sua família, pelo fundamental apoio e companheirismo.

Ao Prof. Silvio Moure Cicero, pela amizade e grande importância em minha formação acadêmica e profissional.

Aos professores, funcionários e alunos de graduação e pós-graduação (turma 2007 - 2013) do Departamento de Produção Vegetal e do Laboratório de Tecnologia de Sementes da USP/ESALQ, em especial para Helena M. P. Chamma, Adilson J. Teixeira, João E. Jabur Filho e Ananias F. Souza pela grande contribuição para a execução deste trabalho.

Ao Prof. Alan G. Taylor e sua equipe, pelo entusiasmo em ensinar e pelos importantes ensinamentos transmitidos na área de tecnologia de sementes.

Ao Vitor H. V. Mondo e Oswaldo A. P. Pereira pela amizade e grande influência em minha trajetória profissional.

Aos pesquisadores/professores Nihat Guner, Randy Johnson, Miller McDonald, Peter Halmer, Julio Marcos Filho, Ana D. L. C. Novembre, José L. Favarin e Pedro J. Christofolletti por influenciar de maneira positiva, direta ou indiretamente, em meus trabalhos.

Aos engenheiros agrônomos Luis K. Yabase e Felipe Pozzan pelo apoio e incentivo para a condução deste trabalho.

Aos grandes amigos da República (Família) Pau Queimado e aos demais amigos da ESALQ, pelo apoio e agradável convivência neste período.

Às empresas Agrichem do Brasil S.A. e Dow AgroSciences, pelo fornecimento de materiais para o desenvolvimento deste estudo.

Ao CNPq (março a maio de 2012) e à FAPESP (junho de 2012 a setembro de 2013) pelas bolsas de estudo concedidas para o desenvolvimento desta pesquisa.



## SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 DESENVOLVIMENTO.....	13
2.1 Revisão bibliográfica.....	13
2.1.1 Tratamento de sementes com micronutrientes.....	13
2.1.1.1 Tratamento de sementes com zinco e cobre.....	15
2.1.2 Aspectos nutricionais da cultura do milho com zinco e cobre.....	17
2.2 Material e Métodos.....	20
2.2.1 Manejo inicial dos lotes de sementes.....	20
2.2.2 Doses e formulações utilizadas no tratamento de sementes.....	21
2.2.3 Caracterização inicial dos lotes e avaliação da qualidade das sementes.....	21
2.2.3.1 Teor de água.....	22
2.2.3.2 Massa de mil sementes.....	22
2.2.3.3 Teores de zinco e de cobre nas sementes.....	22
2.2.3.4 Testes de germinação e de primeira contagem de germinação.....	23
2.2.3.5 Teste de frio.....	23
2.2.3.6 Testes de emergência de plântulas e de velocidade de emergência de plântulas.....	23
2.2.3.7 Análise de imagens de plântulas.....	24
2.2.4 Avaliações dos teores de zinco e cobre e do desenvolvimento inicial das plantas.....	24
2.2.5 Análise estatística.....	27
2.3 Resultados e Discussão.....	27
2.3.1 Avaliação do potencial fisiológico das sementes.....	27
2.3.2 Avaliação do desenvolvimento inicial das plantas.....	40
2.3.3 Avaliação da eficiência nutricional.....	44
3 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	55



## RESUMO

### Tratamento de sementes de milho com zinco e cobre

O tratamento de sementes pode ser uma importante técnica para o fornecimento de micronutrientes na cultura do milho (*Zea mays* L.), sendo capaz de promover um melhor estabelecimento da cultura no campo. Solos contendo níveis insuficientes de zinco e de cobre para as plantas são frequentes em grande parte das regiões agrícolas do Brasil e do mundo. Deste modo, o fornecimento destes elementos via sementes pode ser uma alternativa viável e eficaz para produtores de milho. Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes tratamentos de sementes de milho contendo Zn e Cu, considerando aspectos relacionados à qualidade fisiológica das sementes e à eficiência nutricional. Para tal, foram utilizados quatro lotes do híbrido 2B688Hx, apresentando diferenças quanto ao tamanho e vigor das sementes. Os tratamentos foram compostos por diferentes dosagens e combinações de suspensões líquidas contendo óxido de Zn e carbonato de Cu, fornecidos juntos ou separadamente. Os lotes foram avaliados pelo teor de água das sementes, germinação e teste de frio em cinco épocas: 0, 30, 60, 180 e 360 dias. Nas três primeiras épocas, também foram realizados os testes de emergência de plântulas, velocidade de emergência de plântulas e análises do crescimento de raiz por meio do *software* SVIS<sup>®</sup>. O desenvolvimento inicial das plantas foi avaliado pela altura, área foliar e massa seca de raiz e de parte aérea. Os dados de massa seca associados aos teores de Zn e de Cu nos tecidos permitiram calcular as eficiências de absorção, transporte e utilização dos mesmos. A qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas com Zn e Cu, isoladamente ou associados, não é afetada ao longo de doze meses de armazenamento; por outro lado, o Cu utilizado isoladamente causa fitotoxicidade quando a avaliação é realizada tendo o papel como substrato, afetando principalmente o desenvolvimento radicular das plântulas. O tratamento de sementes com zinco e cobre se constitui em alternativa viável e eficaz para o fornecimento destes elementos para as plantas de milho.

Palavras-chave: Revestimento de sementes; Micronutrientes; Vigor de sementes; Armazenamento de sementes





## ABSTRACT

### **Maize seed treatment with zinc and copper**

Seed treatment is a potential tool for supplying micronutrients on maize crop (*Zea mays* L.), enabling a better plant stand establishment in the field. Soils presenting insufficient levels of zinc and copper to plants are common in various agricultural regions throughout Brazil and the world. Thus, the supply of such elements via seeds can be viable and effective for maize crop. This study aimed to evaluate different maize seed treatments containing Zn and Cu, related to the effects on seeds physiological quality and nutritional efficiency. Thus, four seeds lots of the corn hybrid 2B688Hx, differing in size and vigor, were used for this study. The treatments were composed of liquid suspensions containing Zn oxide and Cu carbonate, applied together or separately at different dosages. The lots were evaluated by seed moisture, germination and cold test in five periods: 0, 30, 60, 180 and 360 days. Seedling emergence, seedling emergence speed and image analysis of root growth (software SVIS<sup>®</sup>) were also performed in the first three periods. The plants development was assessed by height, leaf area and dry weight of roots and shoots. The efficiencies of absorption, transport and utilization were calculated with the data of seedlings dry weight and tissues content of Zn and Cu. The physiological quality of maize seeds is not affected by the treatments containing Zn and Cu, together or separated, during the twelve-month storage period; on the other hand, the treatments containing only Cu caused phytotoxicity on paper-based tests, affecting mainly the seedlings root development. Seed treatment with zinc and copper is a viable and effective approach for supplying these elements to maize plants.

Keywords: Seed coating; Micronutrients; Seed vigor; Seed storage



## 1 INTRODUÇÃO

O milho consiste no cereal mais produzido no mundo, com um volume estimado em 850 milhões de toneladas na safra 2012/2013. O Brasil atualmente é o terceiro maior produtor e quarto maior consumidor deste cereal. No país, a maior parte do milho é produzida atualmente na safra de inverno (segunda safra ou “safrinha”), sendo os estados do Mato Grosso e Paraná os maiores produtores.

Para a obtenção de elevados rendimentos na cultura do milho, principalmente na segunda safra, há necessidade de um bom desenvolvimento inicial da cultura, de modo que esta tenha maior capacidade de resistir aos estresses de caráter biótico ou abiótico ao longo do ciclo.

O tratamento de sementes consiste em uma tecnologia amplamente utilizada para a cultura do milho, possuindo como objetivos principais os manejos de pragas e doenças que afetam a fase inicial de desenvolvimento das plantas. Além disso, compostos com outras finalidades agronômicas podem ser fornecidos via sementes, como são os casos de polímeros, nutrientes, reguladores de crescimento, inoculantes, entre outros. Todavia, antes da utilização em larga escala, são necessários estudos que verifiquem a eficácia dos mesmos, além de possíveis efeitos prejudiciais à qualidade fisiológica das sementes.

Levando em consideração os aspectos nutricionais, a carência de zinco e de cobre é fator limitante para produtividade em grande parte dos solos no Brasil e no mundo. Deste modo, o fornecimento destes elementos via sementes pode ser uma técnica viável e de custo relativamente baixo para o suprimento inicial das plantas de milho, visando principalmente um melhor estabelecimento da cultura no campo. Além disso, o tratamento de sementes apresenta vantagens quanto à uniformidade de distribuição e localização próxima às raízes em desenvolvimento.

Para que um determinado tratamento de sementes seja bem sucedido e comercialmente adotado, primeiramente é necessário que o mesmo não cause efeito nocivo à qualidade fisiológica das mesmas. No caso de nutrientes, também se espera um bom aproveitamento dos elementos pelas plantas, podendo resultar em melhorias no desenvolvimento inicial da cultura e, conseqüentemente, aumento de produtividade.

Este trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade agronômica do fornecimento de zinco e cobre à cultura do milho por meio do tratamento de sementes, com foco na qualidade fisiológica e potencial de armazenamento das sementes tratadas, absorção dos elementos pelas plantas e desenvolvimento inicial das mesmas.



## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão bibliográfica**

A cultura do milho está entre as mais importantes do agronegócio brasileiro, sendo cultivada em diversas regiões do país. Incrementos significativos de produtividade nesta cultura vêm sendo verificados no Brasil, principalmente pelo desenvolvimento e adoção de novas tecnologias (CALDARELLI; BACCHI, 2012). Dentre estas, destaca-se o tratamento de sementes, que possui grande importância em relação ao manejo de pragas e doenças que afetam a fase inicial do ciclo da cultura.

O tratamento de sementes consiste basicamente na aplicação direta de produtos de interesse agrônômico às mesmas, geralmente sendo prática de rotina nas unidades de beneficiamento de sementes (COPELAND; MCDONALD, 2001; TAYLOR; SALANENKA, 2012). Taylor e Harman (1990) dividiram as técnicas de tratamento de sementes em revestimento, recobrimento (ou peletização) e tratamentos fisiológicos, sendo o primeiro o mais adotado para sementes de milho. Scott (1989) definiu o revestimento de sementes como a “aplicação de sólidos finamente moídos ou líquidos contendo sólidos suspensos ou diluídos, que formam uma camada contínua recobrimdo o tegumento das sementes”.

Atualmente, os tratamentos de sementes de milho mais utilizados são baseados em inseticidas (chlorpyrifós, pirimifós-metil, thiametoxan, imidacloprid, deltametrina, fipronil e clotianidina), fungicidas (Captan, metalaxil, fludioxonil, mefenoxam e estrobilurinas), nematicidas (abamectin) e polímeros diversos. Estes produtos geralmente são aplicados na fase industrial de produção de sementes de milho, em etapa que antecede o ensacamento das mesmas. Deste modo, ao propor a adoção de novos componentes para o tratamento de sementes desta cultura, torna-se interessante considerar a presença de ao menos alguns destes elementos nas sementes.

#### **2.1.1 Tratamento de sementes com micronutrientes**

Em resultados de diversos experimentos em condições de campo e casa de vegetação, foram relatadas eficiências de uso de micronutrientes da ordem de 5 a 10% (MORTVEDT, 1994). Esta baixa eficiência de utilização pelas plantas se deve principalmente a má distribuição dos elementos na cultura, reações no solo que os tornam indisponíveis para as

plantas e a baixa mobilidade dos mesmos no solo, especialmente para os micronutrientes catiônicos (MARSCHNER, 2012).

Com isso, ferramentas de manejo que aumentem a precisão da distribuição dos nutrientes no campo e aproximem os mesmos da zona de absorção da raiz são altamente desejáveis. O tratamento de sementes é eficiente em ambos os casos, promovendo alocação precisa dos elementos na cultura e mantendo os elementos próximos à raiz, logo na fase inicial de crescimento das plantas (TAYLOR et al., 1998). De acordo com Scott (1998), em geral, as plântulas começam a absorver nutrientes do meio a partir do quarto dia após o início da germinação.

O uso do tratamento de sementes para o fornecimento de nutrientes deve visar à etapa inicial de crescimento da cultura (SCOTT, 1998; FAROOQ; WAHID; SIDDIQUE, 2012). Isto se deve principalmente a dois motivos: limitação física imposta pela área superficial das sementes e característica do elemento em relação à mobilidade de redistribuição na planta. Como exemplo nos casos do Zn e Cu, ambos apresentam baixa mobilidade de redistribuição (MARSCHNER, 2012), sendo assim, torna-se necessário fornecer os elementos novamente em estágio fenológico mais avançado da cultura, via solo ou foliar.

No caso do Zn, por exemplo, o fornecimento via solo pode resultar em menor eficiência de uso comparado ao tratamento de sementes, sendo necessária maior quantidade de fertilizante por área (MARTENS, HAWKINS; McCART, 1973; SLATON et al., 2001). Neste caso, técnicas de manejo baseado no tratamento de sementes e posterior aplicações foliares podem ser mais interessantes do ponto de vista agrônomo, sendo que ambas as técnicas são viáveis em termos operacionais e apresentam elevada eficácia (SINGH et al., 2003; SINGH, 2007; FAROOQ; WAHID; SIDDIQUE, 2012). Ozturk et al. (2006) verificaram que aplicações foliares de Zn em trigo foram eficazes em aumentar o teor do elemento nos grãos, em diversas fases do desenvolvimento dos mesmos. Todavia, em casos de níveis muito baixos de Zn e Cu no solo, é recomendável efetuar adubação visando elevar os níveis destes elementos no mesmo e, a partir disto, iniciar o manejo baseado em aplicações via sementes e foliar nas safras subsequentes (CAMBERATO; MALONEY, 2012). Isto se deve à baixa mobilidade destes elementos no floema, sendo as aplicações foliares insuficientes para suprir as necessidades do sistema radicular em casos de grande deficiência (CAMBERATO; MALONEY, 2012).

Dentre as vantagens atribuídas ao fornecimento de nutrientes via sementes estão: facilidade operacional, baixo custo relativo, maior eficiência de uso do fertilizante, elevada uniformidade de distribuição dos elementos, maior disponibilidade dos nutrientes na fase

inicial de crescimento das plantas, entre outros (SCOTT, 1998; FAROOQ; WAHID; SIDDIQUE, 2012).

Uma questão frequente apontada em trabalhos relacionados a tratamento de sementes refere-se aos efeitos fitotóxicos causados pelos mesmos (TAYLOR; SALANENKA, 2012). Sabe-se que diversos fatores podem influenciar a ocorrência destes efeitos, dentre eles o tipo de formulação contendo o nutriente, dosagem, diferentes combinações de formulações, espécie e cultivar em questão e qualidade das sementes (FAROOQ; WAHID; SIDDIQUE, 2012).

As formulações que possuem menor solubilidade em água tendem a ser menos fitotóxicas (SCOTT; BLAIR, 1988). Dependendo do tamanho das partículas usadas neste tipo de formulação, pode-se considerá-las como sendo de liberação controlada (MORTVEDT, 1994). Contudo, o uso de fontes insolúveis pode resultar em menor absorção dos elementos em relação às fontes solúveis (SCOTT; BLAIR, 1988); além disso, há o efeito do íon acompanhante, sendo outro fator importante a ser considerado no que se refere à eficácia de absorção dos elementos (MALAVOLTA, 2006).

#### **2.1.1.1 Tratamento de sementes com zinco e cobre**

Considerando os baixos teores de Zn e Cu exigidos pelas plantas, pode-se apontar o tratamento de sementes como um possível meio de fornecimento destes nutrientes à cultura. Dentre as vantagens desta técnica estão a melhor uniformidade de distribuição, menor custo de aplicação, maior aproveitamento pela planta e uso racional das fontes destes nutrientes (SANTOS, 1981; PARDUCCI et al., 1989; RIBEIRO; SANTOS, 1996).

Singh (2007) apontou para benefícios ao desempenho das culturas do milho, trigo, soja, girassol, amendoim e mostarda devido ao tratamento de sementes com Zn, com doses variando de 6 a 10 ml.kg<sup>-1</sup> de sementes. O mesmo foi encontrado por Harris et al. (2007) para milho e Slaton et al. (2001) para arroz. Ao avaliar o desempenho de plântulas de milho cujas sementes foram tratadas com óxido e sulfato de Zn, verificou-se que o primeiro causou um efeito positivo no crescimento das plântulas (PRADO; NATALE; MOURO, 2007). Os mesmos autores encontraram menores concentrações de Zn nos tecidos de plântulas de milho tratadas com óxido de Zn (insolúvel em água) do que nos tratamentos com sulfato de Zn (solúvel em água). O mesmo foi verificado por Rozane et al. (2008) em arroz. Gangwar e Singh (1994) alcançaram maior produtividade e melhora na absorção de nitrogênio e fósforo



em lentilha, com a utilização de óxido de Zn no tratamento de sementes, enquanto o tratamento com sulfato de zinco diminuiu a absorção de fósforo.

Contudo, resultados divergentes são encontrados de acordo com as diferentes fontes de zinco utilizadas no tratamento de sementes. Barbosa Filho, Fageria e Carvalho (1982) e Oshe et al. (1997) compararam as fontes sulfato, cloreto e óxido de Zn em sementes de arroz. Os primeiros autores não encontraram diferenças no desenvolvimento das plântulas entre os diferentes tratamentos, enquanto os últimos verificaram menor desenvolvimento com o uso do óxido de Zn. Por outro lado, Flor, Cheaney e Neira (1974) testaram as fontes sulfato e óxido de Zn e apontaram a última como de maior eficiência para o tratamento de sementes de arroz, enquanto Rozane et al. (2008), testando as mesmas fontes, não encontraram diferença. Harris et al. (2007) obteve aumento no rendimento de grãos de milho quando utilizou tratamento de sementes com sulfato de Zn. Por sua vez, Yagi et al. (2006) verificou que o sulfato de Zn foi prejudicial à emergência de plântulas de sorgo.

O tratamento de sementes com zinco foi bastante estudado para a cultura do arroz. Nesta cultura, de maneira geral, há melhora no desempenho inicial de crescimento das plântulas quando se emprega o tratamento de sementes com este micronutriente (FLOR; CHEANEY; NEIRA, 1974; BARBOSA FILHO; FAGERIA; CARVALHO, 1982; OHSE et al., 1997; SLATON et al., 2001; ROZANE et al., 2008).

O tratamento de sementes de milho com zinco foi estudado e revisado por Ribeiro, Santos e Menezes (1994b, 1994b), Santos e Ribeiro (1994), Ribeiro e Santos (1996), Rosolem e Ferrari (1998) e Prado, Natale e Mouro (2007). Estes últimos compararam as fontes sulfato e óxido para o tratamento de sementes de milho e verificaram que a segunda se mostrou mais eficaz para o crescimento inicial das plântulas. Rosolem e Ferrari (1998) obtiveram resultados positivos com a aplicação de  $90 \text{ g.ha}^{-1}$  de Zn via sementes; os mesmos autores afirmaram que o tratamento de sementes foi capaz de suprir a necessidade de Zn durante o crescimento inicial das plantas.

Nos estudos envolvendo tratamento de sementes com Cu há grande destaque para a cultura do trigo, sendo esta uma das mais sensíveis à falta deste elemento (McANDREW; LOEWEN-RUDGERS; RACZ, 1994). Malhi et al. (2009) obtiveram aumento no rendimento de grãos de trigo por meio da aplicação de Cu-EDTA nas sementes, contudo houve diminuição na porcentagem de emergência de plântulas. Nazir et al. (2000) obtiveram resultados negativos tanto no rendimento de grãos como na emergência de plântulas de trigo em decorrência do tratamento de sementes com sulfato de Cu. Por sua vez, em experimento

conduzido com aveia, Saric e Saciragic (1969) verificaram aumento na produção de grãos, sem efeito negativo na germinação das sementes, também tratadas com sulfato de Cu.

Luchese et al. (2004) avaliaram os efeitos na emergência e crescimento inicial de plantas de milho, de acordo com diferentes doses de sulfato de Cu aplicados nas sementes. Os autores verificaram redução na porcentagem de emergência de plântulas conforme aumentaram as dosagens de Cu nas sementes, porém não reportaram efeito negativo na massa de matéria seca de raiz e de parte aérea.

Por outro lado, Malhi e Leach (2012) encontraram efeitos fitotóxicos em sementes de trigo tratadas com diferentes concentrações de Cu-EDTA. Estes autores consideraram que há necessidade de realização de mais estudos, a ponto de viabilizar a aplicação comercial de Cu nas sementes.

Como prática agronômica, o tratamento de sementes com Cu ainda pode ser utilizado no controle de fungos fitopatogênicos. Muthomi et al. (2007) utilizaram tratamento de sementes de leguminosas com oxicloreto de Cu, obtendo sucesso no controle de fungos dos gêneros *Fusarium*, *Rhizoctonia* e *Sclerotinia*.

### **2.1.2 Aspectos nutricionais da cultura do milho com zinco e cobre**

O Zn participa em diversos processos nos vegetais, dentre eles a fotossíntese, respiração, controle hormonal, síntese de aminoácidos e de proteínas, redução do nitrato e desintoxicação de radicais livres (MALAVOLTA, 2006; MASCHNER, 2012). Este elemento é um importante ativador e constituinte de enzimas nas plantas, dentre as quais estão a anidrase carbônica, desidrogenase alcoólica, superóxido dismutase (CuZnSOD), aldolase, sintetase do triptofano, entre outras. Esta última é responsável pela produção de ácido indolilacético (AIA) nos vegetais, crucial para o crescimento apical e expansão celular (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

O Cu é um elemento fundamental para a fotossíntese, respiração, metabolismos do C e do N e na proteção contra o estresse oxidativo. Nas plantas há mais de 100 tipos de proteínas contendo Cu (YRUELA, 2009). Cerca de metade do Cu contido nos vegetais está presente nos cloroplastos, ligados à plastocianina, onde participa de reações na fotossíntese (MARSCHNER, 2012). Além disso, há diversas enzimas das quais o Cu é ativador ou constituinte (MALAVOLTA, 2006).

De maneira geral, os solos brasileiros apresentam teores insuficientes de Zn, sendo necessário adicioná-lo ao sistema por meio de fertilizantes (MALAVOLTA, 1980;

VENDRAME et al., 2007). No mundo, cerca de metade dos solos destinados ao cultivo de grãos apresentam baixos teores de Zn disponível para as plantas (ALLOWAY, 2008).

O rendimento de grãos de milho é altamente responsivo à disponibilidade de Zn à cultura (ROSOLEM; FERRARI, 1998). Contudo, a disponibilidade deste elemento é baixa em diversas regiões importantes para a produção de milho no país (LUCHESE, 1985; BARBOSA; PEREIRA, 1987; FURLANI et al., 2005). Vendrame et al. (2007) verificaram que o Zn é o micronutriente mais limitante para o desenvolvimento de pastagens na região do Cerrado.

O Cu, assim como o Zn, também apresenta níveis insuficientes para as plantas em grande parte dos solos brasileiros, o que exige a adubação com este elemento (MALAVOLTA, 1980). A carência de Cu para as plantas pode ser atribuída tanto aos baixos teores totais deste elemento nos solos como à complexação com substâncias orgânicas, em solos com elevados teores das mesmas (MARSCHNER, 2012). Excesso de nitrogênio no caso do Cu e fósforo no caso do Zn são fatores que também levam à redução da disponibilidade destes elementos para as plantas (MARSCHNER, 2012). O manejo inadequado, quando não há reposição destes micronutrientes, também leva à deficiência dos mesmos na cultura (RIBEIRO; SANTOS, 1996; MALHI et al., 2009).

Dentre os fatores que podem influenciar a absorção de Zn e Cu estão: cultivar utilizado (FURLANI et al., 2005) e características físico-químicas da solução do solo, como o teor total de Zn e Cu, pH, proporção de outros nutrientes, teor de matéria orgânica, salinidade e aeração (MALAVOLTA, 1980; ALLOWAY, 2008). No caso do Cu em solos orgânicos, há formação de quelados muito estáveis, exigindo doses maiores deste elemento na adubação (MALAVOLTA; KLIEMANN, 1985).

O clima é outro fator que pode influenciar significativamente na absorção destes elementos, principalmente na fase inicial de desenvolvimento da cultura, sendo que períodos com temperaturas baixas, elevada umidade do ar e baixa incidência de raios solares podem levar ao aparecimento de sintomas de deficiência, caso a quantidade de Zn disponível para as plantas seja insuficiente na fase inicial (CAMBERATO; MALONEY, 2012). A probabilidade da cultura enfrentar este tipo de situação climática é grande em regiões mais frias, com temperaturas baixas no início da safra semeada após o inverno, como é o caso da região sul do Brasil.

Os teores de Zn e Cu nos tecidos das plantas são maiores na fase inicial de crescimento das mesmas (CAKMAK, 2000; FAROOQ; WAHID; SIDDIQUE, 2012). Isto indica uma maior necessidade destes elementos nesta fase (OZTURK et al., 2006), que pode

ser suprida por meio do tratamento de sementes (RIBEIRO; SANTOS, 1996; LUCHESE et al., 2004; PRADO; NATALE; MOURO, 2007). Plantas de milho com deficiência destes elementos na fase inicial de crescimento dificilmente expressarão seu máximo potencial genético, devido a falhas na atividade de enzimas como a sintetase do triptofano, no caso do Zn (EPSTEIN; BLOOM, 2004). A falta de Zn e Cu nas plântulas também pode causar um desarranjo na síntese proteica, promovendo diminuição no nível de RNA celular, o que resulta em menor síntese de proteínas e dificuldade na divisão celular (MALAVOLTA, 2006).

Em estudo envolvendo a remobilização de Zn durante o processo germinativo e de desenvolvimento inicial das plântulas, Ozturk et al. (2006) verificaram que o mesmo se concentra principalmente no embrião e na camada de aleurona, sendo que, após 36 horas do início da germinação, foram encontrados teores elevados de Zn na raiz e no coleótilo ( $200 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), o que aponta para uma grande remobilização deste elemento nesta fase. Assim, pode-se afirmar que a falta de Zn nesta fase de desenvolvimento da cultura pode ser bastante prejudicial.

O nível mínimo de zinco para milho é  $15 \text{ mg.kg}^{-1}$  na massa de matéria seca de folhas maduras recém expandidas, enquanto para cobre este valor é de  $5 \text{ mg.kg}^{-1}$  (MALAVOLTA, 1980). Sintomas de toxicidade podem surgir a partir de  $400 \text{ mg.kg}^{-1}$  de zinco na matéria seca (MALAVOLTA, 1980). Prado, Natale e Mouro (2007) encontraram teores aproximados de  $400 \text{ mg.kg}^{-1}$  de zinco na parte aérea de plântulas de milho a partir da aplicação de  $20 \text{ g.kg}^{-1}$  deste elemento nas sementes. Luchese et al. (2004) encontraram teores aproximados de  $75 \text{ mg.kg}^{-1}$  na parte aérea e  $220 \text{ mg.kg}^{-1}$  nas raízes de plântulas de milho, com a aplicação de  $1 \text{ g.kg}^{-1}$  de Cu nas sementes. Contudo, como citado anteriormente, as concentrações de micronutrientes na fase inicial de crescimento das plântulas são maiores quando comparadas à fase adulta.

Malavolta e Kliemann (1985) relataram que as plantas respondem à adubação com Cu quando este se encontra em teores abaixo de  $6 \text{ mg.kg}^{-1}$  em solos minerais e  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  em solos orgânicos. No Estado de São Paulo, no caso do Zn (extrator DTPA), níveis abaixo de  $0,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  são considerados baixos para a cultura do milho, sendo teores entre  $0,6$  e  $1,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  considerados médios (RAIJ et al., 1996).

As recomendações técnicas ligadas às formas de adubação da cultura do milho devem ser específicas para cada sistema de produção e região. No Brasil, o cultivo de milho é realizado tanto em clima subtropical, no sul do país, como em clima tropical (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2004). Isto proporciona uma grande variação referente às necessidades de manejo da cultura.

Uma das técnicas que tem sido amplamente adotada no país é o “sistema de plantio direto”. Neste, a calagem é realizada superficialmente, o que tende a elevar o pH na camada superficial do solo, reduzindo a disponibilidade de micronutrientes catiônicos, como o Zn e o Cu (BERNARDI et al., 2003; FURLANI et al., 2005). Com isso, o tratamento de sementes pode servir como técnica para uma rápida e eficaz absorção destes elementos na fase inicial de crescimento da cultura (ROSOLEM; FERRARI, 1998), já que os mesmos estarão disponíveis para a absorção desde o início do crescimento das plântulas, próximos à raiz.

## **2.2 Material e Métodos**

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) e em áreas experimentais pertencentes ao Departamento de Produção Vegetal, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

### **2.2.1 Manejo inicial dos lotes de sementes**

As sementes utilizadas no experimento foram provenientes de quatro lotes do híbrido triplo 2B688Hx (Dow AgroSciences), sendo dois lotes contendo sementes “peneira 20” (20/64”) e outros dois lotes contendo sementes “peneira 24” (24/64”). Todos os lotes foram produzidos na mesma safra, sendo as sementes submetidas a tratamentos com os inseticidas K’Obiol (deltametrina) e Actellic (pirimifós-metil) e o fungicida Maxim XL (fludioxonil e mefenoxam), nas dosagens utilizadas comercialmente para sementes de milho.

Para obter diferenças de qualidade entre as sementes dos lotes, um lote de cada peneira (20 e 24) foi acondicionado em câmara fria e seca (10 °C, 30% U.R.), visando manter a qualidade fisiológica dos mesmos; os dois lotes restantes foram mantidos em sala fechada, sem controle das condições ambiente, visando acelerar a deterioração das sementes. Decorridos sete meses de armazenamento nestas condições, procedeu-se com os testes preliminares para caracterização dos lotes, sendo os mesmos denominados 20H (peneira 20, maior vigor), 20L (peneira 20, menor vigor), 24H (peneira 24, maior vigor) e 24L (peneira 24, menor vigor).

### 2.2.2 Doses e formulações utilizadas no tratamento de sementes

As fontes utilizadas para o tratamento de sementes foram compostas por suspensões líquidas contendo óxido de Zn e carbonato de Cu, fornecidas pela empresa Agrichem do Brasil S.A. Os elementos foram aplicados em mistura ou separados.

Em todo o experimento foram utilizadas seis doses de Zn e de Cu, provenientes da mistura ou das suspensões separadas, denominadas 0, 1/4, 1/2, 1, 2 e 4. As doses foram estabelecidas em g.ha<sup>-1</sup>, considerando uma taxa de semeadura de sessenta mil sementes por hectare; deste modo, foi possível estabelecer as dosagens por unidade de sementes. As quantidades de cada micronutriente de acordo com a dose estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Doses de zinco e de cobre utilizadas no tratamento de sementes de milho

Dose	Zn	Cu
	g.ha <sup>-1</sup>	
0	0	0
1/4	32,7	8,3
1/2	65,5	16,6
1	131	33,2
2	262	66,4
4	524	132,8

Para as análises de qualidade das sementes tratadas ao longo do armazenamento (0, 30, 60, 180 e 360 dias) foram utilizadas as doses 0, 1 e 2; para os testes envolvendo a absorção de micronutrientes pelas plântulas foram utilizadas as doses 0, 1/4, 1/2, 1, 2 e 4.

As formulações líquidas utilizadas permitiram o tratamento das sementes por aplicação direta, sendo estes misturados à massa de sementes até recobrimento uniforme do pericarpo. As fontes utilizadas são insolúveis em água e com viscosidade apropriada para o tratamento das sementes. Após tratadas, as sementes foram acondicionadas em sacos de papel “Kraft”.

### 2.2.3 Caracterização inicial dos lotes e avaliação da qualidade das sementes

Os lotes de sementes foram caracterizados antes dos tratamentos com micronutrientes, sendo avaliados pela massa de mil sementes, teste de germinação, teste de frio e teor de água. Os teores de Zn e Cu também foram determinados em sementes não tratadas de cada lote, conforme descrito no item 3.3.3.

Os testes conduzidos com o objetivo de verificar a qualidade das sementes após os tratamentos com Zn e Cu foram realizados em cinco épocas de avaliação: 0, 30, 60, 180 e 360 dias; aos 180 e 360 dias foram realizados apenas os testes de germinação, frio e teor de água. Entre as épocas de avaliação, os lotes foram mantidos em ambiente controlado (20 °C, 45% U.R.). Os procedimentos adotados em cada teste estão descritos a seguir.

### **2.2.3.1 Teor de água**

Conduzido pelo método da estufa a 105°C, com duas repetições por tratamento, seguindo os critérios estabelecidos nas Regras Para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Para tal, duas amostras por tratamento contendo aproximadamente 20 g de sementes, foram colocadas em recipientes metálicos e mantidas em estufa a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 horas. Decorrido este período, os recipientes foram retirados e acondicionados em dessecadores até atingirem temperatura constante, sendo posteriormente pesados para obtenção do teor de água (em %), baseados nas diferenças entre as quantidades iniciais e finais de água nas sementes.

### **2.2.3.2 Massa de mil sementes**

Determinada a partir das médias de oito repetições contendo 100 sementes, sendo o valor calculado posteriormente para mil sementes, conforme procedimento descrito nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

### **2.2.3.3 Teores de zinco e de cobre nas sementes**

As determinações de Zn e de Cu nas sementes foram obtidas com três repetições de 50 g de sementes não tratadas de cada peneira (20 e 24). As determinações foram realizadas no Laboratório de Tecidos Vegetais do Departamento de Ciência do Solo da USP/ESALQ, de acordo com metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

#### **2.2.3.4 Testes de germinação e de primeira contagem de germinação**

Os testes foram conduzidos com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, em rolos contendo três folhas de papel-toalha. A quantidade de água adicionada foi equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram acondicionados em germinador e mantidos a  $25 \pm 1$  °C. As avaliações ocorreram no quarto (primeira contagem de germinação) e sétimo dias após a instalação do teste, seguindo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), contabilizando-se a porcentagem de plântulas normais.

#### **2.2.3.5 Teste de frio**

O método utilizado foi o teste de frio com terra (MIGUEL; CICERO, 1999), em caixas de plástico (0,47 x 0,30 x 0,11 m), preenchidas com mistura de terra (cultivada anteriormente com milho) e areia na proporção 1:3. Para tal, foram semeadas quatro repetições de 50 sementes por tratamento. A disponibilidade de água do substrato foi ajustada para 60% da capacidade de retenção. Em seguida, as bandejas foram colocadas em câmara fria a 10 °C por sete dias. Decorrido este prazo, as caixas permaneceram em sala fechada com temperatura ambiente, sendo a contagem de plântulas emersas realizada no sétimo dia.

#### **2.2.3.6 Testes de emergência de plântulas e de velocidade de emergência de plântulas**

O teste foi conduzido em caixas de plástico de dimensões (0,47 x 0,30 x 0,11 m), preenchidas com areia, sendo a disponibilidade de água ajustada para 60% da capacidade de retenção. Em cada caixa foram distribuídas quatro repetições de 50 sementes por tratamento, sendo computado o número de plântulas emersas no sétimo dia após semeadura. A velocidade de emergência foi calculada por meio da contagem diária de plântulas emersas, gerando o índice de velocidade de emergência, de acordo com a equação (1) proposta por Maguire (1962), onde  $E_n$  e  $N_n$  correspondem ao número de plântulas emersas e o número de dias da semeadura até a contagem, respectivamente.

$$IVE = E_1/N_1 + E_2/N_2 + E_n/N_n \quad (1)$$

As caixas foram mantidas em local protegido contra precipitações pluviais, mas em condições de luminosidade e temperatura não controladas (telhado translúcido e ausência de paredes laterais), simulando condições de campo. Com isso, como o teste foi afetado por variações do ambiente ao longo das três épocas de avaliação (0, 30 e 60 dias), optou-se por



computar as temperaturas máximas e mínimas em cada época, com base nos dados fornecidos pela estação automática do posto meteorológico da USP/ESALQ, de modo a auxiliar na discussão dos resultados.

### 2.2.3.7 Análise de imagens de plântulas (SVIS<sup>®</sup>)

Conduzido com quatro repetições de 25 sementes, em rolos contendo três folhas de papel-toalha umedecidas com água, na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco. As sementes foram distribuídas uniformemente no terço superior do papel, de modo que as raízes primárias fossem emitidas para baixo. Os rolos foram acondicionados em germinador a  $25 \pm 1$  °C, posicionados verticalmente, com o objetivo de propiciar condições uniformes de crescimento para as raízes. Decorridas 72 horas, os rolos foram retirados do germinador e as plântulas foram posicionadas sobre papel de coloração preta para obtenção das imagens em *scanner* invertido HP Scanjet 2004, pelo software Photosmart, com resolução de 100 dpi.

Após obtenção das imagens, as mesmas foram analisadas por meio do *software* Seed Vigor Imaging System (SVIS<sup>®</sup>), o qual mensurou os comprimentos da raiz primária de cada plântula, gerando dados em pixels, convertidos posteriormente para milímetros. Adicionalmente, foram gerados índices de vigor, baseados na uniformidade de crescimento e no comprimento das raízes, com proporção ajustada no *software* de 30% para uniformidade e 70% para crescimento (MONDO; DIAS; McDONALD, 2011).

### 2.2.4 Avaliação da absorção de zinco e cobre e do desenvolvimento inicial das plantas

Nesta etapa foram avaliados o desenvolvimento inicial das plantas, os teores de Zn e Cu nos tecidos das plantas e as eficiências de absorção, transporte e utilização destes elementos, de acordo com cada tratamento de sementes testado. Os testes foram realizados com sementes do lote 20H, contendo os seguintes tratamentos:  $Zn_0Cu_0$ ,  $Zn_{1/4}Cu_{1/4}$ ,  $Zn_{1/2}Cu_{1/2}$ ,  $Zn_1Cu_1$ ,  $Zn_2Cu_2$ ,  $Zn_4Cu_4$ ,  $Zn_{1/4}Cu_0$ ,  $Zn_{1/2}Cu_0$ ,  $Zn_1Cu_0$ ,  $Zn_2Cu_0$ ,  $Zn_4Cu_0$ ,  $Zn_0Cu_{1/4}$ ,  $Zn_0Cu_{1/2}$ ,  $Zn_0Cu_1$ ,  $Zn_0Cu_2$ ,  $Zn_0Cu_4$ ; as identificações das doses se referem à Tabela 1.

A semeadura ocorreu em bandejas de plástico contendo 32 células individualizadas, com capacidade de 200 ml cada, preenchidas com areia lavada de granulometria média. Cada tratamento foi composto por quatro repetições de 8 plantas, aleatoriamente distribuídas entre as bandejas. As mesmas foram mantidas em casa de vegetação, em condições uniformes de

temperatura e de luminosidade. A irrigação foi realizada manualmente, suprindo de maneira adequada a necessidade hídrica das plantas.

Decorridos quatorze dias, as plântulas foram retiradas das bandejas e lavadas com água corrente, de modo a retirar toda a areia presente nas raízes e folhas. Ao longo das lavagens, foram tomadas precauções para evitar a perda de tecidos vegetais, de modo a não interferir nos resultados de pesagem dos mesmos.

Em seguida, as amostras (parte aérea e raiz) foram levadas à estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, de modo a atingir massa constante, sendo posteriormente pesadas em balança analítica (0,001 g) para determinação da massa seca.

O material seco foi destinado ao Laboratório de Tecidos Vegetais, do Departamento de Ciência do Solo da USP/ESALQ, onde foram determinados os teores de Zn e Cu nos tecidos, de acordo com metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Além disso, a partir dos valores de matéria seca e teores de Zn e Cu nos tecidos, foram calculadas as eficiências de 1) absorção, que consiste na relação entre o conteúdo de nutriente na planta (em mg) e a matéria seca de raiz (em g) (SWIADER; CHYAN; FREIJI, 1994), 2) transporte, que relaciona o conteúdo do nutriente na parte aérea com o conteúdo total do nutriente na planta (em %) (LI; McKEAND; ALLEN, 1991) e 3) utilização, que relaciona o quadrado da matéria seca total produzida com o conteúdo total do nutriente na planta (SIDDIQI; GLASS, 1981). Os cálculos destas eficiências permitiram comparar os tratamentos.

Com o objetivo de avaliar o desenvolvimento inicial das plantas de milho associado ao tratamento de sementes com Zn e Cu, conduziu-se um experimento em casa de vegetação, de modo a evitar a influência de fatores adversos que podem ocorrer no campo.

Para tal, foram utilizadas sementes do lote 20H, totalizando doze plantas por tratamento. Os tratamentos avaliados foram Zn<sub>0</sub>Cu<sub>0</sub>, Zn<sub>1</sub>Cu<sub>1</sub>, Zn<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub>Cu<sub>0</sub>, Zn<sub>2</sub>Cu<sub>0</sub>, Zn<sub>0</sub>Cu<sub>1</sub> e Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub>, conforme detalhado na Tabela 1.

Os vasos, com capacidade para 5 L de substrato, foram preenchidos com mistura de areia e terra na proporção 2:1. A mistura foi enviada para análises físicas e químicas ao Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Ciência do Solo da USP/ESALQ. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Caracterização química inicial do substrato utilizado no experimento com vasos

pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg.dm <sup>-3</sup>		mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>							--%--	mg.dm <sup>-3</sup>					
5,0	14	14	1,6	15	6	0	15	22,1	36,8	60	0	0,26	2,3	21	12	1,1

Tabela 3 – Caracterização granulométrica do substrato utilizado no experimento com vasos

Areia	Silte	Argila
-----g.kg <sup>-1</sup> -----		
795	29	176

Antes da semeadura, foram distribuídos uniformemente em cada vaso o equivalente a 20 mg.dm<sup>-3</sup> de N, 70 mg.dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 mg.dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, sendo os mesmos misturados ao substrato 10 cm abaixo da superfície. Posteriormente, em cada vaso foram colocadas três sementes, a uma profundidade de 3 cm da superfície do substrato. O desbaste foi realizado sete dias após a semeadura, deixando apenas uma planta por vaso. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação e a irrigação foi realizada manualmente, de maneira uniforme e suficiente para suprir a necessidade das plantas.

A semeadura ocorreu no dia 14/09/2012 e as avaliações ocorreram nos dias 26/09/2012 para V2 e 12/10/2012 para V4. De modo a estabelecer quando determinado estágio fenológico foi alcançado, adotou-se como critério que um mínimo de 50% das plantas do tratamento testemunha (Zn<sub>0</sub>Cu<sub>0</sub>) deveria estar neste estágio.

As plantas foram avaliadas quanto à altura, área foliar e diâmetro de colmo nos estádios fenológicos V2 e V4, de acordo com escala proposta por Fancelli e Dourado-Neto (2004). A massa de matéria seca de plantas foi determinada no estágio fenológico V4. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com doze vasos por tratamento. A altura foi determinada da superfície do substrato ao ápice da planta, com a última folha (2 ou 4) distendida. A área foliar foi determinada por meio da obtenção do comprimento e largura de todas as folhas completamente desenvolvidas e o uso da equação (3), onde C e F representam o comprimento e a largura de cada folha, respectivamente, dados em centímetros.

$$AF = C \times L (0,75) \quad (3)$$

O diâmetro de colmo foi determinado por meio do uso de paquímetro, graduado em mm, que foi posicionado na base do colmo, entre a superfície do substrato e a inserção da primeira folha.

Para a determinação da massa de matéria seca de parte aérea, as mesmas foram cortadas rente ao solo e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, de modo a

atingir massa constante. Posteriormente, a massa de matéria seca foi determinada para cada planta individualmente, para obtenção da média por tratamento.

### **2.2.5 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e transformados conforme necessário, sendo as médias posteriormente comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). No caso das análises realizadas em mais de uma época, houve desdobramento da análise de variância em “épocas” e “tratamentos”, sendo ambos comparados separadamente. Para tal, foram utilizados os pacotes “lattice” (SARKAR, 2008), “agricolae” (MENDIBURU, 2012), “plyr” (WICKHAM, 2011) e “reshape” (WICKHAM, 2007) disponíveis no *software* R (R CORE TEAM, 2012).

Os dados referentes aos tratamentos com doses crescentes de Zn e Cu foram submetidos à análise de variância e teste F, sendo posteriormente realizada análise de regressão, pela qual foram obtidas a equação e o coeficiente de determinação, utilizando o *software* R (R CORE TEAM, 2012), por meio das funções “lm” e “anova”.

Os valores obtidos nos experimentos em vaso e no campo foram avaliados de maneira exploratória, por meio da análise dos valores médios e do erro padrão da média.

## **2.3 Resultados e Discussão**

### **2.3.1 Avaliação do potencial fisiológico das sementes**

A Tabela 4 contém dados referentes às análises preliminares conduzidas com os quatro lotes utilizados no estudo. Os lotes de peneiras iguais são originados do mesmo lote de sementes; com isso, os valores de massa de mil sementes e teores de micronutrientes são iguais entre eles.

Quanto à massa de sementes, os lotes de peneira 24 apresentam valor 52% superior ao lote de peneira 20 (Tabela 4). Deste modo, a embalagem contendo sessenta mil sementes (padrão comercial adotado atualmente para milho) possui 24,1 kg e 15,8 kg para os lotes de peneira 24 e 20, respectivamente. Os tratamentos com Zn e Cu deste estudo foram baseados por hectare, sendo que sementes de ambas as peneiras receberam a mesma quantidade destes micronutrientes por unidade, com dosagem estabelecida por embalagem de sessenta mil

sementes. Deste modo, foi possível verificar o efeito dos mesmos tratamentos na qualidade fisiológica de sementes consideravelmente distintas quanto ao tamanho e massa.

Em trabalhos envolvendo tratamento de sementes com fertilizantes, comumente são relacionadas às quantidades dos mesmos com a massa de sementes. Como na cultura do milho as sementes geralmente são comercializadas por número, torna-se conveniente recomendar este tipo de tratamento por unidade de sementes, pois, como exemplificado anteriormente, um saco contendo sessenta mil sementes de milho pode variar bastante em relação à massa.

Ainda de acordo com a Tabela 4, é possível observar diferenças quanto ao teor de água das sementes. Os lotes 20L e 24L apresentam teores de água 0,6 e 1% maiores que os lotes 20H e 24H, respectivamente. Isto ocorreu devido as diferentes condições de armazenamento a que os lotes foram submetidos, ao longo dos sete meses anteriores ao tratamento com os micronutrientes.

Os resultados do teste de germinação, apresentados na Tabela 4, variaram de 98% a 100% entre os lotes. Deste modo, pode-se afirmar que a viabilidade das sementes não foi afetada pelas diferentes condições de armazenamento impostas aos lotes.

Por sua vez, foram verificadas diferenças entre os lotes quanto ao vigor das sementes, apontadas pelos resultados do teste de frio (Tabela 4). Os lotes 20H e 24H, armazenados em câmara fria e seca, apresentaram sementes de vigor mais elevado, com porcentagens de emergência de plântulas de 95 e 97% no teste de frio, respectivamente. Por sua vez, os lotes 20L e 24L, armazenados em ambiente não controlado, apresentaram porcentagens de emergência de plântulas de 82 e 87% no mesmo teste, respectivamente.

Tabela 4 - Resultados dos testes preliminares para caracterização dos lotes de sementes de milho, do híbrido 2B688Hx. MMS: massa de mil sementes; TCu: teor de cobre nas sementes; TZn: teor de zinco nas sementes; TA: teor de água das sementes; G: teste de germinação; TF: teste de frio

Lote	MMS	TCu	TZn	TA	G	TF
	g	mg.kg <sup>-1</sup>		%		
20H	264,2	1,8	11,3	8,3	98 <sup>ns</sup>	95ab <sup>1</sup>
20L	264,2	1,8	11,3	8,9	98	82c
24H	402,6	1,3	18,8	8,1	100	97a
24L	402,6	1,3	18,8	9,1	100	87bc
CV(%)	-	-	-	-	1,31	4,91

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). <sup>ns</sup> Não significativo pelo Teste F (p<0,05). CV: coeficiente de variação

A Tabela 5 contém dados de teor de água nas sementes, atribuídos aos diferentes lotes contendo os tratamentos com micronutrientes, em cada época de avaliação (0, 30, 60, 180 e

360 dias). A análise dos valores permite verificar que o revestimento das sementes com os fertilizantes contendo Zn e Cu não interferiu no grau de umidade das mesmas, em nenhuma das doses ou combinações utilizadas.

Na primeira época de avaliação, foram verificadas maiores diferenças entre os lotes de maior e menor vigor, pois, conforme discutido anteriormente, os mesmos foram inicialmente mantidos em condições diferenciadas de armazenamento. A partir da terceira época de avaliação (60 dias) verificou-se uma maior proximidade entre os valores de teor de água nas sementes, entre todos os lotes avaliados.

Em condições de armazenamento, é recomendado manter as sementes constantemente com teor de água reduzido, de modo a minimizar a velocidade de deterioração das mesmas (COPELAND; MCDONALD, 2001).

Os teores de água das sementes mantidos neste experimento foram considerados adequados para o armazenamento, sendo similares aos utilizados comercialmente para sementes de milho. Durante o estudo, as sementes permaneceram em ambiente controlado (20 °C; 45% U.R.). Scott (1998), na mesma linha de raciocínio, considera a manutenção das sementes com teores de água reduzidos um fator chave para que os fertilizantes não afetem negativamente a qualidade das mesmas.

Tabela 5 - Resultados de teor de água das sementes para diferentes lotes do milho híbrido 2B688Hx, épocas de avaliação (em dias) e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote	Época	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>
		%						
20H	0	8,2	8,0	8,4	8,1	7,8	8,1	8,0
	30	8,0	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	8,0
	60	8,7	8,7	8,5	8,4	8,4	8,6	8,6
	180	8,1	8,0	7,9	8,0	7,9	8,2	8,5
	360	8,3	8,3	8,2	8,2	8,2	8,4	8,2
20L	0	8,9	9,3	9,2	8,7	8,5	9,8	9,6
	30	8,5	8,4	8,3	8,2	8,3	8,4	8,3
	60	8,9	8,7	8,4	8,5	8,6	8,8	8,4
	180	8,4	8,3	8,2	8,3	8,5	8,5	8,4
	360	8,4	8,3	8,3	8,3	8,2	8,3	8,2
24H	0	8,1	8,2	8,1	8,0	8,1	8,0	8,1
	30	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,4
	60	8,5	8,5	8,3	8,2	8,3	8,4	8,4
	180	8,1	8,1	8,1	8,1	7,9	8,0	7,9
	360	8,0	8,2	8,0	8,0	8,0	8,3	8,0
24L	0	9,0	9,0	9,0	9,2	9,5	9,3	9,0
	30	8,0	7,8	7,8	7,9	7,8	7,9	7,8
	60	8,7	8,6	8,4	8,5	8,7	8,6	8,4
	180	8,2	8,3	8,1	8,3	7,9	8,1	8,0
	360	8,1	8,2	8,1	8,0	7,9	8,1	7,8

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu

Em todos os tratamentos avaliados, a viabilidade das sementes, verificada pelo teste de germinação, não foi afetada pelos tratamentos contendo Zn ou Zn e Cu, sendo as porcentagens de germinação similares ao tratamento controle. Por outro lado, os tratamentos compostos apenas de Cu (Zn<sub>0</sub>Cu<sub>1</sub> e Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub>) reduziram o poder germinativo das sementes, em todos os lotes avaliados (Tabela 6), sendo que, de maneira geral, o tratamento contendo maior quantidade de Cu (Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub>) causou maior redução na germinação das sementes.

Comparando tratamentos compostos apenas de Cu, os lotes de maior vigor de ambas as peneiras (20H e 24H) apresentaram em valores absolutos melhor desempenho, com porcentagem de germinação superior aos lotes de menor vigor. Isto aponta para uma maior tolerância à fitotoxicidade causada pelo excesso de Cu no substrato, dado pelo maior vigor das sementes.

As reduções na porcentagem de germinação para os tratamentos compostos apenas de Cu foram dadas principalmente pelo elevado percentual de plântulas anormais, sendo caracterizadas principalmente por má formação das raízes e pelo aparecimento de pontas necróticas nas mesmas. Isto indica que a presença de quantidades excessivas de Cu no meio afeta principalmente o desenvolvimento das plântulas, após o início da absorção de Cu pelas raízes, visto que as fases de embebição e emissão da raiz primária não foram afetadas. Nos tratamentos contendo as mesmas quantidades de Cu, porém com presença de Zn ( $Zn_1Cu_1$  e  $Zn_2Cu_2$ ) não foi verificado efeito fitotóxico, o que permite afirmar que o efeito inibitório do Zn na absorção de Cu ocorreu desde as fases preliminares da germinação.

Os elementos Zn e Cu competem pelo mesmo canal de absorção, o que é classificado como inibição competitiva (MALAVOLTA, 2006). Neste experimento, a quantidade de Zn aplicado no tratamento mostrou ser suficiente para reduzir a quantidade de Cu absorvida, a ponto de eliminar o efeito fitotóxico causado por quantidades excessivas do mesmo nos tecidos das plântulas. Posteriormente serão discutidos os efeitos desta inibição competitiva na absorção de Zn e Cu pelas plantas e no desenvolvimento das mesmas.

As porcentagens de germinação, de modo geral, não variaram dentro de cada lote no decorrer das épocas analisadas, inclusive para os tratamentos  $Zn_0Cu_1$  e  $Zn_0Cu_2$ . Com isso, é possível afirmar que as fontes utilizadas neste estudo não afetam a qualidade das sementes durante o armazenamento, desde que mantidas com teor de água adequado.

No Brasil, os resultados das análises de germinação de sementes de milho comercializadas possuem validade de doze meses (BRASIL, 2005). Neste trabalho, foi verificada a qualidade das sementes tratadas ao longo deste período, de modo a garantir a possibilidade da aplicação dos tratamentos pelos produtores e, ou, distribuidores de sementes.



Tabela 6 - Resultados do teste de germinação para diferentes lotes do milho híbrido 2B688Hx, épocas de avaliação (em dias) e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote	Época	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>
		%						
20H	0	99Aa <sup>1</sup>	100Aa	99Aa	99Aa	99Aa	75Ab	73Ab
	30	99Aa	99Aa	98Aa	98Aa	99Aa	74Ab	70Ab
	60	99Aa	97Aa	99Aa	97Aa	97Aa	76Ab	71Ab
	180	99Aa	99Aa	99Aa	99Aa	97Aa	76Ab	65Ac
	360	99Aa	96Aa	99Aa	99Aa	99Aa	76Ab	70Ab
20L	0	99Aa	99Aa	99Aa	99Aa	97Aa	67Ab	69Ab
	30	96Aa	97Aa	98Aa	99Aa	100Aa	67Ab	68Ab
	60	99Aa	98Aa	95Aa	99Aa	96Aa	66Ab	59Ab
	180	98Aa	96Aa	98Aa	98Aa	95Aa	68Ab	69Ab
	360	98Aa	96Aa	96Aa	98Aa	96Aa	66Ab	66Ab
24H	0	100Aa	100Aa	99Aa	99Aa	100Aa	85Ab	79Ab
	30	99Aa	99Aa	99Aa	100Aa	100Aa	83Ab	69Bc
	60	99Aa	98Aa	98Aa	99Aa	99Aa	80Ab	69Bc
	180	100Aa	96Aa	99Aa	99Aa	100Aa	83Ab	76ABb
	360	98Aa	99Aa	98Aa	99Aa	100Aa	82Ab	80Ab
24L	0	96Aa	97Aa	96Aa	98Aa	99Aa	82Ab	77Ab
	30	100Aa	98Aa	100Aa	99Aa	98Aa	75Ab	73ABb
	60	100Aa	98Aa	99Aa	99Aa	98Aa	83Ab	64BCc
	180	98Aa	98Aa	94Aa	95Aa	99Aa	82Ab	60Cc
	360	100Aa	99Aa	99Aa	99Aa	99Aa	83Ab	72ABc

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras maiúsculas iguais na coluna, dentro de cada lote, e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu

O vigor das sementes foi avaliado pelo teste de primeira contagem de germinação, teste de frio, emergência de plântulas, velocidade de emergência de plântulas, índice de vigor (*software* SVIS<sup>®</sup>) e comprimento de raiz, presentes nas Tabelas 7, 8, 9, 10, 11 e 12, respectivamente.

Quanto aos resultados do teste de primeira contagem de germinação, de maneira geral, foi verificado padrão similar ao verificado no teste de germinação, com os tratamentos Zn<sub>0</sub>Cu<sub>1</sub> e Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub> apresentando os menores valores. Estes tratamentos reduziram a quantidade de sementes germinadas na primeira contagem enquanto os demais não diferiram entre si, em todas as épocas avaliadas.

Estes dados reforçam os tratamentos contendo Zn e Zn associado ao Cu como não sendo prejudiciais às sementes de milho, pois não afetaram a velocidade de germinação em comparação ao tratamento controle.

Cabe ainda ressaltar que as diferenças entre os tratamentos  $Zn_0Cu_1$  e  $Zn_0Cu_2$  foram, de maneira geral, menores neste teste quando comparadas às diferenças encontradas pelos resultados de germinação final, com contagem no sétimo dia. Isto sugere que o efeito fitotóxico causado pela maior quantidade de Cu no tratamento  $Zn_0Cu_2$  passou a prejudicar a germinação das sementes após a primeira contagem, ou seja, depois do quarto dia após início da germinação.

A Tabela 8 contém os resultados do teste de frio. Para os lotes de maior vigor (20H e 24H) não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos e épocas avaliadas, exceto para a primeira época de avaliação do lote 20H, onde foi encontrado menor valor para o tratamento  $Zn_0Cu_2$ ; todavia, esta diferença não se repetiu nas épocas seguintes de avaliação, não podendo ser atribuída diretamente ao tratamento.

Nos lotes de menor vigor (20L e 24L) foram encontradas diferenças entre tratamentos e épocas. De maneira geral, os tratamentos  $Zn_0Cu_1$  e  $Zn_0Cu_2$  foram responsáveis por aumentar as porcentagens de emergência de plântulas nestes lotes, indicando um estímulo à germinação das sementes de milho proporcionado pela presença de Cu, associadas às baixas temperaturas à que as sementes foram submetidas no teste de frio. Foti et al. (2008) encontraram resultados similares, com aumento de 43% na emergência de plântulas de milho em decorrência do tratamento de sementes com sulfato de cobre, quando utilizadas sementes de baixo potencial fisiológico.

A partir da maturidade fisiológica há o início do processo de deterioração das sementes, que constitui um processo progressivo e irreversível (COPELAND; MCDONALD, 2001). Contudo, há mecanismos que promovem reparos ativos, capazes de reverter alguns dos efeitos da deterioração das sementes (DELOUCHE, 2002). Neste caso, sementes de menor vigor foram mais tolerantes ao teste de frio quando tratadas apenas com Cu, sendo este efeito não verificado para os tratamentos com Zn ou Zn e Cu. Em contrapartida, o desenvolvimento da parte aérea das plântulas, em geral, foi menor para os tratamentos  $Zn_0Cu_1$  e  $Zn_0Cu_2$  em comparação aos demais tratamentos, o que pôde ser observado visualmente.

Em outra linha de raciocínio, o tratamento de sementes contendo Cu pode ter auxiliado no controle dos fungos de solo presentes no teste de frio, o que elevou a porcentagem de plântulas emersas pelos tratamentos  $Zn_0Cu_1$  e  $Zn_0Cu_2$  neste teste.

Tabela 7 - Resultados do teste de primeira contagem de germinação para diferentes lotes do milho híbrido 2B688Hx, épocas de avaliação (em dias) e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote	Época	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>
		%						
20H	0	94Aa <sup>1</sup>	98Aa	98Aa	98Aa	94Aa	46Bb	54Ab
	30	95Aa	98Aa	96Aa	98Aa	98Aa	47Bb	44ABb
	60	91Aa	96Aa	93Aa	95Aa	97Aa	46Bb	50ABb
	180	99Aa	99Aa	94Aa	99Aa	95Aa	53Ab	40Bc
	360	99Aa	96Aa	99Aa	98Aa	98Aa	50ABb	54Ab
20L	0	95Aa	94Aa	98Aa	90Aa	91Aa	57Ab	47Ab
	30	95Aa	88Aa	95Aa	93Aa	96Aa	49ABb	51Ab
	60	95Aa	97Aa	92Aa	95Aa	90Aa	41Bb	27Bb
	180	90Aa	91Aa	95Aa	96Aa	92Aa	62Ab	54Ab
	360	95Aa	90Aa	86Aa	98Aa	96Aa	64Ab	54Ab
24H	0	100Aa	100Aa	99Aa	95Aa	100Aa	55ABb	46Ab
	30	96Aa	92Aa	97Aa	99Aa	95Aa	61Ab	38Bc
	60	94Aa	90Aa	95Aa	92Aa	91Aa	43Bb	41ABb
	180	99Aa	94Aa	96Aa	92Aa	99Aa	60Ab	45Ab
	360	92Aa	98Aa	98Aa	99Aa	99Aa	62Ab	42ABb
24L	0	93Aa	93Aa	95Aa	97Aa	98Aa	55ABb	60Ab
	30	98Aa	94Aa	97Aa	91Aa	93Aa	46Bb	50Bb
	60	89Aa	92Aa	91Aa	90Aa	95Aa	45Bb	37Cb
	180	91Aa	91Aa	84Ba	89Aa	97Aa	63Ab	42BCc
	360	94Aa	94Aa	92Aa	95Aa	90Aa	66Ab	56ABb

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras maiúsculas iguais na coluna, dentro de cada lote, e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu

Tabela 8 - Resultados do teste de frio para diferentes lotes de sementes do milho híbrido 2B688Hx, épocas de avaliação (em dias) e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote	Época	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>
		%						
20H	0	97Aab <sup>1</sup>	98Aa	96Aab	94Aab	97Aab	93Aab	92Ab
	30	97Aa	96Aa	96Aa	97Aa	96Aa	96Aa	93Aa
	60	97Aa	96Aa	96Aa	94Aa	94Aa	97Aa	96Aa
	180	98Aa	96Aa	95Aa	96Aa	96Aa	97Aa	97Aa
	360	98Aa	97Aa	96Aa	94Aa	94Aa	95Aa	96Aa
20L	0	76Aab	76Aab	67Ab	71Ab	67Ab	76Aab	84Aa
	30	78Ab	73Ab	71Ab	75Ab	70Ab	74Ab	91Aa
	60	73Aab	70Ab	66Ab	65Bb	62Ab	82Aa	81Ba
	180	74Aab	76Aab	69Ab	65Bb	68Ab	83Aa	80Ba
	360	73Aab	73Aab	66Ab	68Ab	65Ab	75Aa	78Ba
24H	0	95Aa	94Ba	95Aa	97Aa	96Aa	96Aa	96Aa
	30	99Aa	100Aa	99Aa	98Aa	99Aa	97Aa	96Aa
	60	97Aa	98ABa	96Aa	97Aa	97Aa	99Aa	98Aa
	180	98Aa	96ABa	99Aa	97Aa	98Aa	99Aa	97Aa
	360	97Aa	99Aa	99Aa	97Aa	97Aa	94Aa	96Aa
24L	0	69Ab	75ABab	75ABab	69Ab	68Bb	85Ba	85Aa
	30	73Ac	82Ab	78Abc	75Abc	77Abc	84Bab	91Aa
	60	74Ab	74ABb	82Aab	74Ab	77Aab	94Aa	88Aa
	180	74Ab	81Aab	81Aab	74Ab	76ABb	91Aa	89Aa
	360	74Ab	71Bb	73Bb	74Ab	77Aab	83Ba	84Aa

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras maiúsculas iguais na coluna, dentro de cada lote, e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu

Os resultados de emergência e velocidade de emergência de plântulas estão apresentados nas Tabelas 9 e 10, respectivamente. As temperaturas médias registradas foram 25, 22 e 23 °C, para as três épocas (0, 30 e 60 dias), respectivamente; enquanto as temperaturas mínimas foram, em média, 17, 16 e 19 °C, respectivamente.

A porcentagem de emergência final não diferiu entre épocas e tratamentos para os lotes de peneira 24, enquanto nos lotes de peneira 20 foi verificada redução da emergência com tratamento Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub>. O lote 20L foi mais afetado quando comparado ao lote 20H. Com isso, verifica-se que o excesso de Cu deste tratamento interferiu negativamente na emergência de plântulas do lote de sementes menores, que por sua vez receberam a mesma quantidade do elemento das sementes maiores.

Os resultados do teste de velocidade de emergência (Tabela 10) reforçam esta hipótese, sendo em geral verificados valores menores para os lotes de peneira 20 e com o tratamento Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub>. Neste teste houve também grande influência da temperatura nos valores obtidos, sendo possível verificar que as temperaturas mínimas causaram maior impacto; os valores obtidos na última época, onde a temperatura mínima foi maior, em geral, foram maiores do que os obtidos nas duas épocas anteriores. Na segunda época os valores foram consideravelmente menores, devido ao maior período com baixas temperaturas.

Como esperado, verifica-se por meio dos dados da Tabela 10 que a velocidade de emergência dos lotes de maior vigor foi mais elevada que os lotes de menor vigor. No que diz respeito às diferentes peneiras, em geral, não foram observadas diferenças para este parâmetro.

Quanto à emergência final de plântulas, é possível verificar que o tratamento Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub> afetou negativamente apenas o lote 20L, indicando maior sensibilidade das sementes deste lote ao tratamento indicado. O mesmo foi verificado nos resultados de velocidade de emergência para o mesmo lote.

Tabela 9 - Resultados do teste de emergência de plântulas para diferentes lotes do milho híbrido 2B688Hx, épocas de avaliação (em dias) e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote	Época	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>
		%						
20H	0	99Aab <sup>1</sup>	98Aab	100Aa	98Aab	97Aab	96Aab	94ABb
	30	100Aa	97Aab	96Aab	99Aa	100Aa	97Aab	93Bb
	60	98Aa	98Aa	96Aa	95Aa	97Aa	95Aa	98Aa
20L	0	99Aa	96Aa	97Aa	98Aa	97Aa	97Aa	96Aa
	30	96ABa	91Aa	94Aa	96Aa	96Aa	95Aa	89Ba
	60	91Bab	94Aab	93Aab	96Aab	98Aa	93Aab	88Bb
24H	0	99Aa	98Aa	100Aa	99Aa	100Aa	99Aa	98Aa
	30	99Aa	100Aa	97Aa	99Aa	99A	96A	96Aa
	60	98Aa	97Aa	99Aa	97Aa	99Aa	99Aa	96Aa
24L	0	99Aa	99Aa	97Aa	99Aa	100Aa	96Aa	95Aa
	30	96Aa	97Aa	97Aa	98Aa	98Aa	97Aa	96Aa
	60	98Aa	97Aa	95Aa	95Aa	98Aa	97Aa	97Aa

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras maiúsculas iguais na coluna, dentro de cada lote, e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu

Tabela 10 – Resultados de velocidade de emergência de plântulas, para diferentes lotes do milho híbrido 2B688Hx, épocas de avaliação (em dias) e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote	Época	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>
		Índice						
20H	0	20,3Ba <sup>1</sup>	20,7Aa	20,7Aa	20,6Aa	20,3Ba	19,4Aa	19,5Aa
	30	14,1Ca	11,9Bbc	12,3Bbc	14,0Ba	13,5Cab	12,7Babc	11,7Bc
	60	21,9Aa	21,3Aab	21,3Aab	21,3Aab	21,8Aab	20,3Ab	20,3Ab
20L	0	19,9Aa	19,1Aa	19,3Aa	19,7Aa	19,4Aa	18,8Aa	18,6Aa
	30	12,7Cab	11,4Bab	12,0Bab	13,1Ba	12,7Bab	12,3Bab	11,1Cb
	60	18,1Bbc	18,7Aabc	19,3Aab	20,0Aa	20,1Aa	18,7Aabc	17,0Bc
24H	0	21,5Aa	20,2Aabc	20,6Aabc	20,5Aabc	20,8Bab	19,3Bbc	18,9Bc
	30	13,8Ba	14,2Ba	13,8Ba	13,8Ba	14,1Ca	13,2Ca	12,6Ca
	60	22,1Aa	21,1Aa	21,5Aa	21,5Aa	22,4Aa	21,3Aa	21,4Aa
24L	0	19,9Aa	20,1Aa	19,0Aabc	19,7Aab	19,5Aabc	18,4Bbc	18,3Bc
	30	12,9Ba	13,0Ba	13,3Ba	13,2Ba	13,4Ba	12,4Ca	12,7Ca
	60	19,8Aa	20,4Aa	19,2Aa	19,6Aa	20,3Aa	20,3Aa	19,8Aa

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras maiúsculas iguais na coluna, dentro de cada lote, e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu

A análise computadorizada de plântulas é um método prático e eficaz para a análise do vigor de sementes de milho (MONDO; DIAS; McDONALD, 2011). Os resultados são apresentados nas Tabelas 11 e 12. Na primeira, os dados são referentes ao índice de vigor, calculado com base no comprimento e uniformidade das raízes. O segundo se refere ao comprimento das raízes, em milímetros.

Os tratamentos Zn<sub>0</sub>Cu<sub>1</sub> e Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub> foram responsáveis por reduções significativas no índice de vigor e nos dados de comprimento de raiz. Isto ocorreu pelo mesmo motivo encontrado no teste de germinação, ou seja, a alta concentração de Cu no papel-toalha usado nos testes. Estes tratamentos não afetaram a quantidade de raízes primárias emitidas, que foram similares aos demais tratamentos, com valores próximos a 100% (dados não exibidos). Isto reforça o que foi afirmado anteriormente, que os tratamentos contendo apenas Cu não afetam a fase de emissão da raiz primária.

Os demais tratamentos, em geral, não diferiram entre si, tanto quanto ao índice de vigor como ao comprimento de raiz. Foram encontradas poucas diferenças entre épocas de avaliação, para todos os tratamentos, sendo que as mesmas não podem ser atribuídas diretamente a algum efeito de deterioração das sementes causado pelos tratamentos.

Tabela 11 - Índice de vigor plântulas (IV), calculados pelo *software* SVIS<sup>®</sup> em diferentes lotes do milho híbrido 2B688Hx, épocas (em dias) e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote	Época	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>
		IV						
20H	0	910Aa <sup>1</sup>	924Aa	935Aa	916Aa	961Aa	727Ab	727Ab
	30	945Aa	933Aa	942Aa	930Aa	953Aa	703Ab	704Ab
	60	957Aa	980Aa	976Aa	960Aa	951Aa	705Ab	739Ab
20L	0	855Aa	867Aa	885Aa	881Aa	799Aab	725Ab	685Ab
	30	787Aa	815Aa	792Ba	796Ba	794Aa	636ABb	655Ab
	60	802Aab	868Aa	798Bab	793Bab	749Abc	621Bc	619Ac
24H	0	931Bb	953Aab	969Aab	976Aa	977Aa	831Ac	820ABc
	30	979Aa	979Aa	978Aa	977Aa	981Aa	724Bb	755Bb
	60	980Aa	976Aa	981Aa	980Aa	981Aa	794ABc	877Ab
24L	0	806Babc	855Aa	863ABa	819Aabc	837Aab	726Ac	735Abc
	30	812Bab	838Aa	823Ba	850Aa	848Aa	700Ab	770Aab
	60	887Aa	845Aab	898Aa	865Aa	839Aab	746Ab	762Ab

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras maiúsculas iguais na coluna, dentro de cada lote, e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu

Tabela 12 - Comprimento de raiz de plântulas, calculados pelo *software* SVIS<sup>®</sup>, em diferentes lotes do milho híbrido 2B688Hx, épocas (em dias) e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote	Época	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>
		mm						
20H	0	58,7Aa <sup>1</sup>	59,2Ba	61,4Aa	58,0Aab	62,5Aa	42,7Ac	48,5Abc
	30	60,6Aa	60,4Ba	61,6Aa	59,1Aa	62,5Aa	40,2Ab	40,4Bb
	60	63,5Aa	68,4Aa	66,3Aa	63,8Aa	61,3Aa	41,1Ab	43,5ABb
20L	0	52,5Aa	53,3Aa	54,8Aa	55,4Aa	48,9Aab	43,3Abc	39,9Ac
	30	46,5Aa	49,4Aa	47,6Ba	47,6Ba	47,2Aa	34,3Bb	35,6ABb
	60	47,5Ab	53,6Aa	47,8Bab	46,7Bab	44,1Ab	33,2Bc	32,9Bc
24H	0	59,9Ba	61,5Ba	64,1Ba	63,7Ba	64,9Ba	51,6Ab	50,9Ab
	30	70,4Aa	69,4Aa	72,3Aa	68,5ABa	68,5Ba	42,0Bb	44,0Bb
	60	67,4Ab	69,7Aab	75,2Aa	73,5Aab	74,9Aab	47,5ABd	55,3Ac
24L	0	48,0Bab	52,2Aa	53,5ABa	49,7Aab	50,8Aa	42,3Ab	42,5Ab
	30	48,8ABa	51,0Aa	49,5Ba	52,0Aa	51,6Aa	39,5Ab	45,1Aab
	60	55,1Aa	51,1Aab	56,5Aa	53,1Aa	51,1Aab	43,9Ab	44,7Ab

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras maiúsculas iguais na coluna, dentro de cada lote, e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu

Na literatura não foi encontrado trabalho relacionando o efeito do tratamento de sementes com micronutrientes, ou mais especificamente Zn e Cu, no potencial de armazenamento dos lotes em longo prazo. Neste estudo, por meio da avaliação da germinação e vigor das sementes de milho no período de doze meses, foi possível concluir que tanto as de maior como de menor potencial fisiológico não são afetadas pelos tratamentos utilizados, podendo ser armazenadas pelo período de validade adotado atualmente para sementes de milho no Brasil (BRASIL, 2005); contudo, um ponto importante a ser considerado neste caso é a manutenção do teor de água das sementes em níveis adequados para o armazenamento (SCOTT, 1998).

Analisando-se os resultados obtidos nos testes de germinação, de primeira contagem de germinação e de análise computadorizada de plântulas (SVIS<sup>®</sup>), que utilizam o papel como substrato, verifica-se que as sementes tratadas apenas com Cu, apresentaram desempenho mais baixo em relação aos demais tratamentos, sendo este pior desempenho constatado pelo aumento do número de plântulas anormais; por outro lado, os testes de frio, de emergência de plântulas e de velocidade de emergência de plântulas, que utilizam terra ou areia como substrato, não apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, as sementes tratadas apenas com Cu, apresentaram desempenho similar aos demais tratamentos. A explicação para essa diferença de comportamento é devida, principalmente, à alta concentração do micronutriente, no caso o Cu, próximo das sementes, o que não ocorre quando o substrato utilizado é a terra, areia ou quando a semeadura é feita diretamente no solo. Na mesma linha de raciocínio, Taylor, Eckenrode e Straub (2001) e Taylor e Salanenka (2012), concluíram que os testes que utilizam papel como substrato não se adequam para avaliação de sementes tratadas com determinados tipos de inseticida ou fungicida, devido principalmente à alta concentração dos ingredientes ativos próximos às sementes, o que não ocorre quando a semeadura é realizada diretamente no campo, ou seja, no solo.

Diante do exposto, há necessidade de precaução ao se analisar os resultados provenientes de sementes tratadas com produtos que possam causar fitotoxicidade às sementes em situações similares ao que ocorreu na presente pesquisa, sendo de fundamental importância complementar as informações obtidas em testes que utilizam o papel como substrato, com outros que utilizam substratos similares ao que as sementes encontrarão em condições de campo.



### 2.3.2 Avaliação do desenvolvimento inicial das plantas

A Tabela 13 contém dados de massa seca de raiz e de parte aérea, para os quatro lotes de sementes utilizados no estudo. Os valores de massa seca de plântulas provenientes dos lotes de peneira 24 foram consideravelmente maiores comparados à peneira 20. Isto ocorreu devido ao maior tamanho das plântulas das primeiras, pois sementes maiores possuem embrião maior. Entre os lotes de mesma peneira, não foram verificadas diferenças expressivas em relação à massa seca de raiz e parte aérea.

Em relação ao efeito dos tratamentos, de maneira geral, a massa seca de raiz foi mais afetada negativamente do que a parte aérea, que por sua vez apresentou menores coeficientes de variação. Analisando em valores absolutos, os tratamentos  $Zn_0Cu_1$  e  $Zn_0Cu_2$  prejudicaram o desenvolvimento radicular em todos os lotes avaliados, reduzindo a massa seca de raízes. Os tratamentos contendo Zn e a mistura de Zn e Cu afetaram significativamente a massa seca de raiz apenas nos lotes 20H e 24L, contudo, observa-se grande variação nos resultados apresentados; no lote 24H, por exemplo, a massa seca variou de 161,3 g no tratamento  $Zn_0Cu_1$  a 226,7 g no tratamento  $Zn_2Cu_2$ . O tratamento  $Zn_1Cu_1$  apresentou resultados superiores ao controle em todos os lotes testados, indicando um provável estímulo dos micronutrientes Zn e Cu no desenvolvimento inicial das raízes. No lote 24H, todos os tratamentos com Zn e mistura de Zn e Cu proporcionaram incremento na massa seca de raiz quando comparados ao tratamento  $Zn_0Cu_0$ .

Quanto à parte aérea, os dados apresentados na Tabela 13 permitem concluir que houve variação principalmente entre as peneiras do que entre os níveis de vigor das sementes e os diferentes tratamentos de sementes contendo Zn e Cu.

Tabela 13 - Resultados de massa de matéria seca de raiz (R) e parte aérea (PA), para diferentes lotes de sementes do milho híbrido 2B688Hx e tratamentos de sementes com zinco e cobre

Lote		mg.plântula <sup>-1</sup>							CV %
		Zn <sub>0</sub> Cu <sub>0</sub> *	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub>	Zn <sub>1</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>2</sub> Cu <sub>0</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>0</sub> Cu <sub>2</sub>	
20H	R	88,4ab <sup>1</sup>	115,4a	91,9ab	71,2b	62,5b	62,8b	64,7b	4,68
	PA	57,8ab	63,0a	61,0ab	59,4ab	63,3a	55,2b	62,3a	1,22
20L	R	81,2 <sup>ns</sup>	84,9	77,8	80,6	93,4	64,5	62,9	5,73
	PA	56,6 <sup>ns</sup>	58,5	60,2	60,4	59,5	54,6	52,4	2,45
24H	R	178,3 <sup>ns</sup>	196,8	226,7	209,4	203,3	161,3	174,8	3,31
	PA	90,3 <sup>ns</sup>	93,3	99,6	94,1	99,5	95,9	97,2	1,11
24L	R	174,2ab	213,3a	163,5ab	184,8a	168,9ab	161,0ab	118,0b	3,96
	PA	89,8 <sup>ns</sup>	91,1	89,1	93,9	91,0	90,6	93,6	1,51

<sup>1</sup> Valores seguidos de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). <sup>ns</sup> Não significativo pelo Teste F (p<0,05). CV: coeficiente de variação. \* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu; baseado em uma densidade de semeadura de sessenta mil sementes por hectare

A Tabela 14 também apresenta resultados de massa seca de raiz e de parte aérea provenientes de outro teste, conduzido apenas com o lote 20H. Neste, foram utilizadas cinco doses para cada tipo de tratamento de sementes (Zn, Cu e mistura de ambos). Nesta tabela também são apresentados os valores de emergência de plântulas associado a cada dose.

Pelos resultados pode-se afirmar que os tratamentos não interferiram na porcentagem final de emergência de plântulas, inclusive com a aplicação das doses mais elevadas (até 524 g.ha<sup>-1</sup> de Zn e 132,8 g.ha<sup>-1</sup> de Cu).

Os valores de massa seca de raiz e parte aérea também não foram afetados neste teste. Contudo, em valores absolutos, os tratamentos com maiores doses do tratamento com Cu (TCu) foram responsáveis por redução expressiva na massa seca de raiz, de 70 mg no tratamento controle para 57 mg nas doses 1/2 e 2. Nos tratamentos TZnCu e TZn o valor mínimo encontrado foi 64 mg, contudo, não podem ser atribuídos diretamente a efeito fitotóxico causado pelo tratamento, visto que nas doses mais elevadas foram encontrados valores próximos ou superiores ao tratamento controle (0), variando de 67 a 73 mg.plântula<sup>-1</sup>.

O desenvolvimento da parte aérea não foi afetado por nenhum dos tratamentos, apresentando pequena variação entre os valores. Visualmente, os tratamentos contendo apenas Cu, nas doses mais elevadas, reduziram o desenvolvimento em altura e tamanho das folhas, contudo, ao verificar os resultados de massa seca, esta diferença não foi verificada.

Tabela 14 - Emergência de plântulas (E), massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA) de plantas de milho com duas folhas completas, provenientes de sementes do lote 20H (híbrido 2B688Hx) tratadas com diferentes dosagens de Zn e Cu, juntos (TZnCu) ou isolados (TZn ou TCu)

Dose*	E (%)			MSR (mg.plântula <sup>-1</sup> )			MSPA (mg.plântula <sup>-1</sup> )		
	TZnCu	TZn	TCu	TZnCu	TZn	TCu	TZnCu	TZn	TCu
0	98 <sup>ns</sup>	98 <sup>ns</sup>	98 <sup>ns</sup>	70 <sup>ns</sup>	70 <sup>ns</sup>	70 <sup>ns</sup>	74 <sup>ns</sup>	74 <sup>ns</sup>	74 <sup>ns</sup>
¼	98	99	99	76	64	72	71	72	77
½	99	98	98	64	75	57	72	75	76
1	98	98	99	77	68	60	74	73	74
2	97	98	99	73	69	57	78	72	76
4	98	99	99	67	72	59	72	71	72
CV(%)	3,2	2,6	2,1	13,3	11,5	14,4	5,4	5,8	7,4

<sup>ns</sup> Diferenças entre médias não significativas pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ). \* 0 (controle); ¼: 32,7 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 8,3 g.ha<sup>-1</sup> Cu; ½: 65,5 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 16,6 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 4: 524 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 132,8 g.ha<sup>-1</sup> Cu, baseado em uma densidade de semeadura de sessenta mil sementes por hectare

Ainda em relação ao desenvolvimento inicial das plantas associado aos tratamentos de sementes com Zn e Cu, foi conduzido experimento em vasos, onde as plantas foram analisadas nos estádios fenológicos de duas (V2) e quatro (V4) folhas completas. A Figura 2 contém resultados de altura de plantas, área foliar, diâmetro de colmo e massa de matéria seca da parte aérea, que permitem uma análise exploratória dos resultados, por meio de gráficos e barras representando o erro padrão da média.

Quanto à altura (Figura 1A), em ambos os estádios fenológicos, o tratamento Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub> apresentou menores valores comparados aos demais, o que sugere um provável efeito fitotóxico causado por este tratamento. Os maiores valores de altura de plantas foram obtidos pelos tratamentos Zn<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub> em V2 e Zn<sub>2</sub>Cu<sub>0</sub> em V4, indicando um efeito positivo do Zn aplicado em maior quantidade. Este elemento é responsável direto pelo crescimento em altura das plantas, sendo um dos sintomas de sua deficiência o encurtamento dos entrenós no colmo de plantas de milho (MALAVOLTA, 2006).

Os resultados de área foliar (Figura 2B) seguiram padrão similar aos de altura, apontando os tratamentos Zn<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub> e Zn<sub>2</sub>Cu<sub>0</sub> como os mais benéficos ao desenvolvimento das plantas, sendo a diferença mais expressiva no estágio fenológico de quatro folhas. Por sua vez, o tratamento Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub> se mostrou prejudicial ao desenvolvimento das plantas, resultando nos menores valores. A área foliar está diretamente atribuída à capacidade fotossintética, o que pode conferir grande vantagem competitiva à cultura do milho, desde a fase inicial do desenvolvimento (DIAS; MONDO; CICERO, 2010; MONDO et al., 2013).

Analisando os dados de diâmetro de colmo (Figura 2C), de maneira geral, verifica-se que os tratamentos  $Zn_2Cu_2$  e  $Zn_2Cu_0$  resultaram nos maiores valores comparados aos demais, sendo as diferenças mais expressivas no estágio V4.

Quanto à massa seca de parte aérea (Figura 2D), de maneira geral, os tratamentos contendo Zn proporcionaram os maiores valores, o que reflete nos resultados encontrados anteriormente, em que as plantas apresentaram maior desenvolvimento em altura, área foliar e diâmetro do colmo.

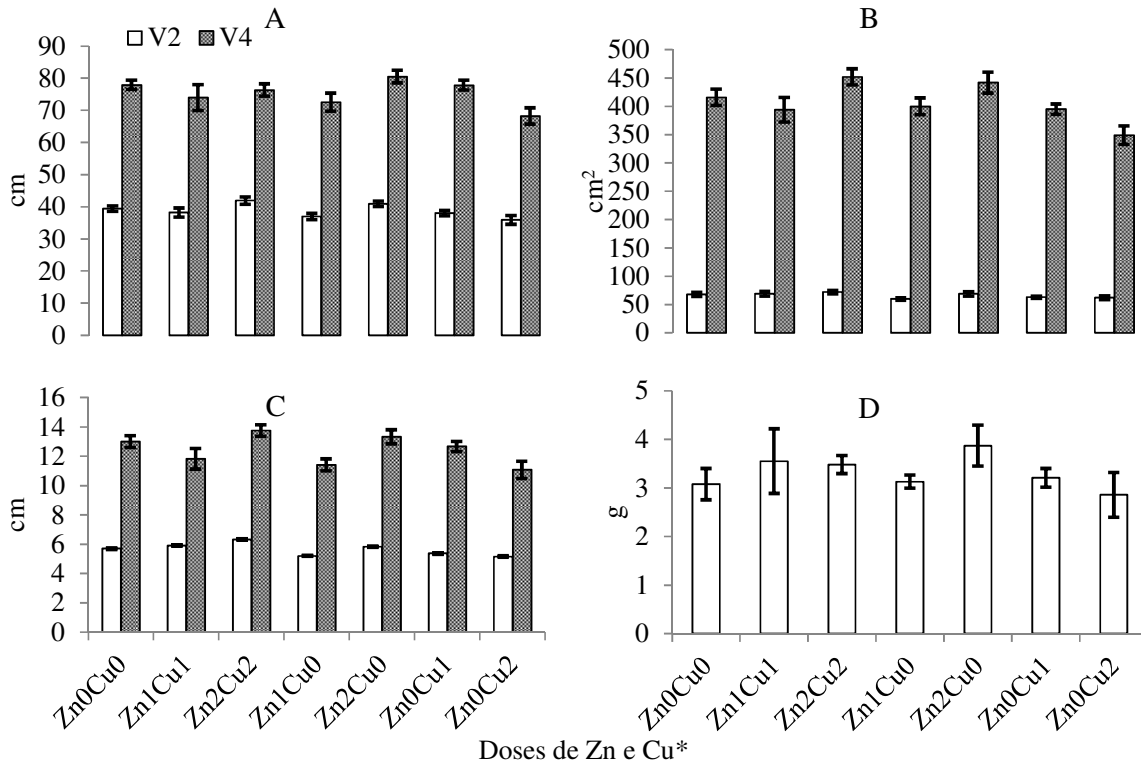


Figura 1 - Avaliação de crescimento inicial de plantas de milho (híbrido 2B688Hx, lote 20H) em vasos, avaliadas nos estádios fenológicos de duas (V2) e quatro folhas (V4), de acordo com os diferentes tratamentos de sementes com zinco e cobre (Zn<sub>0</sub>Cu<sub>0</sub>, Zn<sub>1</sub>Cu<sub>1</sub>, Zn<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub>Cu<sub>0</sub>, Zn<sub>2</sub>Cu<sub>0</sub>, Zn<sub>0</sub>Cu<sub>1</sub>, Zn<sub>0</sub>Cu<sub>2</sub>). A: altura de plantas; B: área foliar; C: diâmetro de colmo; D: massa de matéria seca de parte aérea

\* 0 (controle); 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu, baseado em uma densidade de semeadura de sessenta mil sementes por hectare.

### 2.3.3 Avaliação da eficiência nutricional

A Figura 2 contém os resultados de teor de Zn e Cu nos tecidos da raiz e parte aérea das plantas, avaliadas no estado fenológico de duas folhas completas.

Na Figura 2A estão apresentados os resultados de teor de Zn na parte aérea, de acordo com as diferentes doses do tratamento com Zn (TZn), Cu (TCu) e os dois elementos (TZnCu). Nos tratamentos contendo Zn (TZn e TZnCu) foram verificados incrementos significativos, afetando de forma quadrática os teores de Zn nestes tecidos, enquanto TCu provocou diminuição no teor deste elementos nas plantas. Mesmo com quantidades iguais de Zn nos tratamentos TZn e TZnCu, o último resultou em menores quantidades de Zn nos tecidos das plantas, tanto na parte aérea como na raiz. Isto se deve à presença do Cu no tratamento, que

compete pelo mesmo canal de absorção utilizado pelo Zn (MALAVOLTA, 2006), reduzindo a absorção deste.

Quanto aos teores de Zn na raiz (Figura 2B), foram observados resultados similares, porém com teores de Zn ligeiramente maiores aos valores encontrados na parte aérea, indicando uma maior concentração deste elemento na raiz. Novamente, os tratamentos contendo Zn (TZn e TZnCu) elevaram os teores deste nos tecidos radiculares, enquanto o TCu provocou redução do mesmo quando comparado ao tratamento controle ( $Zn_0Cu_0$ ). Isto reforça a necessidade de um maior cuidado e da busca por um equilíbrio no fornecimento destes elementos que apresentam inibição competitiva, considerando que o excesso de Cu na adubação pode levar à deficiência de Zn nas plantas. No caso do tratamento de sementes, este fator pode se agravar, pois as plântulas em geral demandam elevadas concentrações de Zn nos tecidos em início de desenvolvimento (CAKMAK, 2000).

A Figura 2C contém dados referentes aos teores de Cu nos tecidos da parte aérea, para cada tratamento utilizado (TZn, TCu e TZnCu). Pela figura é possível verificar que o tratamento TCu resultou em teores de Cu nos tecidos consideravelmente maiores aos do tratamento TZnCu, que possuía a mesma quantidade de Cu. Novamente, a inibição competitiva entre o Zn e o Cu foi a maior responsável por esta menor absorção de Cu verificada. Todavia, apesar de menor, foi observado um aumento significativo dos teores de Cu nos tecidos a partir do tratamento TZnCu comparado ao tratamento controle. Por sua vez, o TZn não afetou o teor de Cu nos tecidos da parte aérea.

Os resultados de teor de Cu na raiz estão apresentados na Figura 2D. Do mesmo modo, o TZnCu resultou em teores consideravelmente menores de Cu nos tecidos do que o TCu. Porém, neste caso, verifica-se uma maior diferença em relação ao tratamento controle do que a diferença verificada na parte aérea, com um aumento mais expressivo do teor de Cu proporcionado pelo TZnCu. Além disso, os valores de Cu encontrados na raiz também foram consideravelmente maiores em comparação aos encontrados na parte aérea, indicando uma tendência de maior concentração de Cu nestes tecidos. O mesmo foi observado por Luchese et al. (2004) em plântulas de milho, cujas sementes foram tratadas com sulfato de cobre.

O TZnCu não apresentou efeitos negativos para o desenvolvimento das plântulas, enquanto o TCu resultou em menor desenvolvimento das mesmas, o que pôde ser observado visualmente a partir das doses mais elevadas (2 e 4). Pelas figuras 2C e 2D é possível observar que a dose  $\frac{1}{2}$  do TCu foi capaz de elevar o teor de Cu nos tecidos para valores próximos aos encontrados pela dose 4 do TZnCu. Isto reforça o efeito da inibição competitiva

entre o Zn e o Cu e, ao mesmo tempo, sugere o uso de doses reduzidas do tratamento TCu, levando em consideração o elevado potencial de absorção deste elemento quando aplicado sem a presença de Zn.

Com isso, vale ressaltar que o tratamento TZnCu foi eficiente no fornecimento de Zn e, simultaneamente, foi capaz de elevar os teores de Cu nos tecidos, quando comparado ao tratamento controle. Isto pode ser interessante do ponto de vista prático para o fornecimento de Cu via tratamento de sementes, visto que o mesmo tratamento não foi prejudicial à qualidade das sementes e plântulas em nenhuma das doses avaliadas, enquanto o TCu prejudicou a viabilidade e o vigor das mesmas. Além disso, o excesso de Cu nos tecidos demonstrou causar efeitos prejudiciais ao desenvolvimento das plantas de milho.

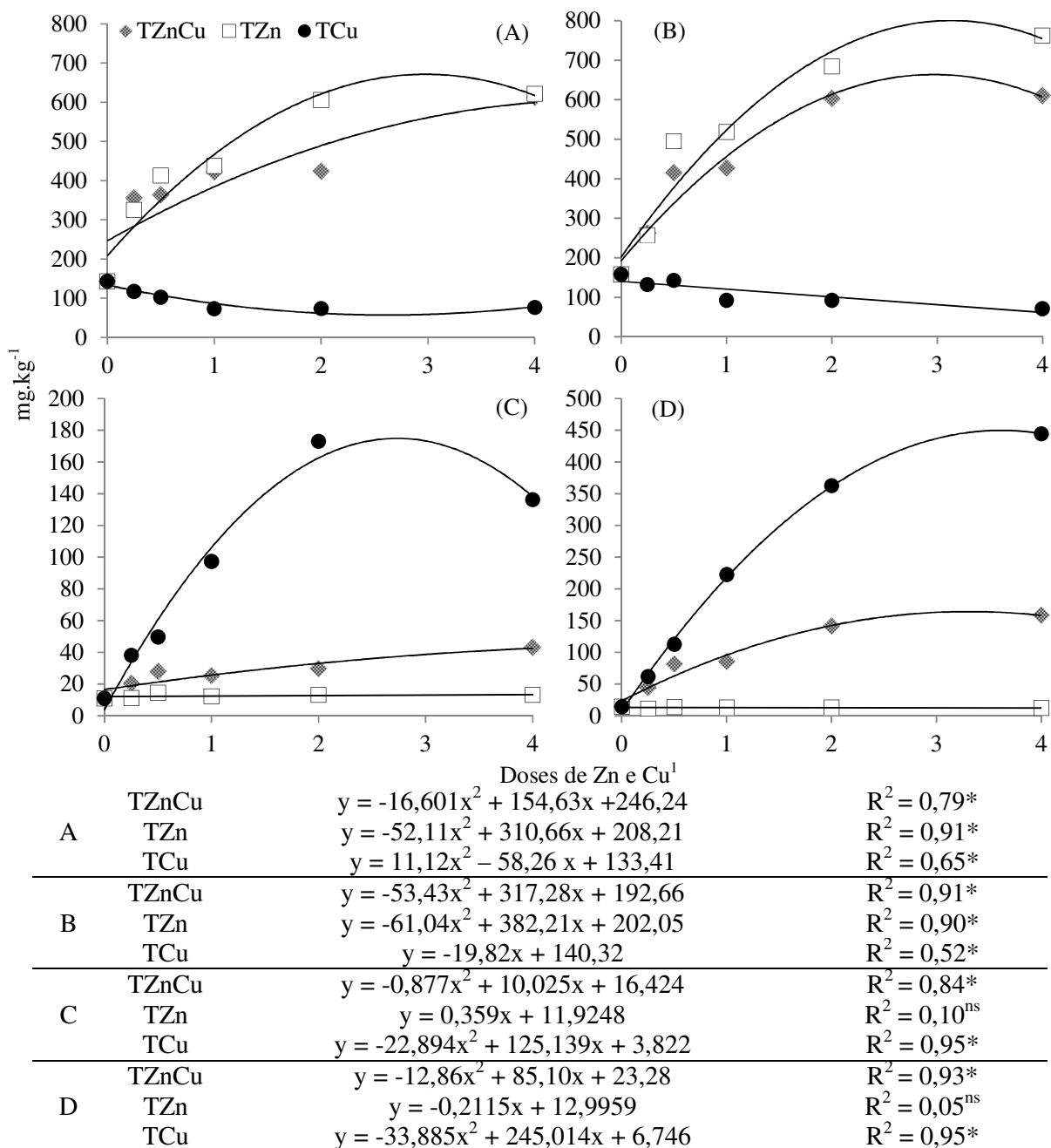


Figura 2 – A: teor de Zn na parte aérea; B: teor de Zn na raiz; C: teor de Cu na parte aérea; D: teor de Cu na raiz, avaliados em plantas de milho no estágio fenológicos de duas folhas (híbrido 2B688Hx), com diferentes tratamentos de sementes com Zn e Cu (TZnCu, TZn e TCu)

\* Diferenças entre médias significativas pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ). <sup>1</sup> 0 (controle); ¼: 32,7 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 8,3 g.ha<sup>-1</sup> Cu; ½: 65,5 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 16,6 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 4: 524 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 132,8 g.ha<sup>-1</sup> Cu, baseado em uma densidade de semeadura de sessenta mil sementes por hectare



A Figura 3A contém os resultados das eficiências de absorção de Zn, referente a cada tratamento de sementes (TZnCu, TZn e TCu). Todos os tratamentos apresentaram resultados significativos, afetando de maneira quadrática os teores de Zn, sendo os valores crescentes para os tratamentos TZnCu e TZn e decrescentes para TCu. O TZn apresentou maior eficiência na absorção de Zn comparado ao TZnCu; o TCu diminuiu a eficiência de absorção de Zn.

Na Figura 3B estão os dados de eficiência de absorção de Cu. Nesta, é possível observar efeito significativo apenas para os tratamentos TZnCu e TCu, sendo que o TZn não afetou de maneira significativa este parâmetro. A eficiência de absorção de Cu foi consideravelmente maior para o TCu, comparada aos demais tratamentos, o que refletiu nos maiores teores verificados nos tecidos, como discutido anteriormente.

Do mesmo modo que nos teores de Cu nos tecidos, apresentados nas Figuras 3C e 3D, a eficiência de absorção de Cu não foi afetada pelo tratamento TZn. Em contrapartida, o tratamento TCu afetou significativamente a quantidade de Zn nos tecidos e a eficiência de absorção deste elemento.

A Figura 4A contém dados de eficiência de transporte de Zn. Os resultados foram significativos apenas para o tratamento TZnCu. Nesta análise, não foram observadas diferenças expressivas entre os tratamentos, com valores variando pouco de acordo com o aumento das doses aplicadas.

Na Figura 4B, referente às eficiências de transporte de Cu, o tratamento TZnCu novamente foi o único que apresentou resultados significativos. Contudo, diferentemente do Zn, é possível verificar maior variação entre os tratamentos e doses, com o tratamento TZn apresentando os maiores valores, seguidos do TCu e TZnCu, respectivamente. A eficiência de transporte de Cu tendeu a aumentar com o aumento das doses no TZn, enquanto tendeu a diminuir nos tratamentos TZnCu e TCu. Isto se explica devido à maior oferta de Cu nestes tratamentos, o que leva a diminuição da capacidade da planta em transportar a grande quantidade fornecida. É interessante notar que a eficiência de transporte de Cu é menor pelo tratamento TZnCu, que possui as mesmas quantidades de Cu do tratamento TCu, o que provavelmente ocorreu devido à presença do Zn.

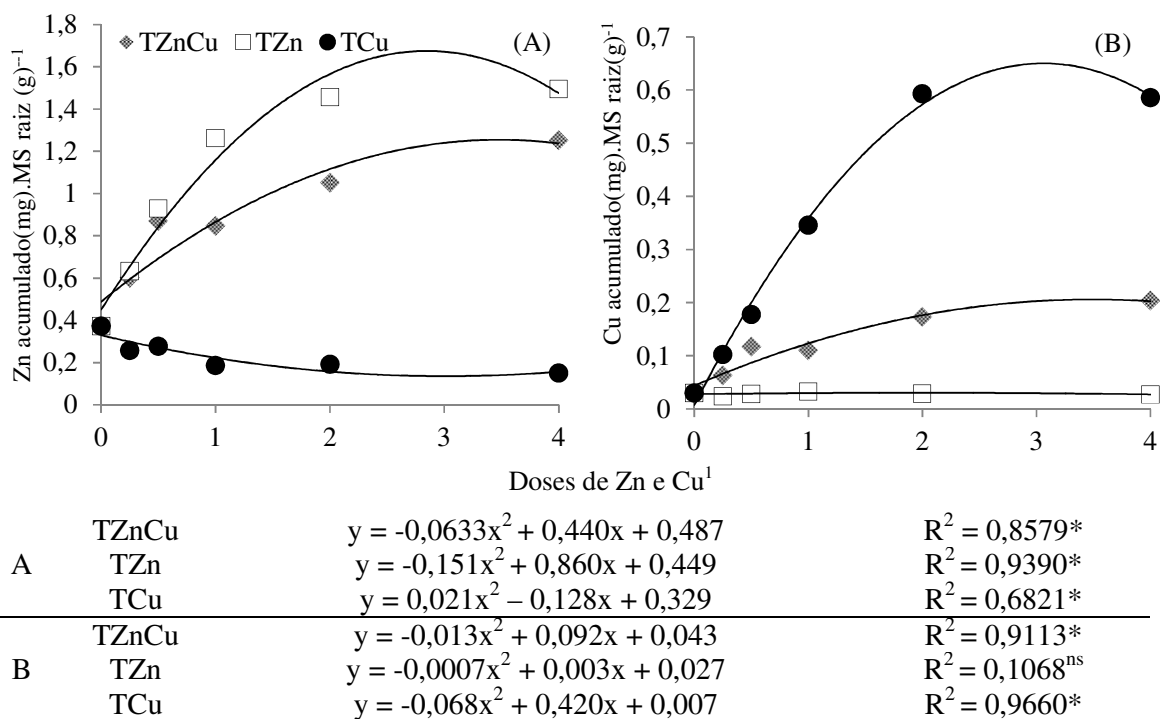


Figura 3 - Eficiência de absorção de Zn (A) e Cu (B) em plantas de milho do híbrido 2B688Hx no estágio fenológico de duas folhas. As sementes foram tratadas com doses proporcionais de suspensões líquidas contendo Zn e Cu misturados (TZnCu) e separados (TZn e TCu)

\* Diferenças entre médias significativas pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ). <sup>1</sup> 0 (controle); <sup>1/4</sup>: 32,7 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 8,3 g.ha<sup>-1</sup> Cu; <sup>1/2</sup>: 65,5 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 16,6 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 4: 524 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 132,8 g.ha<sup>-1</sup> Cu, baseado em uma densidade de semeadura de sessenta mil sementes por hectare.

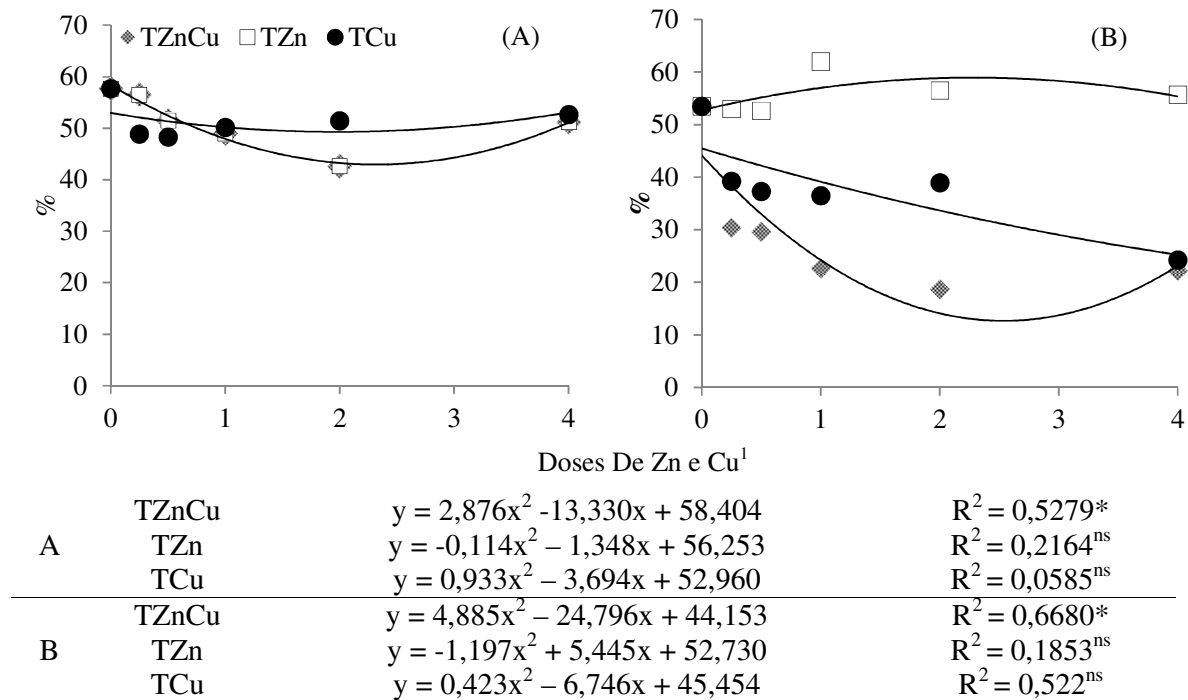


Figura 4 - Eficiência de transporte de Zn (A) e Cu (B) em plantas de milho do híbrido 2B688Hx no estágio fenológico de duas folhas. As sementes foram tratadas com doses proporcionais de suspensões líquidas contendo Zn e Cu misturados (TZnCu) e separados (TZn e TCu)

\* Diferenças entre médias significativas pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ). <sup>1</sup> 0 (controle); <sup>1/4</sup>: 32,7 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 8,3 g.ha<sup>-1</sup> Cu; <sup>1/2</sup>: 65,5 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 16,6 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 4: 524 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 132,8 g.ha<sup>-1</sup> Cu, baseado em uma densidade de semeadura de sessenta mil sementes por hectare

A Figura 5A contém os resultados da análise de eficiência de utilização de Zn. Nesta, todos os tratamentos foram significativos, sendo o aumento das doses no tratamento TCu responsável por um aumento da eficiência de utilização, enquanto os tratamentos TZnCu e TZn causaram diminuição da mesma.

Na Figura 5B, que contém as eficiências de utilização de Cu de acordo com cada tratamento, também foram verificados efeitos significativos de todos os tratamentos, de acordo com o aumento das doses. O tratamento TZn apresentou os maiores valores de eficiência de utilização de Cu, sendo os mesmos, em geral, maiores com o aumento da dose. Contrariamente, os tratamentos TZnCu e TCu causaram redução na eficiência de absorção de Cu.

Em ambos os casos verifica-se diminuição das eficiências de absorção dos elementos quando tratados com o mesmo. Isto ocorre devido às elevadas quantidades de cada elemento

disponibilizadas às plantas, que provavelmente excederam a capacidade das mesmas em utilizá-los, levando à diminuição na eficiência de absorção.

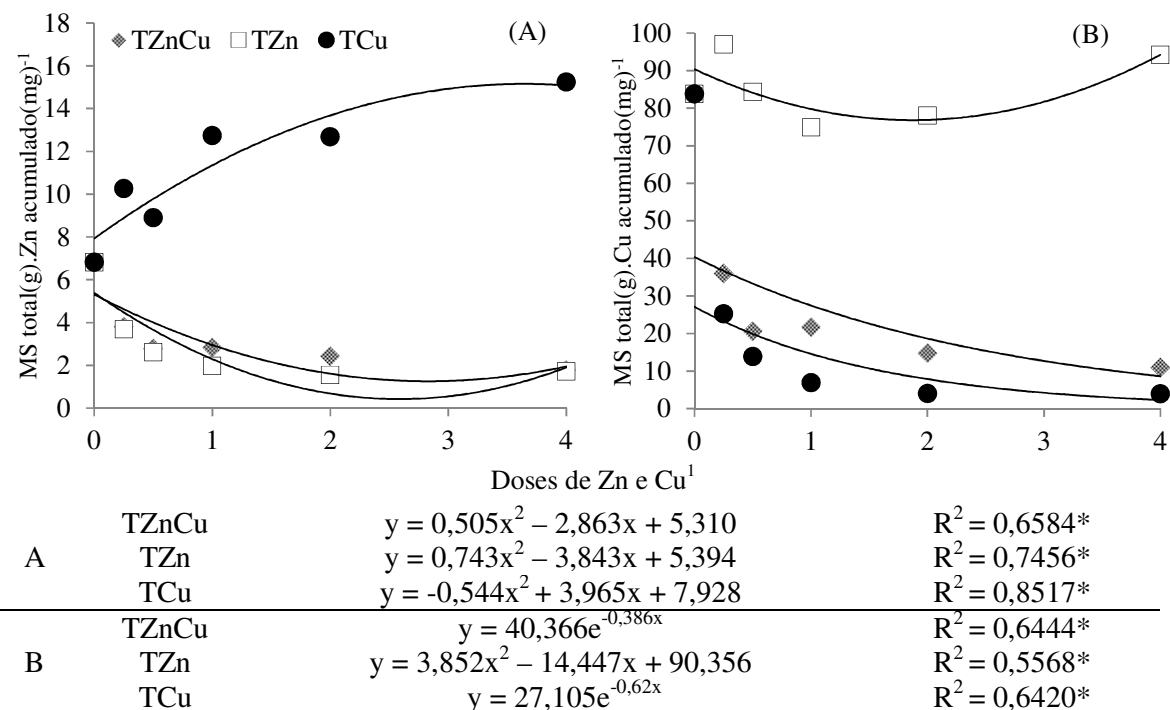


Figura 5 - Eficiência de utilização de Zn (A) e Cu (B) em plantas de milho do híbrido 2B688Hx no estágio fenológico de duas folhas. As sementes foram tratadas com doses proporcionais de suspensões líquidas contendo Zn e Cu misturados (TZnCu) e separados (TZn e TCu)

\* Diferenças entre médias significativas pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo Teste-F ( $p < 0,05$ ). <sup>1</sup> 0 (controle); <sup>1</sup>/<sub>4</sub>: 32,7 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 8,3 g.ha<sup>-1</sup> Cu; <sup>1</sup>/<sub>2</sub>: 65,5 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 16,6 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 1: 131 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 33,2 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 2: 262 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 66,4 g.ha<sup>-1</sup> Cu; 4: 524 g.ha<sup>-1</sup> Zn e 132,8 g.ha<sup>-1</sup> Cu, baseado em uma densidade de semeadura de sessenta mil sementes por hectare



### **3 CONCLUSÕES**

A qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas com Zn e Cu, isoladamente ou associados, não é afetada ao longo de doze meses de armazenamento; por outro lado, o Cu utilizado isoladamente causa fitotoxicidade quando a avaliação é realizada tendo o papel como substrato, afetando principalmente o desenvolvimento radicular das plântulas. O tratamento de sementes com zinco e cobre se constitui em alternativa viável e eficaz para o fornecimento destes elementos para as plantas de milho.



## REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B.J. **Zinc in soils and crop nutrition**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2008. 133 p.
- BARBOSA FILHO, M.P.; PEREIRA, M. **Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129 p.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; CARVALHO, J.R.P. Fontes de zinco e modos de aplicação sobre a produção de arroz em solos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 713-719, 1982.
- BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O.A.; FREITAS, P.L.; COELHO, M.R.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.P.; OLIVEIRA, R.P.; SANTOS, H.G.; MADARI, B.E.; CARVALHO, M.C.S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Documentos, 46).
- BRASIL. Padrões para produção e comercialização de sementes de milho. **Diário Oficial de União**, Brasília, 20 out. 2005. Seção 1, n. 243.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. 399 p.
- CAKMAK, I. Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. **New Phytologist**, Norwich, v. 146, p. 185-205, 2000.
- CALDARELLI, C.E.; BACCHI, M.R.P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 22, n. 1, p. 141-162, 2012.
- COPELAND, L.O; MCDONALD, M. **Principles of seed science and technology**. 4<sup>th</sup> ed. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2001. 465 p.
- DELOUCHE, J.C. Germinação, deterioração e vigor da semente. **Seed News**, Pelotas, v. 6, n. 6, p. 24-31, 2002.
- DIAS, M.A.N.; MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M. Vigor de sementes de milho associado à matocompetição. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 93-101, 2010.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2<sup>nd</sup> ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 400 p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.



FAROOQ, M.; WAHID, A.; KADAMBOT, H.; SIDDIQUE, M. Micronutrients application through seed treatments: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 12, n. 1, p. 125-142, 2012.

FLOR, M.C.A.; CHEANEY, R.; NEIRA, P.S. O problema da deficiência do zinco em arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 27, n. 282, p. 20-23, 1974.

FOTI, R.; ABURENI, K.; TIGERE, A.; GOTOSA, J.; GERE, J. The efficacy of different seed priming osmotic on the establishment of maize (*Zea mays* L.) caryopses. **Journal of Arid Environment**, Philadelphia, v. 72, p. 1127-1130, 2008.

FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; MEDA, A.R.; DUARTE, A.P. Efficiency of maize cultivars for zinc uptake and use. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 264-273, 2005.

GANGWAR, K.S.; SINGH, N.P. Studies on zinc nutrition on lentil in relation to dry matter accumulation, yield and N and P uptake. **Indian Journal of Pulses Research**, Kanpur, v. 7, n. 1, p. 33-35, 1994.

HARRIS, D.; RASHID, A.; MIRAJ, G.; ARIF, M.; SHAH, H. On-farm seed priming with zinc sulphate solution: a cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. **Field Crops Research**, Philadelphia, v. 10, p. 119-127, 2007.

LI, B.; McKEAND, S.E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Madison, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

LUCHESE, A.V.; GONÇALVES, A.C.; LUCHESE, E.B.; BRACCINI, M.C.L. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho em resposta ao tratamento de sementes com cobre. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1949-1952, 2004.

LUCHESE, E.B. **Disponibilidade do cobre e zinco para as plantas nos solos do Rio Grande do Sul**. 1985. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

\_\_\_\_\_. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALHI, S.S. Effectiveness of seed-soaked Cu, autumn- versus spring-applied Cu, and Cu-treated P fertilizer on seed yield of wheat and residual nitrate-N for a Cu-deficient soil. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 89, p. 1017-1030, 2009.

MALHI, S.S.; LEACH, D. Reducing toxic effect of seed-soaked Cu fertilizer on germination of wheat. **Agricultural Sciences**, Irvine, v. 3, n. 5, p. 644-677, 2012.

MARSCHNER, P. **Marchner's mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford: Elsevier, 2012. 643 p.

MARTENS, D.C.; HAWKINS, G.W.; McCART, G.D. Field response of corn to ZnSO<sub>4</sub> and Zn-EDTA placed with the seed. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 135-136, 1973.

MCANDREW, D.W.; LOEWEN-RUDGERS, L.A.; RACZ, G.J. A growth study of copper nutrition of cereal and oilgrain crops in organic soil. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 64, p. 505-510, 1984.

MENDIBURU, F. **Agricolae**: statistical procedures for agricultural research; R package version 1.1-2. Viena: The R Foundation for Statistical Computing, 2012. 145 p.

MIGUEL, M.H.; CICERO, S.M. Teste de frio na avaliação do vigor de sementes de feijão. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1233-1243, 1999.

MONDO, V.H.V.; DIAS, M.A.N.; McDONALD, M. Seed vigour imaging system for a 2-day-old corn seedling evaluation. **Seed Technology**, Ithaca, v. 33, n. 2, p. 191-196, 2011.

MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; DOURADO-NETO, D.; PUPIM, T.; DIAS, M.A.N. Effect of seed vigor and intra-specific competition and grain yield in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 222-228, 2013.

MORTVEDT, J.J. Needs for controlled-availability micronutrient fertilizers. **Fertilizer Research**, Berlin, n. 38, p. 213-221, 1994.

MUTHOMI, J.W., OTIENO, P.E.; CHEMINING, G.N.; NDERITU, J.H.; WAGACHA, J.M. Effect of legume root rot pathogens and fungicide seed treatment on nodulation and biomass accumulation. **Journal of Biological Sciences**, Clayton, v. 7, n. 7, p. 1163-1170, 2007.

NAZIR, M.S.; JABBAR, A.; MAHMOOD, K., GHAFAR, A.; NAWAZ, S. Morpho-chemical traits of wheat as influenced by pre-sowing seed steeping in solution of different micronutrients. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 2, n. 1, p. 6-9, 2000.

OHSE, S.; SANTOS, O.S.; MENEZES, N.L.; SCHMIDT, D. Efeito de fontes de zinco sobre a germinação e o vigor de sementes de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 369-373, 1997.

OZTURK, L.; YAZICI, M.A.; YUCEL, C.; TORUN, A.; CEKIC, C.; BAGCI, A.; OZKAN, H.; BRAUN, H.J.; SAYERS, Z.; CAKMAK, I. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 128, p. 144-152, 2006.

PARDUCCI, S.; SANTOS, O.S.; CAMARGO, R.P.; LEÃO, R.M.A.; BATISTA, R.B. **Micronutrientes biocrop**. Campinas: Microquímica, 1989. 101 p.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; MOURO, M.C. Fontes de zinco aplicado via sementes na nutrição e crescimento inicial do milho cv. Fort. **Biosciences Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 16-24, 2007.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, N.D.; SANTOS, O.S. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159-165, 1996.

RIBEIRO, N.D.; SANTOS, O.S.; MENEZES, N.L. Efeito do tratamento com fontes de zinco e boro na germinação e vigor de sementes de milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 481-485, 1994a.

\_\_\_\_\_. Tratamento de sementes de milho com fontes de zinco e boro. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 116-120, 1994b.

ROSOLEM, C.A.; FERRARI, L.F. Crescimento inicial e absorção de zinco pelo milho em função do modo de aplicação e fontes do nutriente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 151-157, 1998.

ROZANE, D.E.; PRADO, R.M.; ROMUALDO, L.M.; SIMÕES, R.R. Resposta de plântulas de arroz cv. BRS-Soberana à aplicação de zinco via sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 847-854, 2008.

SANTOS, O.S. O zinco na nutrição de plantas leguminosas. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 34, n. 3, p. 26-32, 1981.

SANTOS, O.S.; RIBEIRO, N.D. Fontes de zinco aplicadas em sementes de milho, em solução nutritiva. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-62, 1994.

SARIC, T.; SACIRAGIC, B. Effect of oat seed treatment with microelements. **Plant and Soil**, Berlin, v. 31, n. 1, p. 185-187, 1969.

SARKAR, D. **Lattice: multivariate data visualization with R**. New York: Springer, 2008. 273 p.

SCOTT, J.M. Seed coatings and treatments and their effects on plant establishment. **Advances in Agronomy**, Philadelphia, v. 42, p. 43-83, 1989.

\_\_\_\_\_. Delivering fertilizers through seed coatings. In: RENGEL, Z. (Ed.). **Nutrients use in crop production**. New York: The Haworth Press, 1998. p. 197-220.

SCOTT, J.M.; BLAIR, G.J. Phosphorus seed coatings for pasture species. I. Effect of source and rate of phosphorus on emergence and early growth of phalaris (*Phalaris aquatic* L.) and Lucerne (*Medicago sativa* L.). **Australian Journal of Agricultural Research**, Clayton, v. 39, p. 437-445, 1988.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SINGH, M.V. Micronutrient seed treatment to nourish the crops at the critical stages of growth. **Indian Institute of Soil Science Technology Bulletin**, Bhopal, v. 19, n. 1, p. 1-93, 2007.

SLATON, N.A.; WILSON-JUNIOR, C.E., NTAMATUNGIRO, S.; NORMAN, R.J.; BOOTHE, D.L. Evaluation of zinc seed treatment for rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 152-157, 2001.

SWIADER, J.M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

TAYLOR, A.G.; HARMAN, G.E. Concepts and technologies of selected seed treatments. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 28, p. 321-339, 1990.

TAYLOR, A.G.; SALANENKA, Y.A. Seed treatments: phytotoxicity amelioration and tracer uptake. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 22, p. 86-90, 2012.

TAYLOR, A.G.; ECKENRODE, C.J.; STRAUB, R.W. Seed coating technologies and treatments for onion: challenges and progress. **HortScience**, Alexandria, v. 36, p. 199-205, 2001.

TAYLOR, A.G.; ALLEN, P.S.; BENNETT, M.A.; BRADFORD, K.J.; BURRIS, J.S.; MISRA, M.K. Seed enhancements. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 8, p. 245-256, 1998.

VENDRAME, P.R.S.; BRITO, O.R.; QUANTIN, C.; BECQUER, T. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 859-864, 2007.

WICKHAM, H. Reshaping data with the reshape package. **Journal of Statistical Software**, Alexandria, v. 21, n. 12, p. 1-20, 2007.

\_\_\_\_\_. The split-apply-combine strategy for data analysis. **Journal of Statistical Software**, Alexandria, v. 40, n. 1, p. 1-29, 2011.

YAGI, R.; SIMILI, F.F.; ARAÚJO, J.C.; PRADO, R.M.; SANCHEZ, S.V.; RIBEIRO, C.E.R.; BARRETTO, V.C.M. Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 655-660, 2006.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 36, p. 409-430, 2009.