

AVALIAÇÃO DOS MICRONUTRIENTES NO SISTEMA SERAPILHEIRA-SOLO-PLANTA EM FLORESTA DE *Pinus taeda* EM DECORRÊNCIA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM¹

EVALUATION OF MICRONUTRIENTS IN THE LITTER-SOIL-PLANT SYSTEM IN *Pinus taeda* FOREST AS A RESULT OF FERTILIZATION AND LIMING

Thays SCHNEIDER²; Marcos Vinícius Martins BASSACO^{3,7}; Araína Hulmann BATISTA⁴; Milena PEREIRA⁵; Antônio Carlos Vargas MOTTA⁶; Carlos Bruno REISSMANN⁶

RESUMO - O desbalanço nutricional em cultivo de *Pinus* sp. em solos de baixa fertilidade tem sido relacionado à carência de macronutrientes, desconsiderando a importância dos micronutrientes. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da adubação e calagem nos teores dos micronutrientes na serapilheira-solo-planta em *Pinus taeda* com cinco anos. Os experimentos foram instalados em Jaguariaíva e Arapoti, PR, aplicando os fertilizantes em cobertura, criando os seguintes tratamentos: completo (aplicação de N, P, K, Zn, Cu, B, Mo e calcário); omissão de macronutrientes; omissão de micronutrientes; omissão de K; omissão de Zn; omissão de calcário e testemunha. Os efeitos dos tratamentos foram avaliados pelos teores disponíveis de Cu, Mn, Fe, Zn e B no solo nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, serapilheira e acículas da copa. Como resultado observou-se baixos valores de Cu, Mn e Zn disponíveis, diferente do observado para Fe e B. O tratamento completo resultou no aumento dos teores de Zn e Cu disponíveis na camada 0-5 cm, e no aumento de B em todas as profundidades. Os tratamentos contendo Cu e Zn proporcionaram o aumento desses nutrientes na serapilheira. Nas acículas os teores de B e Mn aumentaram, com comportamento inverso para Zn e Cu. Dessa forma conclui-se que baixas concentrações de Mn no solo foram contrárias às altas concentrações nas acículas, a aplicação de B em cobertura apresentou-se viável para suprir a necessidade da planta, e maiores cuidados devem ser tomados na aplicação de Cu, Zn, Fe e Mn, devido à possibilidade de retenção na serapilheira da floresta.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes; Macronutrientes; Correção do solo; Omissão de nutrientes.

ABSTRACT - The nutritional imbalance in *Pinus* sp. in low fertility soils has been related to the lack of macronutrients, disregarding the importance of micronutrients. The objective of this work was to evaluate the influence of fertilization and liming on the levels of micronutrients in litter-soil-plant in *Pinus taeda* with five years. The experiments were installed in Jaguariaíva and Arapoti, PR with omission of nutrients, applying the following treatments in top dressing: complete (application of N, P, K, Zn, Cu, B, Mo and limestone); omission of macronutrients; omission of micronutrients; omission of K; omission of Zn; omission of limestone and witness. The effects of the treatments were evaluated by the available levels of Cu, Mn, Fe, Zn and B in the soil in the layers of 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm, litter and canopy needles. As a result, low values of available Cu, Mn and Zn were observed, different from that observed for Fe and B. The complete treatment resulted in an increase in the levels of Zn and Cu available in the 0-5 cm layer, and also affected B at all depths. The treatments containing Cu and Zn provided the increase of these nutrients in the litter. In the needles, the levels of B and Mn increased, with an inverse behavior for Zn and Cu. Thus, it can be concluded that low concentrations of Mn in the soil were contrary to the high concentrations in the needles, the application of B in coverage proved to be viable to meet the needs of the plant, and greater care should be taken in the application of Cu, Zn, Fe and Mn, due to the possibility of retention in the forest litter.

Keywords: Nutrient cycling; Macronutrients; Soil correction; Omission of nutrients.

¹ Recebido para análise em 03.09.2021. Aceito para publicação em 21.06.2022. Publicado em 13.12.2022.

² Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Avenida das Torres, 500, Bairro FAG, 85806-095, Cascavel, Paraná, Brasil.

³ Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – UNICENTRO, Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez, 84505-677, Irati, Paraná, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Rua Glória, Patrimônio, 38412-160, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

⁵ Universidade Federal do Paraná – UFPR, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê, 80035-050, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁶ Universidade Federal do Paraná – UFPR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola e Programa Pós-Graduação em Ciência do Solo, Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê, 80035-050, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁷ Autor para correspondência: mvbassaco@unicentro.br

1 INTRODUÇÃO

As principais áreas de produção de *Pinus* no estado do Paraná estão localizadas em regiões caracterizadas por solos arenosos, ácidos, com baixa saturação por bases e altos níveis de Al trocável (Rodríguez et al., 2018). Estas condições de baixa fertilidade são consideradas restritivas para a maioria dos cultivos agrícolas, inclusive para espécies consideradas de baixa exigência nutricional, como o gênero *Pinus*. Consequentemente, a ocorrência de sintomas de deficiência nas acículas e o pequeno desenvolvimento da planta reforçam a necessidade de investigação sobre correção e reposição de nutriente no solo (Batista et al., 2015).

À medida que os empreendimentos florestais vêm sendo implantados em solos de baixa fertilidade natural e sem reposição dos nutrientes exportados quando da colheita, cresce a importância de estudos a respeito das exigências de micronutrientes pelo *Pinus* (Vogel e Jokela, 2011; Consalter et al., 2021). Dessa maneira, a diagnose apurada das deficiências nutricionais em um determinado sistema solo-planta é o pré-requisito essencial para a adequada correção do solo.

A importância dos micronutrientes no crescimento do *Pinus taeda* vem sendo reportado em diversos estudos (Reissmann e Wisniewski, 2005; Dedecek et al., 2008; Motta et al., 2014). No Brasil, Dedecek et al. (2008) constataram relação inversa e direta entre crescimento do *Pinus* com concentração de Fe e Zn nas acículas indicando excesso e carência deles, respectivamente. Ainda, o aumento do crescimento de *Pinus* sp. associado ao decréscimo na concentração de Mn no tecido foliar quando da aplicação de resíduo, apontando para efeito negativo em crescimento quando em excesso (Sass et al., 2020). Nos Estados Unidos, baixos níveis de B foram reportados por Syper (2006) para tecido foliar em plantio no estado do Alabama, Vogel e Jokela (2011) constataram tendência positiva de crescimento para B e resposta positiva para o uso de Cu em solos arenosos da Florida. Ainda, Carlson et al. (2014) recomendaram apenas o uso dos micronutrientes Fe, Mn, Zn, Cu, B e Mo em *P. taeda* plantado em solos arenosos de origem marinha, em função da resposta positiva ao seu uso combinado.

Neste sentido, estudos que contemplam dados nutricionais no sistema solo-planta em florestas plantadas ainda são escassos, principalmente em relação aos micronutrientes e sua correta diagnose nutricional. Contudo, algumas aproximações são feitas para indicar valores de referência. No Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná

(Pauletti e Motta, 2017) está indicado para o solo valores médios em mg dm^{-3} de 0,6 - 0,8 para Cu, 0,9 - 1,2 para Zn, 0,21 - 0,3 para B e 16 - 30 para Mn, porém não é específico para as exigências do *Pinus* sp. Por outro lado, os teores foliares ideais para o *Pinus* sp. em mg kg^{-1} : de 5 - 7 para Cu, 20 - 80 para Zn, 15 - 30 para B, 200 - 350 para Mn e 100 - 160 para Fe. Gonçalves (1995) estabelece valores de deficiência próximos ao estabelecido no Paraná, com exceção para o Mn que tem limite superior a 600 mg kg^{-1} .

O compartimento da serapilheira exerce função essencial no suprimento e na ciclagem de nutrientes. Valores expressivos foram encontrados no sul do Brasil em plantios de *P. taeda* entre 5 a 8 anos de idade, com deposição de serapilheira na ordem de 4,5 a 7,0 $\text{mg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (Viera e Schumacher, 2010; Piovesan et al., 2012). Um estoque de micronutrientes em g ha^{-1} de 684 - 985 Fe, 523 - 1510 Mn, 37 - 52 Cu, 52 - 88 Zn e 142 - 173 B foi criado, sendo os primeiros valores para solos de textura arenosa e os últimos para argilosa (Reissmann e Wisniewski, 2005).

Porém, o esgotamento do solo vem tornando a aplicação de corretivos e fertilizantes uma prática frequente. As melhores respostas têm sido observadas anos após o plantio, chamado “mid-rotation” (Albaugh et al., 2007; Carlson et al., 2014). Deste modo, a aplicação dos adubos e corretivos em cobertura sobre a serapilheira pode afetar a composição dela, ocorrendo grande aumento de Ca e Mg com a aplicação de calcário sob a serapilheira (Batista et al., 2015). Outro fator é que as frações orgânicas da serapilheira possuem capacidade de afetar a mobilidade e a absorção de Fe, Mn, Cu e Zn (Xue et al., 2015; Bravo et al., 2017; Rosas-Patiño et al., 2017).

Diante do exposto este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do uso de fertilizantes e corretivos em floresta estabelecida, relacionando os efeitos nos teores de micronutrientes presentes no solo, acícula e serapilheira em dois plantios florestais de *Pinus taeda* no sul do Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo

As áreas experimentais correspondem a dois plantios comerciais de *Pinus taeda*, localizados nos municípios de Jaguariaíva e Arapoti, no Paraná. Os tratamentos experimentais foram instalados quando esses povoamentos contavam com cinco anos de implantação. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é Cfa e Cfb, subtropical

úmido em transição para temperado. A temperatura média é de 17°C a 18°C, com ocorrência de 12 geadas na média por ano, e a precipitação média anual é de 1.500 mm (Alvares et al., 2013). Os solos foram classificados como Cambissolo Háplico Distrófico no sítio de Jaguariaíva, PR, e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico no sítio de Arapoti,

PR. Para a caracterização de propriedades químicas e físicas dos solos das áreas experimentais realizou-se coletas de amostras, as quais foram analisadas de acordo com as metodologias descritas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2009). Os resultados das análises estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Principais atributos dos solos de *Pinus taeda* nos sítios de Jaguariaíva e Arapoti, PR.

Table 1. Main soil attributes of *Pinus taeda* stand at Jaguariaíva and Arapoti sites, PR.

Jaguariaíva, PR															
Profundidade	pH	pH	pH	H + Al	Al ³⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K	T	V	MO	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	H ₂ O	CaCl ₂	SMP	-----cmol _c dm ⁻³ -----					---%---			-----g kg ⁻¹ -----			
0-5 cm	4,3	3,0	5,1	10,7	2,6	0,2	0,2	0,03	11,1	4,3	6,2	500	111	315	75,0
5 -10 cm	4,5	3,4	5,6	7,1	2,0	0,2	0,2	0,03	7,6	6,7	2,9	654	200	76	70
10-20 cm	4,7	3,7	5,9	5,7	1,7	0,2	0,2	0,02	6,1	7,3	2,9	633	219	73,9	75
20-40 cm	4,7	3,7	6,1	5,8	1,6	0,2	0,2	0,00	6,2	7,1	2,4	658	180	74,9	87,5
40-60 cm	4,7	3,8	5,8	5,9	1,6	0,2	0,2	0,00	6,3	6,3	1,9	623	149	139	88,7
Arapoti, PR															
0-5 cm	4,2	3,2	5,3	8,7	2,4	0,1	0,1	0,04	8,9	2,9	2,9	587	114	72,0	226
5-10 cm	4,2	3,4	5,7	6,6	1,9	0,1	0,0	0,03	6,7	2,2	1,9	633	122	37,0	207
10-20 cm	4,4	3,7	6,5	3,4	0,9	0,2	0,0	0,00	3,6	6,3	1,3	609	128	23,0	239
20-40 cm	4,5	3,8	6,7	3,0	0,9	0,1	0,0	0,06	3,2	5,5	1,3	608	102	51,0	238
40-60 cm	4,5	3,9	6,7	3,0	1,0	0,1	0,0	0,06	3,2	5,7	1,2	564	109	77,0	250

2.2 Tratamentos estudados e delineamento experimental

As mudas das duas áreas foram plantadas em 2003, sem a aplicação de fertilizantes e corretivos e em segunda rotação com *P. taeda*. Na primavera de 2008, uma área de 12.000 m² foi demarcada em cada sítio e os galhos até 2 m de altura foram podados manualmente, com a manutenção dos resíduos sobre o solo. Nestas áreas foram montados os experimentos com delineamento estatístico em blocos ao acaso, com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 parcelas. Os blocos foram dispostos perpendicularmente à declividade do relevo, assim as parcelas presentes no mesmo bloco estavam na mesma cota altimétrica para reduzir a variação das parcelas dentro dos blocos.

Cada parcela possuía 384 m², com espaçamento de 3 metros entre linhas e 2 metros entre plantas, totalizando 64 árvores por parcela. Foram consideradas e avaliadas como úteis as 16 árvores centrais, excluindo as árvores de bordadura. Com o

objetivo de identificar quais os nutrientes mais limitantes, os tratamentos foram estabelecidos com base na omissão dos elementos (diagnose por subtração), conforme a Tabela 2.

Em novembro de 2008 e fevereiro de 2010, fertilizantes e corretivo foram aplicados manualmente em área total com doses equivalentes a 40 kg de N, 60 kg de P₂O₅, 80 kg de K₂O, 3 kg de Zn, 2 kg de B e 1,5 de Cu kg por hectare, definidas com base no Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004). As fontes utilizadas para fornecimento dos nutrientes foram ureia, superfosfato triplo, cloreto de potássio, sulfato de zinco, ulexita e sulfato de cobre. Também foi adicionado Mo na dose de 20 g.ha⁻¹ como molibdato de sódio. A dose de 1.300 kg.ha⁻¹ de calcário dolomítico (28,9% de CaO e 19,9% de MgO e PRNT de 89,5%) foi estabelecida a fim de disponibilizar 268,3 kg de Ca e 156 kg de Mg para as plantas.

Tabela 2. Distribuição dos tratamentos utilizando a técnica de diagnose por subtração em ambos os sítios (Jaguariaíva e Arapoti).

Table 2. Distribution of treatments using the subtraction diagnosis technique in both Jaguariaíva and Arapoti sites.

Tratamentos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	B	Mo	Calcário
T1: Completo	x	x	x	x	x	x	x	x
T2: Menos Macro	-	-	-	x	x	x	x	x
T3: Menos Micro	x	x	x	-	-	-	-	x
T4: Menos K	x	x	-	x	x	x	x	x
T5: Menos Zn	x	x	x	-	x	x	x	x
T6: Menos calcário	x	x	x	x	x	x	x	-
T7: Testemunha	-	-	-	-	-	-	-	-

Legenda: x, elementos aplicados no tratamento; - elementos subtraídos do tratamento.

Legend: x, elements applied in the treatment; - elements subtracted from treatment.

2.3. Amostragem e análise química do solo

Em agosto de 2010 as amostras de solo foram coletadas em cinco profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, utilizando quatro repetições (nas quatro linhas centrais das dezesseis árvores centrais). Estas foram utilizadas para determinação dos elementos químicos do solo: Cu, Mn, Fe e Zn e análises granulométricas, seguindo-se a metodologia preconizada pela EMBRAPA (2009), e B, conforme Rajj et al. (2001).

2.4 Amostragem e análise química das acículas e serapilheira

Para a análise foliar, foi utilizada a metodologia descrita por Batista et al. (2015) que consiste em coletar acículas das cinco árvores com maior DAP. As acículas coletadas são separadas em primeiro e segundo lançamentos, nos anos de 2009 e 2010, como também do pendão em 2010 localizados no segundo verticilo do terço superior da copa, com exposição face norte.

Em cada tratamento foram realizadas as coletas das camadas da serapilheira ou litter (L), dividindo as amostras em Ln e Lv, onde: Ln ou litter novo é composto pelas acículas recém caídas e Lv ou litter velho alterado é composto pelas acículas em início de decomposição. Esta coleta ocorreu simultaneamente à amostragem de solo nos mesmos quatro pontos, cortados com o auxílio de uma lâmina, retirando-se uma superfície de 0,25 m x 0,25 m marcada por um gabarito.

As amostras de acículas foram lavadas com água deionizada, posteriormente, em conjunto com amostras de serapilheira (Ln, Lv), seguiram para a estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 60°C até atingirem o peso constante. Prontamente

foram moídas em moinho tipo Wiley e posteriormente levadas para a digestão.

Para a determinação dos elementos Fe, Zn, Cu e Mn procedeu-se a digestão das acículas por via seca a 500°C. Posteriormente foram solubilizadas em HCl 3 mol L⁻¹, de acordo com Martins e Reissmann (2007), com a determinação feita por espectrofotometria de absorção atômica. Para B a metodologia seguida foi conforme Bataglia et al. (1983), e determinada com Azometina-H a 420 nm por colorimetria, apenas para os tratamentos completo, menos micro e testemunha.

2.5 Análise estatística

Os valores encontrados para as variáveis medidas foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias (Barlett). Com a confirmação desta condição foram então submetidos à Análise de Variâncias e, encontrada diferença estatística entre os tratamentos, estes foram submetidos ao teste de médias (Duncan). Estas análises foram realizadas por meio do programa Estatística, versão 5.5. Os tratamentos também foram comparados ao tratamento completo para as acículas e serapilheira, e o solo comparado com a primeira profundidade (0-5 cm). As diferenças foram consideradas significativas quando o valor-p foi inferior ou igual a 0,05.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teores de micronutrientes disponíveis no solo

Os teores disponíveis dos micronutrientes Zn e Mn da testemunha indicam níveis muito baixos, menores do que 0,4 e 5 mg kg⁻¹, respectivamente (Pauletti e Motta, 2017) (Tabela 3). Já os teores de

Cu mostraram baixo e médio teores, 0,2-0,5 e 0,6-0,8 mg kg⁻¹, respectivamente, para Jaguariaíva e Arapoti, indicando variação quanto ao material de origem (Tabela 3). Em contraste, os níveis de B foram elevados em ambos os solos. Os teores observados na testemunha também apontam para aumento de Mn em profundidade para ambos os solos e decréscimo de Fe em profundidade para Jaguariaíva (Tabela 3).

Confirmando os baixos teores de Zn e Cu, Lopes (1984) constatou como mediana de 518 amostras de solo do Cerrado os valores de 0,6; 0,6; 7,6 e 32,5 mg kg⁻¹ para Zn, Cu, Mn e Fe, respectivamente. Vendrame et al. (2007) estudando solos sob pastagens no Cerrado, obtiveram 0,83; 0,97; 5,47 e 29,67 mg kg⁻¹ para Zn, Cu, Mn e Fe, respectivamente. Ainda, baixos teores de Zn e Mn foram observados, carência comum em solos intemperizados do Cerrado (Rodrigues et al., 2012; Zonta et al., 2014).

O aumento de Mn em profundidade possivelmente está relacionado à maior umidade das camadas inferiores do solo. Em geral, maiores valores de Mn disponível têm sido observados na camada superior em função da matéria orgânica (Barcellos et al., 2015).

A aplicação de Cu resultou em aumento na disponibilidade para o solo de Jaguariaíva, concentrada na camada de 0-5 cm de profundidade (Tabela 3). Para o solo de Arapoti o efeito também foi evidenciado na camada de 0-5 cm de modo isolado quando da omissão de Zn. É importante destacar que a quantidade de Cu aplicada deveria ser suficiente para elevação dos teores de ambos os solos. A concentração do efeito aos primeiros 5 cm pode estar relacionada com a força de adsorção com fração orgânica e mineral do solo (Hernandez-Soriano et al., 2013). Ou seja, a adsorção específica diminuiu a capacidade do extrator ácido de recuperar o Cu fortemente adsorvido. Devemos considerar ainda a possibilidade de que parte significativa de Cu pode ter sido retido junto a serapilheira.

Diferente do Cu, o efeito da aplicação do Zn sobre os teores disponíveis foi observado em ambos os solos e nas camadas inferiores avaliadas, principalmente para solo com baixo teor de argila – sítio de Jaguariaíva. Deve-se considerar que o Zn foi aplicado em maior quantidade que o Cu e que a força de adsorção de Zn com fração mineral (Motta et al., 2007) e orgânica (Kerndorff e Schnitzer, 1980) é muito inferior em relação ao Cu. Em função desta característica, menos Zn deve ter sido retido pela serapilheira e mais chegou ao solo, em comparação ao Cu. A omissão de calcário resultou em maiores valores de Zn nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade, confirmando a diminuição da adsorção e aumento da disponibilidade em função da maior acidez (Motta et al., 2007).

Contudo, menores valores de Zn foram obtidos quando da omissão de macronutrientes em relação ao tratamento completo, o que não era esperado, uma vez que, a ausência de P poderia diminuir a precipitação com o Zn (Motta et al., 2007).

A adição de calcário e/ou macro e micronutrientes resultou em aumento de Mn disponível para o solo de Jaguariaíva, contudo as variações foram muito pequenas, mantendo os valores em níveis muito baixos segundo Pauletti e Motta (2017). A elevação da disponibilidade de Mn não era esperada uma vez que a calagem resulta em aumento da adsorção e formação de compostos pouco solúveis, o que leva a uma redução da disponibilidade de Mn como foi observado quando da omissão de calcário para a disponibilidade de Zn. É importante indicar que a interpretação da disponibilidade de Mn no solo tem grande limitação em função da ausência de calibração, condição que também se aplica ao Fe (Pauletti e Motta, 2017). Os valores de Fe extraível não sofreram alteração nos valores, embora do mesmo modo que demais micronutrientes catiônicos esperava-se decréscimo da disponibilidade com calagem. É importante acrescentar novamente que as doses de calcário aplicadas foram baixas, visto que foram estabelecidas para suprir Ca e Mg e grande parte do calcário ficou retido ou foi neutralizado na serapilheira.

Os valores de B foram fortemente influenciados pela aplicação, estendendo-se ao longo do perfil por ser um elemento de elevada mobilidade no solo e com efeito residual muito baixo (Motta et al., 2007). Deste modo, não era esperado o efeito da aplicação após dois anos, principalmente por serem solos arenosos e ácidos, fatores determinantes na baixa adsorção e alta mobilidade.

3.2. Composição dos micronutrientes nas acículas da copa

Contrastando com baixas concentrações de Mn observados no solo, nas acículas a concentração de Mn foi elevada na testemunha nos dois solos e lançamentos, estando acima da faixa preconizada de 200-350 mg kg⁻¹ (Pauletti e Motta, 2017). Confirma-se assim a baixa capacidade de predição da extração ácida para Mn (Pauletti e Motta, 2017). Os altos teores de Mn nas acículas, segundo Batista et al. (2015), podem estar relacionados com a elevada acidez (pH menor que 4), presença de serapilheira e capacidade de absorção deste nutriente pelo *Pinus*. Outros trabalhos obtiveram resultados superiores a 1000 mg kg⁻¹ no sul do Brasil (Viera e Schumacher, 2009; SASS et al., 2020), corroborando com nossos resultados. Ainda, a partir de 2663 unidades amostradas de acículas no sudeste dos Estados Unidos, Albaugh et al. (2010) constataram uma média de 344,5 mg kg⁻¹ de Mn e um valor máximo de 916 mg kg⁻¹.

SCHNEIDER, T. et al. Avaliação dos micronutrientes em floresta de *Pinus taeda*

Tabela 3. Concentrações de Cu, Fe, Mn, Zn e B no solo em diferentes profundidades no sítio de Jaguariaíva e Arapoti, PR.

Table 3. Cu, Fe, Mn, Zn and B concentrations in the soil at different depths at the Jaguariaíva and Arapoti site, PR.

Elemento	Cu (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					Cu (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR					Fe (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					Fe (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR				
	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60
Profundidade (cm)																				
Completo	2,6	0,50*	0,30**	0,33**	0,25**	1,20	1,00 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,80 ^{ns}	57,1	56,2 ^{ns}	35,2 ^{ns}	25,4 ^{ns}	19,8 ^{ns}	99,4	98,6 ^{ns}	93,6 ^{ns}	104 ^{ns}	88,2 ^{ns}
Menos Macro	1,90 ^{ns}	0,73**	0,80**	0,43**	0,4**	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,70 ^{ns}	67,3 ^{ns}	58,5 ^{ns}	51,4 ^{ns}	23,7 ^{ns}	17,3 ^{ns}	114 ^{ns}	111 ^{ns}	107 ^{ns}	99,1 ^{ns}	84,9 ^{ns}
Menos Micro	0,33**	0,43**	0,35**	0,23**	0,43**	0,70 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	54,3 ^{ns}	53,9 ^{ns}	24,8 ^{ns}	20,3 ^{ns}	24,0 ^{ns}	96,5 ^{ns}	98,3 ^{ns}	98,9 ^{ns}	105 ^{ns}	100,5 ^{ns}
Menos K	1,93 ^{ns}	0,38**	0,35**	0,33**	0,40**	1,20 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	55,2 ^{ns}	59,3 ^{ns}	22,8 ^{ns}	15,3 ^{ns}	13,3 ^{ns}	107 ^{ns}	98,6 ^{ns}	102 ^{ns}	97,2 ^{ns}	84,2 ^{ns}
Menos Zn	1,78 ^{ns}	0,58**	0,25**	0,23**	0,25**	2,10**	1,30 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,70 ^{ns}	44,9 ^{ns}	44,6 ^{ns}	38,4 ^{ns}	25,5 ^{ns}	21,1 ^{ns}	104 ^{ns}	92,1 ^{ns}	104 ^{ns}	97,4 ^{ns}	75,6 ^{ns}
Menos Calagem	1,78 ^{ns}	0,63**	0,23**	0,3**	0,33**	1,40 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	71,4 ^{ns}	72,9 ^{ns}	39,3 ^{ns}	51,4 ^{ns}	37,5 ^{ns}	86,3 ^{ns}	90,5 ^{ns}	97,7 ^{ns}	97,8 ^{ns}	91,2 ^{ns}
Testemunha	0,33**	0,43**	0,33**	0,28**	0,43**	0,60 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	64,2 ^{ns}	73,6 ^{ns}	34,0 ^{ns}	18,7 ^{ns}	18,5 ^{ns}	99,8 ^{ns}	102 ^{ns}	103 ^{ns}	102 ^{ns}	90,3 ^{ns}
Elemento	Mn (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					Mn (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR					Zn (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					Zn (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR				
	Completo	3,13	0,58*	0,63*	0,75*	1,13*	1,2	0,50 ^{ns}	0,30*	0,50 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,48	0,43**	0,23**	0,40**	0,13**	2,2	0,90*	0,30**	0,20**
Menos Macro	1,33 ^{ns}	0,38**	0,30**	0,33**	0,43**	0,30*	0,30*	0,30*	0,40*	1,20 ^{ns}	0,60**	0,28**	0,43**	0,38**	0,33**	1,30*	0,70**	0,40**	0,20**	0,30**
Menos Micro	1,65 ^{ns}	0,53**	0,30**	0,40**	0,75 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,20*	0,60 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,33**	0,28**	0,23**	0,13**	0,3**	0,30**	0,30**	0,20**	0,20**	0,20**
Menos K	2,2 ^{ns}	0,80*	0,93*	1,40 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,40**	0,10**	0,13**	0,18**	1,60 ^{ns}	1,10**	0,30**	0,30**	0,20**
Menos Zn	2,53 ^{ns}	0,85*	0,88*	0,88*	1,15*	1,20 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,30*	0,50 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,15**	0,18**	0,13**	0,18**	0,13**	0,30**	0,20**	0,40**	0,20**	0,20**
Menos Calagem	2,1 ^{ns}	0,7*	0,40*	0,53**	0,58*	0,90 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,40*	0,60 ^{ns}	1,40 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,53**	0,13**	0,18**	0,13**	3,40**	2,10 ^{ns}	0,50**	0,20**	0,40**
Testemunha	0,55 ^{ns}	0,4**	1,00*	1,10*	2,10 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,30*	0,30*	0,70 ^{ns}	1,70 ^{ns}	0,18**	0,10**	0,10**	0,18**	0,13**	0,20**	0,30**	0,20**	0,20**	0,20**
Elemento	B (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					B (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR														
	Completo	2	1,6*	1,40**	1,00**	1,10**	1,00	1,6*	1,50 ^{ns}	1,40 ^{ns}	1,50 ^{ns}									
Menos Micro	0,80**	0,60**	0,60**	0,60**	0,60**	0,90 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}										
Testemunha	0,80**	0,60**	0,70**	0,80**	0,70**	0,90 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,70 ^{ns}										

^{ns} não significativo, * significativo a 5% de probabilidade (0,01 < p ≤ 0,05), ** significativo a 1% de probabilidade (p ≤ 0,01).

^{ns} not significant, * significant at 5% probability (0,01 < p ≤ 0,05), ** significant at 1% probability (p ≤ 0,01).

Normalmente há um maior teor de Mn nas acículas do segundo lançamento comparado ao primeiro de 2009 e 2010 (Tabela 4), porém houve redução entre esses anos. As menores concentrações de Mn observadas nas acículas novas confirmam a baixa mobilidade do Mn. Sabendo que o transporte do Mn via floema é limitado, na condição de bom suprimento de Mn, as folhas acumulam Mn em função da idade, sendo uma pequena parcela do elemento translocada das folhas velhas para as novas em crescimento, onde o elemento se encontra em menor concentração (Lambers et al., 2015). É necessário avaliar outros parâmetros, como clima, que possam ter influência na concentração de Mn.

Não foi observado efeito dos tratamentos sobre a concentração foliar de Mn nas amostras coletadas em 2009, possivelmente relacionado ao pequeno intervalo de tempo entre aplicação dos tratamentos e a coleta de amostra de acícula. Já para o ano de 2010, os resultados indicam que a testemunha teve uma tendência de apresentar maiores concentrações de Mn tanto no primeiro quanto no segundo lançamento (valor-p 0,12 e 0,14 - dado não apresentado) em Jaguariáva, indicando efeito da calagem e dos nutrientes. Por outro lado, em Arapoti a omissão da calagem propiciou maiores valores de Mn na acícula do primeiro lançamento, muito próximo do observado na testemunha. Neste caso é provável que a acidez seja o fator de maior influência na disponibilidade do Mn. Apesar disto, os tratamentos com omissão de K e macronutrientes tendem a maiores valores de Mn, demonstrando a possibilidade de desbalanço nutricional no sistema solo-planta. Deve-se considerar que a aplicação de calcário foi estabelecida para suprir Ca e Mg, o que resultou em pequenas doses para elevação do pH. Ou seja, altos níveis de Mn no tecido podem estar associados a desbalanço nutricional, fato relatado em estudo com uso de resíduo de celulose (Sass et al., 2020).

Segundo Pauletti e Motta (2017) os teores de Cu foram muito baixos nos dois lançamentos das duas áreas e anos estudados, em todos os tratamentos, todos abaixo de 5 – 7 mg kg⁻¹. Logo, os resultados obtidos apontam para uma baixa eficiência de absorção de Cu pelo *Pinus*, uma vez que mesmo com doses elevadas e aumento dos teores no solo para níveis considerados altos para a camada de 0-5 cm, os valores na planta foram baixos. Vogel e Jokela (2011) constataram valores entre 2,3 e 2,7 mg kg⁻¹ na acícula de *P. taeda* em solos que apresentaram resposta positiva ao uso de Cu. Albaugh et al. (2010) realizaram um levantamento nutricional de *Pinus* utilizando grande número de amostras no sudeste do Estados Unidos, e

constataram valores medianos de 3,1 mg kg⁻¹ de Cu, considerando como faixa ideal entre 2 e 3 mg kg⁻¹. Já, Chaves e Corrêa (2003) constataram valores de 0,4 a 2,4 mg kg⁻¹ para *Pinus caribaea* em solos oxidícos no Cerrado no estado de Minas Gerais. Assim, maiores estudos são necessários para estabelecer níveis de referência para *Pinus*.

As diferenças na concentração entre o primeiro e o segundo lançamento não foram conclusivas para Cu, uma vez que variou entre ano e tratamento. Os maiores valores de Cu no pendão estão de acordo com o observado por Viera e Schumacher (2009), que encontraram maiores concentrações de Cu em tecido mais jovem, justificada pela maior mobilidade do nutriente na planta. Contudo, as acículas do 1º lançamento são mais velhas que as do 2º lançamento e não apresentaram esta variação.

Do mesmo modo que Mn, o Cu foi afetado pelos tratamentos apenas no ano 2010. O efeito dos tratamentos não foi consistente dado à variação em termo de resposta na área de Arapoti. A omissão de calcário proporcionou menores valores de Cu no primeiro lançamento, mas proporcionou maiores concentrações no segundo lançamento. Já, a omissão de Zn resultou em tendência de decréscimo no primeiro lançamento (valor-p 0,07 – dado não apresentado) e maiores valores no segundo lançamento (Tabela 4). Ainda, a testemunha apresentou os maiores valores de Cu para segundo lançamento. Contudo, a omissão de Cu resultou em menor valor numérico em ambos os lançamentos.

Em Jaguariáva, as inconsistências permaneceram, sendo que omissão de calcário determinou menores valores de Cu no primeiro lançamento e maiores valores no pendão. Ainda, maiores valores de Cu foram observados no pendão na testemunha. Corroborando com resultados aqui obtidos, Vogel e Jokela (2011) encontraram respostas positivas no volume de madeira do *P. taeda* como resultado do uso de Cu em solos da Flórida, sem aumento nos teores foliares do nutriente, permanecendo com valores baixos. Ainda, Syper (2006) e Carlson et al. (2014) também apontam para uma baixa influência de Cu aplicado ao solo sobre os teores foliares em quatro solos distintos do Sudeste do Estados Unidos.

Com relação à disponibilidade de Cu no solo, sabe-se que a presença de elevada concentração de íons metálicos como Fe, Mn e Al reduzem a disponibilidade de Cu (Dechen e Natchtigall, 2006). É possível, portanto, que os teores de Fe, definidos como teores adequados a excessivos no solo, podem ter exercido influência no comportamento do Cu.

Tabela 4. Teores de Cu, Fe, Mn, Zn e B nas acículas de *Pinus taeda* do 1º, 2º lançamento e pendão de 2009 a 2010, no sítio de Jaguariaíva e Arapoti, PR.Table 4. Contents of Cu, Fe, Mn, Zn and B in *Pinus taeda* needles of the first and second release and tassel from 2009 to 2010, at Jaguariaíva and Arapoti, PR.

Elementos (teor)	Cu (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					Cu (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR					Fe (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					Fe (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR				
	Ano	2009		2010		2009		2010		2009		2010		2009		2010				
Tratamentos/Ramo	1º Lanç	2º Lanç	1º Lanç	2º Lanç	pend.	1º Lanç	2º Lanç	1º Lanç	2º Lanç	pend.	1º Lanç	2º Lanç	1º Lanç	2º Lanç	pend.	1º Lanç	2º Lanç	1º Lanç	2º Lanç	pend.
Completo	1,75	2,00	2,99	2,00	3,74	3,50	4,00	2,49	1,25	6,24	85,7	86,2	48,7	50,7	15,5	41,9	67,0	20,9	27,4	26,9
Menos Macro	1,50 ^{ns}	1,75 ^{ns}	2,99 ^{ns}	2,00 ^{ns}	3,99 ^{ns}	2,20 ^{ns}	2,70 ^{ns}	2,50 ^{ns}	2,33 ^{ns}	6,99 ^{ns}	85,7 ^{ns}	95,7 ^{ns}	40,7 ^{ns}	54,4 ^{ns}	13,7 ^{ns}	42,2 ^{ns}	60,1 ^{ns}	18,5 ^{ns}	20,2 ^{ns}	26,5 ^{ns}
Menos Micro	2,01 ^{ns}	1,75 ^{ns}	2,52 ^{ns}	1,00 ^{ns}	4,25 ^{ns}	3,70 ^{ns}	2,20 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,25 ^{ns}	6,47 ^{ns}	89,1 ^{ns}	85,8 ^{ns}	39,3 ^{ns}	46,4 ^{ns}	15,2 ^{ns}	37,9 ^{ns}	43,9 ^{ns}	30,4 ^{ns}	55,8 ^{ns}	25,1 ^{ns}
Menos K	1,49 ^{ns}	1,99 ^{ns}	2,25 ^{ns}	1,49 ^{ns}	2,75 ^{ns}	2,50 ^{ns}	3,70 ^{ns}	2,25 ^{ns}	2,24 ^{ns}	6,73 ^{ns}	106 ^{ns}	111 ^{ns}	31,7 ^{ns}	45,8 ^{ns}	8,70 ^{ns}	46,9 ^{ns}	46,2 ^{ns}	26,5 ^{ns}	44,8 ^{ns}	24,9 ^{ns}
Menos Zn	1,50 ^{ns}	2,00 ^{ns}	1,75 [*]	1,00 ^{ns}	5,24 ^{ns}	3,2 ^{ns}	3,20 ^{ns}	1,49 ^{ns}	3,24 ^{**}	6,72 ^{ns}	99,2 ^{ns}	50,4 ^{ns}	34,9 ^{ns}	47,2 ^{ns}	15,7 ^{ns}	30,4 ^{ns}	50,1 ^{ns}	22,7 ^{ns}	40,4 ^{ns}	32,6 ^{ns}
Menos Calagem	2,24 ^{ns}	1,99 ^{ns}	2,00 [*]	1,50 ^{ns}	7,72 ^{**}	2,50 ^{ns}	3,50 ^{ns}	1,24 [*]	3,49 ^{**}	5,00 ^{ns}	130 ^{ns}	162 [*]	75,2 ^{ns}	65,3 ^{ns}	22,9 ^{ns}	41,7 ^{ns}	63,9 ^{ns}	39,2 ^{ns}	40,1 ^{ns}	27,5 ^{ns}
Testemunha	2,25 ^{ns}	1,5 ^{ns}	2,51 ^{ns}	1,51 ^{ns}	8,00 ^{**}	2,50 ^{ns}	2,70 ^{ns}	2,00 ^{ns}	3,98 ^{**}	6,47 ^{ns}	107 ^{ns}	119 ^{ns}	33,5 ^{ns}	53,8 ^{ns}	15,7 ^{ns}	46,9 ^{ns}	44,4 ^{ns}	32,9 ^{ns}	54,5 ^{ns}	24,9 ^{ns}
Elementos (teor)	Mn (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					Mn (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR					Zn (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					Zn (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR				
Completo	371	541	192	248	123	570	607	217	193	71,6	9,48	11,9	12,7	10,9	20,7	6,20	7,00	3,5	2,7	14,5
Menos Macro	452 ^{ns}	596 ^{ns}	234 ^{ns}	362 ^{ns}	115 ^{ns}	592 ^{ns}	674 ^{ns}	288 ^{ns}	348 ^{ns}	91,6 ^{ns}	9,96 ^{ns}	10,7 ^{ns}	5,74 [*]	10,3 ^{ns}	17,4 ^{ns}	5,50 ^{ns}	5,70 ^{ns}	3,70 ^{ns}	5,20 ^{ns}	14,7 ^{ns}
Menos Micro	390 ^{ns}	440 ^{ns}	156 ^{ns}	239 ^{ns}	91,4 ^{ns}	485 ^{ns}	513 ^{ns}	341 ^{ns}	324 ^{ns}	64,8 ^{ns}	8,3 ^{ns}	8,72 ^{ns}	6,1 ^{ns}	4,74 ^{ns}	19,9 ^{ns}	4,20 ^{ns}	4,50 ^{ns}	5,00 ^{ns}	4,00 ^{ns}	11,2 ^{ns}
Menos K	388 ^{ns}	650 ^{ns}	185 ^{ns}	332 ^{ns}	132 ^{ns}	600 ^{ns}	684 ^{ns}	288 ^{ns}	375 ^{ns}	124 ^{ns}	9,46 ^{ns}	10,3 ^{ns}	4,74 [*]	5,98 ^{ns}	20,2 ^{ns}	4,70 ^{ns}	5,50 ^{ns}	5,20 ^{ns}	7,60 [*]	14,7 ^{ns}
Menos Zn	378 ^{ns}	412 ^{ns}	128 ^{ns}	283 ^{ns}	92,7 ^{ns}	577 ^{ns}	496 ^{ns}	213 ^{ns}	100 ^{ns}	110 ^{ns}	9,75 ^{ns}	7,25 [*]	5,48 [*]	4,98 ^{ns}	13,5 ^{ns}	6,20 ^{ns}	5,50 ^{ns}	6,40 ^{ns}	3,20 ^{ns}	10,7 ^{ns}
Menos Calagem	403 ^{ns}	306 ^{ns}	149 ^{ns}	373 ^{ns}	93,6 ^{ns}	496 ^{ns}	602 ^{ns}	481 [*]	170 ^{ns}	66,9 ^{ns}	10,2 ^{ns}	11,4 ^{ns}	8,65 ^{ns}	10,5 ^{ns}	18,2 ^{ns}	5,20 ^{ns}	7,20 ^{ns}	6,20 ^{ns}	3,70 ^{ns}	9,50 ^{ns}
Testemunha	426 ^{ns}	514 ^{ns}	424 ^{ns}	605 ^{ns}	98,2 ^{ns}	593 ^{ns}	672 ^{ns}	550 ^{**}	308 ^{ns}	80,5 ^{ns}	10,2 ^{ns}	8,47 ^{ns}	3,02 ^{**}	7,81 ^{ns}	11,3 [*]	5,20 ^{ns}	4,70 ^{ns}	9,00 ^{ns}	7,00 [*]	10,2 ^{ns}
Elementos (teor)	B (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR					B (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR														
Completo	57,7	73,2	33,8	50,4	49,1	36	81,5	45,9	113	37,5										
Menos Micro	9,7 ^{**}	13,6 ^{**}	5,20 ^{**}	9,20 ^{**}	16,2 ^{**}	7,10 ^{**}	15,5 ^{**}	11,1 ^{**}	13,9 ^{**}	14,2 ^{**}										
Testemunha	9,8 ^{**}	19,5 ^{**}	4,20 ^{**}	14,1 ^{**}	31,9 ^{ns}	16,8 [*]	28,8 ^{**}	20,9 ^{**}	21,9 ^{**}	13,7 ^{**}										

^{ns} não significativo, * significativo a 5% de probabilidade (0,01 < p ≤ 0,05), ** significativo a 1% de probabilidade (p ≤ 0,01).

^{ns} not significant, * significant at 5% probability (0,01 < p ≤ 0,05), ** significant at 1% probability (p ≤ 0,01).

Em geral os valores de Zn estão próximos ou abaixo da faixa de 10-20 mg kg⁻¹ considerada adequada (Albaugh et al., 2010), principalmente para sítio de Arapoti. Este resultado está abaixo dos valores de 18 a 32 mg kg⁻¹ observado por Dedecek et al. (2008), que verificaram relação direta entre crescimento de *Pinus* sp. e teor na acícula. Ou seja, os resultados apontam para carência de Zn, em ambos os sítios, pelas análises químicas de solo e planta.

Similar ao Cu, os valores de Zn foram maiores no pendão em comparação aos observados nas acículas maduras, confirmando média mobilidade de Zn no *Pinus* sp. (Viera e Schumacher, 2009). Mas, diferente do Cu houve efeito dos tratamentos sobre a concentração de Zn já no ano de 2009 na área de Jaguariaíva (Tabela 4), tendo o 2º lançamento o menor valor em resposta à omissão do mesmo. Para o ano de 2010 (Tabela 4), a omissão de macro, micro (*valor-p* de 0,06), K e Zn mais testemunha, tiveram menores valores que o tratamento completo no 1º lançamento. Ou seja, a omissão de calcário resultou em maiores valores de Zn, o que está de acordo com maior disponibilidade de Zn em ambientes ácidos.

Em Arapoti, a concentração de Zn obtida na testemunha foi muito superior ao tratamento completo no ano de 2010 para segundo lançamento (Tabela 4), contrariando o esperado, mas acompanhando o que foi observado para o Cu. Porém, deve-se considerar que todas essas alterações nas quantidades de Zn nas acículas e nos diferentes lançamentos ficaram sempre abaixo das 20 mg kg⁻¹ do Manual de adubação e calagem do estado do Paraná (Pauletti e Motta, 2017).

Ao contrário do solo, de modo geral, os teores de Fe nas acículas foram baixos, segundo Pauletti e Motta (2017). Para a área de Jaguariaíva, nos anos 2009 e 2010, a omissão de calcário propiciou os maiores teores de Fe em todos os tecidos analisados, sendo significativo para o 2º lançamento em 2009 e 1º lançamento em 2010. Na área de Arapoti observam-se maiores teores quando da omissão de micronutrientes e testemunha. Ao contrário do Cu e Zn o pendão não mostrou nenhuma evidência de mudança.

Diferentemente ao Zn e Cu, a resposta da planta ao B aplicado foi imediata em 2009 no 1º lançamento. Além disso a adubação com B propiciou aumento do teor na planta para níveis altos, confirmando maior disponibilidade do nutriente aplicado, com possibilidade de menores doses na aplicação.

Como proposto por Gonçalves (1995), a faixa adequada de B nas acículas de *Pinus* sp. encontra-se entre 12 a 25 mg kg⁻¹, que comparados aos

nossos resultados, demonstram que os níveis deste nutriente nas acículas foram baixos. Por outro lado, valores próximos a 10 mg kg⁻¹ foram também encontrados no sudeste dos Estados Unidos (Albaugh et al., 2010; Sybert, 2006; Vogel e Jokela, 2011) e no Brasil para o gênero *Pinus* (Chaves e Corrêa, 2003). Embora em menores proporções os resultados apontam para carência de B, especialmente para o crescimento das acículas de 1º lançamento.

Os baixos teores na planta não eram esperados, uma vez que os teores no solo foram altos em ambos os solos, mesmo na ausência da aplicação. Tal fato pode estar relacionado à baixa capacidade de adsorção de B pelo solo, quando comparada com os nutrientes Cu e Zn (Stanislawski-Glubiak et al., 2015), especialmente para solos ácidos e com baixo teor de argila. Além disso, a adubação com B propiciou aumento do teor na planta para níveis altos, confirmando maior disponibilidade do nutriente aplicado, com possibilidade de menores doses na aplicação.

Esta resposta a nível foliar na cultura também foi observada por Sybert (2006) com aumento de duas a quatro vezes nas concentrações com uso de 1,7 kg ha⁻¹ de B. Carlson et al. (2014) ao aplicar micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B e Mo) no solo, somente observou efeito sobre o teor foliar de B, ao longo de 8 anos. Em contrapartida Vogel e Jokela (2011) constataram pequena influência do uso de B sobre a concentração foliar do *Pinus* em solos arenosos da Flórida. A ação do pendão como dreno de B não foi observada, sugerindo uma baixa redistribuição na planta.

3.3. Composição dos micronutrientes na serapilheira

As concentrações dos micronutrientes na serapilheira nova (Ln) e velha (Lv) podem ser observadas na área de Jaguariaíva e Arapoti na Tabela 5. As concentrações de Mn no Lv foram levemente superiores ao Ln, e a área de Arapoti apresentou mais que o dobro de Mn na serapilheira do que Jaguariaíva (Tabela 5).

Os baixos níveis de Cu nas acículas contrastam com o elevado teor de Cu no Ln, mas principalmente no Lv no tratamento completo. Similar ao teor de Cu total na acícula, os teores Zn encontrados na serapilheira foram maiores nos tratamentos onde houve aplicação do nutriente. O acúmulo de Fe na serapilheira também foi observado nas fases mais decompostas do material orgânico, em ambas as áreas. O tratamento testemunha na área de Jaguariaíva apresentou o menor teor de Fe encontrado na serapilheira (Tabela 5).

Conforme observado na planta, a concentração de B aumentou na serapilheira em função de seu fornecimento no tratamento completo. Os aumentos observados com aplicação são muito menores que o constatado para Zn e Cu.

Os maiores valores de Mn na serapilheira em relação aos demais elementos estão de acordo com teores encontrados nas acículas. Valores mais altos de Mn em acículas senescentes foi observado por Viera e Schumacher (2009). É provável que não haja perdas por meio da decomposição, visto que há aumento na concentração de Mn com envelhecimento da serapilheira, principalmente nos tratamentos que receberam corretivo. Rabel et al. (2021) constatou que uso de material alcalino aumenta a retenção de Mn na serapilheira, provavelmente em função da elevação da adsorção na matéria orgânica. Os teores de Mn obtidos encontram-se próximos ao obtido por Reissmann (1981), com valores Ln entre 300 a 500 mg kg⁻¹ e Lv entre 400 a 740 mg kg⁻¹ de Mn, não apresentando resposta aos tratamentos.

Os baixos níveis de Cu nas acículas confirmam a elevada capacidade de adsorção de Cu por compostos orgânicos, com indicação de que esta capacidade aumenta com a decomposição da serapilheira. Assim, é provável que a presença de serapilheira possa diminuir a eficiência do uso de Cu, especialmente em materiais mais humificados, com aumento dos sítios que possuem afinidade pelo nutriente. Solos pobres são, portanto, drenos do elemento em detrimento do aproveitamento pelas plantas do nutriente oferecido via adubação.

Embora tenha sido aplicado maior teor de Zn em relação ao Cu, os aumentos observados foram menores, possivelmente em decorrência da menor capacidade de adsorção do Zn nos compostos orgânicos (Kerndorff e Schnitzer, 1980; Hernandez-Soriano et al., 2013). Os valores observados na testemunha estão dentro do limite conforme Reissmann (1981) para Ln entre 9 e 20 mg kg⁻¹ e para Lv entre 10 a 30 mg kg⁻¹.

Em relação ao Fe, os teores encontrados no Ln, e Lv são baixos quando comparados ao observado por Reissmann (1981) de 225 a 365 e 1000 a 2250 mg kg⁻¹, respectivamente. Mas, estão acima do valor de 239 mg kg⁻¹ observado na serapilheira de

Pinus sp. cultivado no Rio Grande do Sul por Viera e Schumacher (2010). Deve-se considerar ainda que, a produção de ácidos orgânicos pode solubilizar altas quantidades de Fe e o nutriente pode se movimentar no sentido ascendente, aumentando seu teor na serapilheira (Jonczak, 2014). Os baixos teores no tratamento testemunha em Jaguariaíva indicam menor decomposição do material.

Os valores de B observados na serapilheira estão abaixo dos teores das acículas, sugerindo uma possível perda do nutriente por meio de lixiviação. Os aumentos observados com aplicação são muito menores que o constatado para Zn e Cu, dado provavelmente à baixa capacidade de adsorção do B em compostos orgânicos (Lana et al., 2013). Este resultado permite ainda, indicar que o B aplicado atingiu o solo, e, portanto, é viável sua aplicação superficial.

4 CONCLUSÕES

As acículas de *Pinus taeda* apresentaram altos teores de Mn, quando comparados com os baixos teores encontrados no solo, indicando possíveis mecanismos de acumulação desse nutriente pela planta.

A adubação aplicada proporcionou aumentos nos teores de B no solo. O que pode ser observado em todos os perfis estudados. Esse resultado sugere que essa adubação, a qual foi aplicada em cobertura, mostrou ser uma maneira adequada para o fornecimento desse nutriente para as plantas de *Pinus taeda*.

Os níveis de Cu e Zn nas acículas nos dois lançamentos foram baixos mesmo nos tratamentos que receberam a adubação, indicando sua influência no reduzido crescimento das árvores na região de Jaguariaíva. Sua retenção na serapilheira pode ter contribuído para a baixa eficiência da adubação nos tratamentos contendo estes dois nutrientes.

Os teores de Cu, Zn, Fe e Mn do Lv foram altos, pois, provavelmente há um maior efeito de enriquecimento relativo, indicando que a serapilheira atuou como uma barreira para esses elementos.

Tabela 5. Concentração de Cu, Fe, Mn, Zn e B na serapilheira (Ln e Lv) de *Pinus taeda* no sítio de Jaguariaíva e Arapoti, PR.Table 5. Concentration of Cu, Fe, Mn, Zn and B in *Pinus taeda* litter (Ln and Lv) at Jaguariaíva and Arapoti, PR.

Elementos (teor)	Cu (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR		Cu (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR		Fe (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR		Fe (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR	
	Ln	Lv	Ln	Lv	Ln	Lv	Ln	Lv
Tratamentos/Litter								
Completo	43,5	585	8,7	447	55,4	691	102	943
Menos Macro	168 ^{ns}	447 ^{ns}	9,20 ^{ns}	41 ^{ns}	65,2 ^{ns}	453 ^{ns}	82,9 ^{ns}	843 ^{ns}
Menos Micro	6,99 ^{ns}	18,9 ^{**}	6,20 ^{ns}	15,5 ^{**}	82,8 ^{ns}	784 ^{ns}	95,7 ^{ns}	767 ^{ns}
Menos K	41,2 ^{ns}	576 ^{ns}	10,5 ^{ns}	482 ^{ns}	54,7 ^{ns}	684 ^{ns}	61,4 ^{ns}	716 ^{ns}
Menos Zn	112 ^{ns}	506 ^{ns}	13,2 ^{ns}	451 ^{ns}	71,6 ^{ns}	653 ^{ns}	63,0 ^{ns}	664 ^{ns}
Menos Calagem	41,6 ^{ns}	651 ^{ns}	18,0 ^{ns}	385 ^{ns}	55,9 ^{ns}	419 ^{ns}	60,0 ^{ns}	771 ^{ns}
Testemunha	4,74 ^{ns}	6,49 ^{**}	4,00 ^{ns}	12,5 ^{ns}	51,7 ^{ns}	189 ^{**}	54,2 ^{ns}	762 ^{ns}
Elementos	Mn (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR		Mn (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR		Zn (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR		Zn (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR	
Completo	296	389	781	988	3,25	40,7	11,5	214
Menos Macro	358 ^{ns}	394 ^{ns}	866 ^{ns}	1017 ^{ns}	4,24 ^{ns}	30,2 ^{ns}	12,5 ^{ns}	227 ^{ns}
Menos Micro	291 ^{ns}	430 ^{ns}	765 ^{ns}	1023 ^{ns}	1,75 ^{ns}	3,24 ^{ns}	8,5 ^{ns}	20,2 ^{**}
Menos K	316 ^{ns}	410 ^{ns}	912 ^{ns}	1101 ^{ns}	2,50 ^{ns}	72,1 ^{ns}	16,7 ^{ns}	214 ^{ns}
Menos Zn	322 ^{ns}	352 ^{ns}	685 ^{ns}	1038 ^{ns}	2,00 ^{ns}	10,2 ^{ns}	8,50 ^{ns}	55,9 ^{**}
Menos Calagem	234 ^{ns}	267 ^{ns}	772 ^{ns}	921 ^{ns}	3,24 ^{ns}	58,3 ^{ns}	16,7 ^{ns}	125 ^{ns}
Testemunha	356 ^{ns}	296	754 ^{ns}	702 ^{ns}	1,50 ^{ns}	3,99 ^{ns}	6,50 ^{ns}	13,7 ^{**}
Elementos	B (mg kg ⁻¹) - Jaguariaíva, PR		B (mg kg ⁻¹) - Arapoti, PR					
Completo	18,2	23,1	34,3	15,4				
Menos Micro	3,30 ^{**}	6,00 ^{**}	5,70 ^{**}	6,50 ^{**}				
Testemunha	4,50 ^{**}	1,90 ^{**}	7,70 ^{**}	7,00 ^{**}				

^{ns} não significativo, * significativo a 5% de probabilidade (0,01 < p ≤ 0,05), ** significativo a 1% de probabilidade (p ≤ 0,01).

^{ns} not significant, * significant at 5% probability (0,01 < p ≤ 0,05), ** significant at 1% probability (p ≤ 0,01).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBAUGH, T.J.; ALLEN, H.L.; FOX, T.R. Historical patterns of forest fertilization in the southeastern United States from 1969 to 2004. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 31, n. 3, p. 129-137, 2007.
- ALBAUGH, J.M. et al. Characterization of foliar macro-and micronutrient concentrations and ratios in Loblolly Pine plantations in the Southeastern United States. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 34, n. 2, p. 53-64, 2010. <https://doi.org/10.1093/sjaf/34.2.53>.
- ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- BARCELLOS, M. et al. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovinos e fertilizantes minerais. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 3, p. 263-273. 2015. doi:10.14295/CS.v6i3.527
- BATAGLIA, O.C. et al. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).
- BATISTA, A.H. et al. Liming and fertilization in *Pinus taeda* plantations with severe nutrient deficiency in savanna soils. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 1, p. 117-125, 2015. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v37i1.18061>
- BRAVO, S. et al. Influence of the soil pH in the uptake and bioaccumulation of heavy metals (Fe, Zn, Cu, Pb and Mn) and other elements (Ca, K, Al, Sr and Ba) in vine leaves, Castilla-La Mancha (Spain). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 174, p. 79-83. 2017. doi: 10.1016/j.gexplo.2015.12.012.
- CARLSON, C.A. et al. Growth Responses of Loblolly Pine in the Southeast United States to Midrotation Applications of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, and Micronutrients. **Forest Science**, v. 60, n. 1, p. 157-169, 2014.
- CHAVES, R.Q.; CORRÊA, G.F. Micronutrientes no sistema solo - *Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte das plantas. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 769-778, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600003>.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004, 400 p.
- CONSALTER, R. et al. Mid-rotation fertilization and liming effects on nutrient dynamics of *Pinus taeda* L. in subtropical Brazil. **European Journal of Forest Research**, v. 140, n. 1, p. 19-35, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01305-4>
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.
- DEDECEK, R.A. et al. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 507-516, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009, 628 p.
- GONÇALVES, J.L.M. **Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica**. Piracicaba: IPEF, 1995. 23 p. (Documentos Florestais, n. 15). Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistoricoexterno/DocumentosFlorestaisNumero15.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2021.
- HERNANDEZ-SORIANO M.C.; PEÑA, A.; MINGORANCE, M.D. Soluble metal pool as affected by soil addition with organic inputs. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 32, n. 5, p. 1027-1032, 2013. doi: 10.1002/etc.2159
- JONCZAK, J. Effect of land use on the carbon and nitrogen forms in humic horizons of Stagnic Luvisols. **Journal Elementology**, v. 9, n. 4, p. 1037-1048, 2014. <http://dx.doi.org/10.5601/jelem.2014.19.3.345>.

- KERNDORFF, H.; SCHNITZER, M. Sorption of metals on humic acid. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 44, n. 11, p. 1701–1708, 1980. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90221-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90221-5)
- LAMBERS, H. et al. Leaf manganese accumulation and phosphorus-acquisition efficiency. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 2, p.83-90, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.10.007>.
- LANA, M.C. et al. Prediction of boron adsorption on some soils of State Paraná, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 603-614, 2013. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n2p603>
- LOPES, A.S. Micronutrientes nos solos e culturas brasileiras. In: SEMINÁRIO SOBRE FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES, 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: MANAH, 1984. p. 110-141.
- MARTINS, A.P.L.; REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Revista Scientia Agraria**, v. 8, n. 1, p.1-17, 2007. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v8i1.8336>
- MOTTA, A.C.V. et al. Nutrição e adubação da cultura de *Pinus*. In: PRADO, R.M.; WADT, P.G.S. (Ed.), **Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras**. Jaboticabal: FUNEP, 2014. p. 383–426.
- _____. et al. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: UFPR. 2007. 242 p.
- PIOVESAN, G. et al. Deposição de serapilheira em povoamento de *Pinus*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n.2, p. 206–211, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000200012>
- RABEL, D.O. et al. Recycled alkaline paper waste influenced growth and structure of *Pinus taeda* L. forest. **New Forests**. v. 52, n. 2, p. 249-270. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09791-5>
- REISSMANN, C.B. **Nährelementversorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in Süd-Brasilien**. 1981. 169 f. Tese (Doktorwürde) - Albert-Ludwigs-Universität. Forstwissenschaftlichen Fakultät, Freiburg.
- REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 135-166.
- RODRIGUES, A.V. et al. Zinc Availability for eucalypt seedlings in Cerrado soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, n. 4, 2012. p. 1249-1258. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400019>
- RODRIGUEZ, D.R.O. et al. Effect of pulp and paper mill sludge on the development of 17-year-old loblolly pine (*Pinus taeda* L.) trees in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 422, p. 179-189. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.016>.
- ROSAS-PATIÑO, G.; PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR-FLORES, J.C. Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. **Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 18, n. 3, p. 529–541. 2017. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742.
- SASS, A.L. et al. Cellulosic industrial waste to enhance *Pinus taeda* nutrition and growth: a study in subtropical Brazil. **Forest Science**, v. 48, n. 126, p. 1-16. 2020. e3165. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.13>
- STANISLAWSKA-GLUBIAK, E.; KORZENIOWSKA, J.; KOCON, A. Effect of peat on the accumulation and translocation of heavy metals by maize grown in contaminated soils. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 6, p. 4706–4714. 2015. doi: 10.1007/s11356-014-3706-x
- PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná, 2017. 482 p
- RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade em de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

SYPERT, R.H. **Diagnosis of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) nutrient deficiencies by foliar methods.** 2006. 123 f. Tese (Doutorado em Floresta) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

VENDRAME, P.R.S. et al. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária**, v. 42, n. 6, p. 859-864, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600013>.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e pluviosidade. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 85-94, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000100010>.

_____.; SCHUMACHER, M.V. Concentração e retranslocação de nutrientes em 76 acículas de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 37-382, 2009.

VOGEL, J.G.; JOKELA, E.J. Micronutrient limitations in two managed southern pine stands planted on Florida Spodosols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 3, p. 1117-1124, 2011. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0312>

XUE, J. et al. Ecological impacts of long-term application of biosolids to a radiata pine plantation. **Science of the Total Environment**, v. 530-531, p. 233-240, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.096>.

ZONTA, J.H. et al. Spatial variability of soil fertility in cultivated area of cotton in Brazilian Savannah. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 595-602. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000600005>.