

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ARAÍNA HULMANN BATISTA

INFLUÊNCIA DA CALAGEM E ADUBAÇÃO NA ACIDEZ DO  
SOLO E CICLAGEM DE  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  E  $Mg^{2+}$  EM PLANTIOS DE *Pinus*  
*taeda* L. NO PÓLO FLORESTAL DE JAGUARIAÍVA-PR

CURITIBA  
2011

**ARAÍNA HULMANN BATISTA**

---

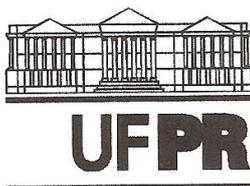
**INFLUÊNCIA DA CALAGEM E ADUBAÇÃO NA ACIDEZ DO SOLO E CICLAGEM DE  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  E  $Mg^{2+}$  EM PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. NO PÓLO FLORESTAL DE JAGUARIAÍVA-PR**

---

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração em Química e Fertilidade do Solo – Linha de pesquisa: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Paraná.

**Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta**

**CURITIBA  
2011**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)  
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648  
Página: [www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/](http://www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/)  
E-mail: [pgcsolo@ufpr.br](mailto:pgcsolo@ufpr.br)

## PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ARAÍNA HULMANN BATISTA**, sob o título: "**Influência da calagem e adubação na acidez do solo e ciclagem de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  em plantios de *Pinus taeda* L. no pólo florestal de Jaguariaíva-PR**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "**Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas**".

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 08 de julho de 2011.

Prof. Dr. Antonio Carlos Vargas Motta, Presidente

Engenheiro Agrônomo Dr. Itamar Antonio Bognola, Iº. Examinador

Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes, IIº. Examinador

*“Não são as plantas daninhas que sufocam os grãos,  
mas a negligência do cultivador.”*

**Confúcio**

*Ao meu querido filho Renan, pelas alegrias, imensurável amor e ternura, razão de meu viver,*

*Aos meus pais Olívio e Mirian, pelo apoio, sabedoria, paciência e confiança depositadas em mim,*

*Às minhas amadas irmãs Janaína e Anauyla, cheias de incentivo, amizade e carinho,*

*Ao meu grande amor Vander pelo afeto e cuidados dispensados.*

*Dedico.*

*Ao meu querido mestre e amigo Jesus, inspiração e fortaleza em todos os momentos.*

*Ofereço.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me concedido a vida, os sonhos e a força para realizá-los.

A Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao professor Dr. Antônio Carlos Vargas Motta, pelo cuidado em ensinar e orientar com paciência, pelo grande exemplo de ser humano, professor e amigo valoroso com quem cresci não somente como profissional, mas como pessoa.

Ao professor Dr. Carlos Bruno Reissmann, pela orientação, auxílio nas dificuldades e ensinamentos concedidos, por dirigir com cuidado nossa Kombi “Carolina”, meu querido professor e amigo, jamais esquecerei este período de minha vida.

A empresa Valor Florestal pelo apoio técnico e financeiro ao projeto, especialmente ao técnico Antônio pelas horas de auxílio ao nosso trabalho.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, especialmente aos professores Volnei e Valmiqui que me proporcionaram a prática do ensino e exemplos de amizade e trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, em especial ao Gerson e aos técnicos Aldair, Roberto, Maria e Elda.

Aos meus familiares, que sempre me incentivaram com palavras de coragem e pelo apoio durante todo este caminho.

A todos os amigos do curso ou não, que estiveram ao meu lado por curtos ou longos momentos, e que assim como eu, sempre acreditaram no valor da amizade. Em especial aos amigos Thays, Julian, Izabel, Jairo, Lorena, Thiago, Daniel Carvalho, Daniel Pontoni, Jessé e Jana, amigos que guardarei para sempre, e que me encheram de alegria durante todo este percurso.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	8
SUMMARY.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1 Caracterização da área.....	12
2.2 Delineamento experimental.....	13
2.3 Amostragem e análise de solo.....	15
2.4 Amostragem e análise do litter.....	15
2.5 Amostragem e análise de planta.....	16
2.6 Análise estatística.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
3.1 Influência da calagem e adubação no pH e nos teores de $Al^{3+}$ do solo.....	17
3.2 Efeito da calagem e adubação nos teores trocáveis de $K^+$ , $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ no solo.....	20
3.3 Distribuição de $K^+$ , $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ no litter (Ln e Lv) em resposta à calagem e adubação.....	25
3.4 Efeito dos tratamentos na concentração de $K^+$ , $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ nas acículas do primeiro e segundo lançamentos nos anos de 2009 e 2010 e pendão no ano de 2010.....	28
4. CONCLUSÕES.....	36
5. LITERATURA CITADA.....	36

# INFLUÊNCIA DA CALAGEM E ADUBAÇÃO NA ACIDEZ DO SOLO E CICLAGEM DE $K^+$ , $Ca^{2+}$ E $Mg^{2+}$ EM PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. NO PÓLO FLORESTAL DE JAGUARIAÍVA-PR

## RESUMO

Elevada acidez e baixa disponibilidade de bases trocáveis provavelmente sejam os fatores responsáveis pela ocorrência de sintomas de severa deficiência nutricional e baixa produtividade em extensas áreas de plantio de *Pinus taeda* L. no pólo florestal de Jaguariaíva, PR. Objetivando-se contribuir para o adequado diagnóstico da área afetada e estabelecer possíveis medidas de recuperação, avaliou-se o efeito da calagem e adubação superficial no pH e teores trocáveis de  $Al^{3+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  no solo de duas áreas sob plantio de *Pinus taeda* com cinco anos de idade. Foram avaliados ainda os teores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  no litter e acículas das árvores. Sete tratamentos foram utilizados: (i) Completo (N, P, K, Zn, Cu, B, Mo e calcário); (ii) omissão de N, P e K; (iii) omissão de Zn, Cu, B e Mo; (iv) omissão de K; (v) omissão de Zn; (vi) omissão de calcário; (vii) testemunha. Os fertilizantes e o calcário foram aplicados manualmente em duas vezes, a primeira em outubro de 2008 e a segunda em janeiro de 2010. As amostras de solo foram coletadas em agosto de 2010 em cinco profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 cm, para análise de pH em  $CaCl_2$  e  $Al^{3+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocáveis. A coleta do litter ocorreu simultaneamente ao solo, dividindo-os em litter novo (Ln) e litter alterado (Lv) para análise dos teores totais de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Com este mesmo objetivo foram coletadas as acículas do primeiro e segundo lançamentos em novembro de 2009 e novembro de 2010, e neste último ano também acículas do pendão. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Duncan a 5% de probabilidade. O uso do corretivo proporcionou aumento no pH,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e decréscimo de  $Al^{3+}$  e saturação por Al até 10 cm de profundidade. Houve diferença para o  $K^+$  até 40 cm de profundidade na área II e 20 cm na área I. Altos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram observados no Lv, sugerindo que houve retenção dos dois elementos pela serapilheira. Os teores de  $K^+$  no litter e acículas demonstraram que houve absorção pelas árvores de parte do  $K^+$  adicionado ao solo. Em contrapartida, a baixa mobilidade do  $Ca^{2+}$  favoreceu pequena absorção deste nutriente pelas plantas com comportamento similar observado para o  $Mg^{2+}$ . Os dois cátions tiveram sua absorção reduzida na presença do  $K^+$ , demonstrando efeito antagônico entre eles e destacando a importância da calibração das doses de corretivos e fertilizantes fornecidas para plantios florestais.

**Palavras-chave:** Deficiência nutricional, serapilheira, reflorestamento, reação do solo.

**SUMMARY: INFLUENCE OF LIMING AND FERTILIZATION ON SOIL ACIDITY AND  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  E  $Mg^{2+}$  CYCLING IN PLANTATIONS OF *Pinus taeda* L. IN POLE FOREST IN JAGUARIAÍVA-PR**

*High acidity and low availability of exchangeable bases are probably the factors responsible for the occurrence of symptoms of severe nutritional deficiency and low productivity in large areas under commercial cultivation of *Pinus taeda* L. pole forest Jaguariaíva, PR. Aiming to contribute to adequate diagnosis of the affected area and establish possible measures of recovery, were evaluated the effect of liming and fertilization on the surface acidity and exchangeable levels of  $Al^{3+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  in the soil in two areas under cultivation of *Pinus taeda* with five years of age. We also evaluated the  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  in the litter and needles of trees. Seven treatments were used: (i) Complete (N, P, K, Zn, Cu, B, Mo and lime), (ii) without N, P and K, (iii) without Zn, Cu, B and Mo, (iv) without K (v) without Zn, (vi) without lime, (vii) control. Fertilizer and lime were applied manually on two occasions, first in October 2008 and the second in January 2010. Soil samples were collected in August 2010 at five depths 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 cm, for analysis of pH in  $CaCl_2$  and exchangeable  $Al^{3+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$ . The sampling of litter to the soil occurred simultaneously, dividing them into new litter (Ln) and litter aged old (Lv) for analysis of total  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$ . With the same goal were sampled the needles the first and second releases in November 2009 and November 2010, and in this last year also tassel needles. The results were submitted to ANOVA and Duncan test at 5% of probability. The use of correction provided an increase in pH,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  and decreased  $Al^{3+}$  and Al saturation up to 10 cm deep. There was a difference for  $K^+$  up to 40 cm depth in area II and 20 cm in area I. High levels of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  were found in Lv, which suggests that there was retention of this two elements from litter. The  $K^+$  contents in needles and litter showed that there was absorption by trees of  $K^+$  added to soil. In contrast, the low mobility of  $Ca^{2+}$  favored small nutrient absorption by plants with similar behavior observed for  $Mg^{2+}$ . The two cations have reduced absorption in the presence of  $K^+$ , demonstrating an antagonistic effect among them and emphasizing the importance of calibration of the doses of lime and fertilizer provided to forest plantations.*

**Index term:** *Nutritional deficiency, reforestation, litter, soil reaction.*

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início do plantio de florestas de *Pinus* sp. no Brasil, o seu rápido crescimento e a ausência de sintomas de deficiência levaram à ideia de que estas espécies dispensariam maiores cuidados com calagem e fertilização (Reissmann e Zöttl, 1987; Reissmann e Wisniewski, 2004; Ferreira et al., 2001). A grande extensão de áreas plantadas ocorreu em uma variação muito ampla de classes de solo e clima, e as regiões de cerrado têm sido intensamente exploradas para estes plantios. Por apresentarem solos muito ácidos e baixos

teores de bases trocáveis, torna-se relevante a adição de corretivos e fertilizantes. Todavia, a evolução das pesquisas científicas não tem acompanhado o aumento das áreas reflorestadas, ocasionando falta de informações básicas sobre a nutrição das florestas plantadas nas diferentes regiões do país.

Os efeitos negativos de manejos inadequados do solo em áreas de plantios florestais no Brasil têm sido investigados, recentemente, por alguns autores (Reissmann e Zöttl, 1987; Santos Filho e Rocha, 1987; Garicoits, 1990; Lilienfein et al., 2000; Rodrigues, 2004; Chaves e Correa, 2005). Entretanto, poucos são os trabalhos com calagem e fertilização nestas áreas. Na década de 70 e início de 80, as pesquisas referentes à adubação florestal no Brasil se concentravam em problemas de viveiro, sendo escassas as pesquisas dirigidas a campo (Grupo Permanente de Trabalho em Nutrição e Fertilização Florestal, 1983). Ensaio mais recentes têm mostrado que a aplicação de corretivos e fertilizantes em florestas de coníferas pode resultar em aumentos na produtividade (Ferreira et al., 2001; Rodrigues, 2004). Todavia, segundo Brito et al. (1986), árvores de *Pinus caribae* plantadas em solos que receberam calagem e adubação com macronutrientes, quando comparadas a plantas que não receberam nenhum tratamento, tiveram incremento nas produções de massa dos anéis de crescimento apenas até o terceiro ano, tendo resultado inverso quando as árvores atingiram o oitavo ano.

Ainda não existem conclusões definitivas por parte dos pesquisadores sobre a eficiência da utilização de calagem e adubação, principalmente no que diz respeito à aplicação dos nutrientes em áreas implantadas há alguns anos. A fertilização de florestas plantadas de *Pinus* é um assunto com respostas imprecisas e poucas informações, até mesmo em locais onde os estudos relacionados à nutrição florestal são realizados há mais tempo.

Países europeus como Alemanha, França e Noruega, investigavam desde as décadas de 50 e 60 as causas de redução da produtividade e deficiências nutricionais em florestas plantadas. Experimentos realizados nestes países apresentaram respostas positivas à calagem e fertilização com N, P, K no incremento da produção de madeira e diminuição dos sintomas de deficiência (Hüttl, 1989). Entretanto, segundo levantamento feito por Hüttl e Zöttl (1993), é preciso considerar diversos fatores preliminarmente à calagem e adubação, uma vez que os efeitos negativos podem superar os benéficos, entre eles a lixiviação de grandes quantidades de  $\text{NO}_3^-$ .

Verifica-se desta forma, um quadro conflitante onde o exaurimento do solo e a necessidade de recomendações de calagem e adubação se encontram dependentes de técnicas

inadequadas de diagnóstico para espécies florestais. Recomendações de adubação para *Pinus* através de análise de solo, como se faz na agricultura, podem reduzir o aproveitamento da capacidade produtiva em longo prazo. Estes resultados apenas destacam a importância da calibração dos teores de nutrientes a serem recomendados para espécies florestais plantadas em diferentes classes de solo e clima (Van Goor, 1965; Ballard e Pritchett, 1975; Ferreira et al, 2001; Crous et al. 2008; Evers e Huttl, 1990).

Neste contexto, preocupada com os aspectos nutricionais do *Pinus*, a empresa Valor Florestal, situada em Jaguariaíva, segundo planalto do Estado do Paraná, e que conta com mais de 50.000 ha de área plantada de *Pinus* sp., solicitou o presente estudo. Devido ao rápido crescimento e à excelente adaptação desta espécie ao clima subtropical, essas áreas, assim como a grande maioria no país, foram exploradas sem práticas de manejo como a calagem e adubação. O manejo do solo sem a reposição de nutrientes, fundamental para a manutenção da sustentabilidade do cultivo, se traduz atualmente em sintomas de severa deficiência nutricional, diminuição da produtividade (valores que giram em torno de  $10\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) e impacto ambiental causado pela acidificação e empobrecimento do solo.

A escassez de pesquisas no que se refere às exigências nutricionais do gênero *Pinus*, deixa uma lacuna para se estabelecer um diagnóstico preciso segundo a sintomatologia demonstrada e as reais exigências das plantas. Desta forma, encontra-se a necessidade de diagnósticos que determinem e correlacionem as condições químicas e físicas do solo às exigências da espécie, bem como a eficiência da aplicação de corretivos e fertilizantes em plantas com idade entre 4 anos e 5 anos.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a calagem e adubação superficial na acidez e dinâmica de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo, bem como, os teores dos três nutrientes no litter e acículas. O estudo foi desenvolvido em duas áreas de plantios de *Pinus taeda* nos municípios de Jaguariaíva e Arapoti, Paraná. Os solos das áreas apresentavam baixos valores de pH e teores de bases trocáveis e elevada saturação por Al. As árvores se encontravam com forte amarelecimento nas extremidades das acículas e redução no crescimento, além de algumas delas estarem mortas. Acredita-se que os resultados alcançados possam direcionar as ações para a recuperação da fertilidade do solo e das árvores, bem como, auxiliar no diagnóstico para recuperação da produtividade.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área

A pesquisa foi realizada em duas áreas de plantio comercial de *Pinus taeda* da empresa Valor Florestal, situadas nos municípios de Jaguariaíva (área I) e Arapoti (área II), no segundo planalto do Estado do Paraná. A altitude das áreas varia de 960 a 1320 m, e a formação geológica da região deriva do arenito Itararé e Furnas. A região era constituída predominantemente por vegetação de cerrado, que vem sendo gradativamente substituída por plantios florestais, agricultura e pecuária (Mello et al., 2003). As principais características químicas e físicas dos solos das áreas dos experimentos se encontram no Quadro 1.

**Quadro 1. Análise química e granulométrica de Jaguariaíva (área I) e Arapoti (área II) realizada anteriormente aos tratamentos**

	Profundidade	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	Al <sup>3+</sup>	H <sup>0</sup> + Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB <sup>2</sup>	P
Área I	0-20	3,83	4,98	2,70	10,88	0,38	0,20	0,05	0,63	6,38
	20-40	4,08	5,40	1,70	7,85	0,28	0,10	0,03	0,41	3,23
	40-60	4,10	5,53	1,60	7,13	0,25	0,10	0,03	0,38	1,93
Área II	0-20	3,85	5,65	1,25	6,45	0,15	0,06	0,03	0,24	0,38
	20-40	4,00	5,88	0,88	5,50	0,15	0,10	0,02	0,27	0,18
	40-60	4,05	5,93	0,75	5,30	0,14	0,08	0,02	0,25	0,10

	Profundidade	CTC <sup>(1)</sup> <sub>efetiva</sub>	CTC <sub>potencial</sub>	M.O. <sup>3</sup>	m <sup>4</sup>	V <sup>5</sup>	Areia	Silte	Argila	Classe textural
Área I	0-20	3,33	11,5	50	81	6	833	80	87	arenosa
	20-40	2,11	8,26	40	81	5	827	83	90	arenosa
	40-60	1,98	7,50	30	81	5	812	108	80	arenosa
Área II	0-20	1,49	6,69	30	84	4	734	26	240	média
	20-40	1,14	5,77	20	77	5	713	50	237	média
	40-60	1,00	5,55	20	75	4	684	66	250	média

<sup>(1)</sup> Capacidade de troca catiônica. <sup>(2)</sup> Soma de Bases. <sup>(3)</sup> Matéria orgânica. <sup>(4)</sup> Saturação por Al. <sup>(5)</sup> Saturação por bases.

O clima da região, segundo Köppen, varia entre subtropical (Cfa) e temperado (Cfb), com média das precipitações e temperatura anuais em torno de 1480 mm e 19° C respectivamente. Há ocorrência de geadas na região e diminuição da precipitação nos meses de inverno (Quadro 2).

**Quadro 2. Temperatura (°C) e precipitação (mm) nos anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 nas quatro estações do ano no pólo florestal de Jaguariaíva**

Ano	Estação	Temperatura Máxima <sup>(1)</sup>	Temperatura mínima <sup>(2)</sup>	Temperatura média	Precipitação
		°C			mm
2007	Verão	32	13	22	468
	Outono	31	4	17	226
	Inverno	30	4	16	215
	Primavera	33	11	20	357
2008	Verão	30	14	21	256
	Outono	27	4	16	131
	Inverno	29	4	15	305
	Primavera	31	11	20	421
2009	Verão	31	9	21	501
	Outono	27	1	17	175
	Inverno	28	7	17	603
	Primavera	37	12	22	586
2010	Verão	33	16	23	728
	Outono	29	3	17	215
	Inverno	31	7	17	192
	Primavera	32	11	20	536

<sup>(1)</sup> Temperatura máxima = média da temperatura máxima nos três meses de cada estação. <sup>(2)</sup> Temperatura mínima = média da temperatura mínima nos três meses de cada estação.

## 2.2 Delineamento experimental

Os dois talhões escolhidos possuíam no início do experimento (2008), árvores com cinco anos de idade. Em Jaguariaíva, PR, a área I se localizava em terreno com relevo ondulado e contava com espessa camada de serapilheira observada a campo. Nesta área as árvores apresentavam amarelecimento das pontas das acículas e baixo crescimento em relação às áreas com plantas de mesma idade (Figura 1). A área II se localizava em terreno irregular, com distribuição desuniforme das plantas devido à morte precoce dos pinheiros e menor crescimento em relação à área I, também com amarelecimento das acículas. Anteriormente ao plantio de *Pinus taeda*, que atualmente se encontra na segunda rotação, houve a substituição da vegetação nativa de cerrado pelo cultivo de *Eucalyptus sp.* Os cultivos das duas espécies florestais foram realizados sem calagem e adubação. As duas áreas sofreram queima após a colheita nos cultivos anteriores à rotação atual.



**Figura 1. Acículas amarelecidas e baixo crescimento em Jaguariaíva.**

O delineamento experimental escolhido para o solo foi parcela subdividida, em blocos ao acaso com sete tratamentos, cinco profundidades e quatro repetições. Para análise de litter e acículas o delineamento experimental foi em blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições. Cada parcela ou tratamento apresentava 384m<sup>2</sup> totalizando aproximadamente 1 ha para cada uma das duas áreas avaliadas. O espaçamento utilizado entre linhas e entre plantas foi de 3x2 m, e não foram consideradas as plantas de bordadura, mas apenas as 16 plantas centrais.

A primeira aplicação dos tratamentos foi realizada em outubro de 2008, e a segunda em janeiro de 2010. Os insumos utilizados referentes a 1 ha foram divididos nos dois anos, e cada aplicação foi de: 40 kg de nitrogênio (89 kg de uréia, 45% de N), 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (146 kg de superfosfato-triplo, 41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 80 kg de K<sub>2</sub>O (133 kg de KCl, 60% de K<sub>2</sub>O), 3 kg de zinco (20 kg de ZnSO<sub>4</sub>, 15% de Zn), 2 kg de boro (20 kg de ulexita, 10% de B), 2 kg de cobre (8,3 kg de CuSO<sub>4</sub>, 24% de Cu), 20 g de molibdênio (61 g de Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, 39% de Mo) e 1,3 toneladas de calcário dolomítico. Depois de distribuídos nas parcelas no campo foram aplicados manualmente a lanço em área total.

A dose de calcário foi calculada para fornecer aproximadamente cerca de 500 kg de Ca, ou seja, o equivalente à quantidade exportada pelo *Pinus* em dois ciclos. As características do calcário utilizado eram: CaO – 28,9 %, MgO – 19,9 %; PN (poder de neutralização) – 99,4 %; ER (reatividade) – 90 %; PRNT (poder relativo de neutralização total) – 89,4%.

Optou-se pela omissão de nutrientes, com o objetivo de comprovar o efeito limitante causado pela deficiência dos elementos  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  nos seguintes tratamentos:

- *Tratamento completo*: aplicação de todos os nutrientes [N, P, K, Zn, Cu, B, Mo, Ca + Mg (calcário)];
- *Tratamento menos macro*: aplicação de todos os nutrientes com omissão dos macronutrientes N, P, K;
- *Tratamento menos micro*: aplicação de todos os nutrientes com omissão de micronutrientes Zn, Cu, B e Mo;
- *Tratamento menos K*: aplicação de todos os nutrientes com omissão do K;
- *Tratamento menos zinco*: aplicação de todos os nutrientes com omissão do Zn;
- *Tratamento menos calagem*: aplicação de todos os nutrientes com omissão do calcário (Ca + Mg);
- *Tratamento testemunha*: controle, com omissão de todos os nutrientes.

### **2.3 Amostragem e análise de solo**

As amostras de solo foram coletadas nas seguintes profundidades: 0 a 5 cm; 5 a 10 cm; 10 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm. As análises químicas e físicas foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Foram processadas na terra fina seca ao ar (TFSA), segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

Os parâmetros analisados foram acidez ativa (pH  $CaCl_2$  0,01M); acidez potencial trocável extraída por KCl 1 mol  $L^{-1}$  e determinada por titulação com NaOH 0,2 mol  $L^{-1}$  ( $Al^{3+}$ );  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocáveis extraídos por KCl 1 mol  $L^{-1}$  e determinados por espectrofotometria de absorção atômica;  $K^+$  trocável extraído por Mehlich I e determinado por fotometria de chama.

### **2.4 Amostragem e análise do litter**

De cada tratamento foram realizadas as coletas das camadas L ou litter, dividindo as amostras em Ln e Lv, segundo definição de Babel (1972), onde Ln ou litter novo é composto

pelas acículas recém caídas e Lv ou litter alterado é composto pelas acículas em início de decomposição.

Dentro das parcelas foram escolhidos quatro pontos aleatoriamente, o litter então foi cortado com o auxílio de uma lâmina, retirando-se uma superfície de 0,25 m x 0,25 m marcada por um gabarito de madeira. O material foi coletado em agosto de 2010, colocado em sacos plásticos e levado para o laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

As amostras foram secas em estufa de circulação de ar a 60° C, pesadas e moídas em moinho tipo Wiley. Foram então submetidas à digestão em mufla na temperatura de 500° C e solubilizadas em solução de HCl 3 mol L<sup>-1</sup>, segundo a metodologia descrita por Martins e Reissmann (2007). Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e os teores de K<sup>+</sup> por fotometria de chama.

## **2.5 Amostragem e análise de planta**

As coletas das acículas foram realizadas em novembro de 2009 e dezembro de 2010. De cada tratamento foram selecionadas as cinco árvores dominantes, equivalentes às cem árvores com maior diâmetro à altura do peito (DAP) dentro de um hectare. Destas plantas, foram coletadas as acículas do primeiro e segundo lançamentos, e também do pendão (apenas em 2010) do segundo verticilo superior voltado à face norte.

As amostras foram lavadas com água deionizada e secas em estufa de circulação de ar a 60° C. Após secas, foram contadas 500 acículas as quais foram pesadas para se obter a média do peso de 100 acículas de cada tratamento, tanto do primeiro, quanto do segundo lançamento (FIEDLER et al., 1973). As amostras foram então moídas e submetidas às mesmas análises realizadas para o litter.

## **2.6 Análise estatística**

Os efeitos dos tratamentos foram submetidos à análise de variância com o programa Statistica e posteriormente foi aplicado o teste de Duncan para comparação entre as médias. No solo, todos os tratamentos foram comparados ao tratamento completo na primeira profundidade, e as diferenças foram consideradas significativas quando o *p-valor* foi inferior ou igual a 0,05 ou 5%. Para os resultados do litter e acículas, todos os tratamentos foram comparados ao primeiro e também considerados significativos quando *p-valor* < 0,05.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Influência da calagem e adubação no pH e nos teores de Al<sup>3+</sup> do solo

Considerando os resultados do tratamento testemunha foi possível observar que os solos das duas áreas são muito ácidos e com elevados teores de Al<sup>3+</sup>. Os valores de pH na profundidade de 0 a 5 cm foram 3,03 e 3,18, para as áreas I e II, respectivamente (Quadro 3). Segundo Embrapa (1984), os solos da região com o mesmo material de origem apresentam valor de pH KCl em torno de 4,0 (Embrapa, 1984). Assim, é possível que a acidez observada possa ter sido potencializada pelo plantio de *Eucalyptus sp.* seguido de *Pinus taeda*, atualmente na segunda geração, ambos sem adubação ou calagem.

**Quadro 3. pH CaCl<sub>2</sub>, teor de Al<sup>3+</sup> trocável e saturação por alumínio do solo em Jaguariaíva (área I) e Arapoti (área II) em cinco profundidades em resposta a aplicação de calcário e fertilizantes.**

P <sup>(1)</sup> cm	Tratamentos	pH CaCl <sub>2</sub>				Al <sup>3+</sup>				m <sup>(2)</sup>			
		I*	p <sup>(3)</sup>	II**	p	I	p	II	p	I	p	II	p
					cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					%			
0-5	Completo	4,07		3,76		0,65		1,35		11		42	
	Menos macro	4,07	0,9781	3,67	0,6842	0,63	0,9293	1,48	0,7120	14	0,6475	57	0,2493
	Menos micro	3,82	0,2382	4,09	0,1703	0,73	0,7898	0,98	0,3349	16	0,5474	34	0,4846
	Menos K	4,15	0,6907	3,75	0,9261	0,50	0,6186	1,20	0,6861	9	0,8122	49	0,5821
	Menos Zn	4,74	0,0008	3,73	0,8788	0,15	0,1069	1,38	0,9370	2	0,2603	43	0,9459
	Menos calagem	3,20	6,60E-05	2,95	0,0002	2,38	4,70E-06	2,85	0,0000	73	1,70E-05	78	0,0060
	Testemunha	3,03	5,60E-06	3,18	0,0074	2,55	4,50E-06	2,43	0,0023	86	4,50E-06	92	0,0002
5-10	Completo	3,74	0,1539	3,83	0,7768	1,35	0,0259	1,05	0,4281	44	5,20E-05	51	0,4730
	Menos macro	4,36	0,1453	3,74	0,9019	1,18	0,0792	1,30	0,8829	39	0,0003	65	0,0804
	Menos micro	3,85	0,3092	3,96	0,4011	1,40	0,0203	0,93	0,2826	48	2,00E-05	37	0,6600
	Menos K	3,80	0,2209	3,78	0,9376	1,38	0,0231	1,33	0,9370	45	4,70E-05	58	0,2218
	Menos Zn	4,05	0,9234	3,76	1,0000	1,18	0,0901	1,20	0,6794	41	0,0001	53	0,3961
	Menos calagem	3,43	0,0043	3,14	0,0044	2,18	1,10E-05	2,28	0,0083	77	1,10E-05	88	0,0008
	Testemunha	3,41	0,0033	3,44	0,1441	2,00	6,50E-05	1,88	0,1324	81	5,10E-06	92	0,0002
10-20	Completo	3,70	0,1121	3,84	0,7369	1,68	0,0024	1,05	0,4225	78	1,00E-05	77	0,0073
	Menos macro	3,72	0,1322	3,90	0,5671	1,55	0,0065	0,93	0,2836	72	1,70E-05	86	0,0013
	Menos micro	3,75	0,1562	3,94	0,4556	1,68	0,0025	0,88	0,2344	77	1,10E-05	78	0,0063
	Menos K	3,67	0,0837	3,88	0,6313	1,63	0,0035	1,00	0,3628	81	7,00E-06	86	0,0010
	Menos Zn	3,89	0,3929	3,86	0,6766	1,63	0,0036	0,93	0,2797	71	1,60E-05	84	0,0021
	Menos calagem	3,71	0,1141	3,67	0,6774	1,93	0,0002	1,23	0,7233	79	8,90E-06	90	0,0004
	Testemunha	3,66	0,0747	3,77	0,9616	1,73	0,0016	0,95	0,3056	81	7,10E-06	94	0,0001

**Quadro 3 (continuação)**

P <sup>(1)</sup>	Tratamentos	pH CaCl <sub>2</sub>				Al <sup>3+</sup>				m <sup>(2)</sup>			
		I*	p <sup>(3)</sup>	II**	P	I	P	II	P	I	P	II	P
						cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				%			
20-40	Completo	3,57	0,0298	3,91	0,5469	1,70	0,0019	0,93	0,2849	79	9,80E-06	75	0,0102
	Menos macro	3,73	0,1372	3,93	0,4944	1,65	0,0029	0,83	0,1908	80	7,90E-06	80	0,0042
	Menos micro	3,77	0,1895	3,91	0,5263	1,78	0,0009	0,90	0,2589	80	7,80E-06	79	0,0057
	Menos K	3,75	0,1551	3,89	0,5802	1,50	0,0094	0,88	0,2337	79	9,70E-06	83	0,0022
	Menos Zn	3,90	0,4006	3,89	0,5811	1,53	0,0078	0,83	0,1899	75	1,10E-05	78	0,006
	Menos calagem	3,78	0,1983	3,79	0,9030	1,80	0,0007	0,98	0,3323	79	1,00E-05	79	0,0056
	Testemunha	3,73	0,1424	3,84	0,7300	1,55	0,0068	0,90	0,2579	80	8,00E-06	87	0,0008
40-60	Completo	3,76	0,1727	3,93	0,4934	1,73	0,0016	0,88	0,2350	82	4,60E-06	78	0,0062
	Menos macro	3,80	0,2203	3,94	0,4499	1,50	0,0087	0,83	0,1903	80	7,10E-06	82	0,0027
	Menos micro	3,78	0,1970	3,78	0,9548	1,78	0,0010	0,93	0,2812	81	6,90E-06	81	0,0039
	Menos K	3,78	0,1914	3,80	0,8604	2,00	6,30E-05	0,80	0,1708	83	4,50E-06	83	0,0023
	Menos Zn	3,93	0,4797	3,93	0,4947	1,65	0,0030	0,83	0,1896	79	8,60E-06	81	0,0039
	Menos calagem	3,81	0,2299	3,85	0,7071	1,70	0,0020	0,95	0,3076	80	7,40E-06	83	0,0021
	Testemunha	3,75	0,1604	3,92	0,5197	1,60	0,0043	1,00	0,3590	81	7,00E-06	85	0,0014

<sup>(1)</sup> Profundidade; <sup>(2)</sup> Saturação por Al; <sup>(3)</sup> Significativo pelo teste de Duncan quando  $p < 0,05$ , todos os tratamentos foram comparados ao tratamento completo na profundidade de 0 a 5 cm.

Aliado ao fato da exportação dos nutrientes com a colheita e a não reposição dos nutrientes mediante práticas culturais inadequadas, alguns autores defendem a acidificação do solo pelo cultivo do *Pinus sp.* (Alexander e Cresser, 1995; Ingerslev, 1997; Lilienfein et al., 2000; Souza e Souza 1981; Brandão e Lima 2002; Pádua et al., 2006). As razões apontadas por estes autores para a maior redução no valor de pH na superfície do solo foram a presença de compostos orgânicos ácidos originados da decomposição da serapilheira na superfície e a acidificação causada pela rizosfera através da exsudação de ácidos orgânicos (Silva et al., 2002, Hedley et al., 1982).

O efeito do uso do calcário foi observado sobre o pH para as duas áreas até 10 cm de profundidade (Quadro 3). Estas diferenças demonstraram claramente o potencial da calagem superficial em corrigir a acidez do solo. Diversos autores têm relatado o efeito positivo da aplicação do calcário sobre a superfície do solo, com alterações nas camadas superficiais logo após a aplicação do corretivo, e períodos mais longos para o efeito ocorrer em profundidade (Huettl, 1989; Huettl e Zoettl, 1993; Gasho e Parker, 2001, Rosberg et al., 2006; Kaminski et al., 2005; Frank e Stuanes, 2003; Pádua et al., 2006). Ingerslev (1997) avaliou o efeito da aplicação superficial de calcário em solos arenosos sob plantios de coníferas na Noruega e

observou elevação do pH, neutralização do  $\text{Al}^{3+}$ , aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e soma de bases até 35 cm de profundidade, após oito anos da aplicação do corretivo.

Maeda et al. (2008), em solos arenosos no estado do Paraná, verificaram os efeitos da correção da acidez até 20 cm de profundidade com a aplicação superficial de cinza de biomassa vegetal no período de um ano. Entretanto, esses últimos autores utilizaram doses elevadas de material corretivo (até  $80 \text{ t ha}^{-1}$ ) muito acima da dose utilizada no presente trabalho. Segundo Huettl e Zoetl (1993), a adição de calcário em plantios de coníferas é eficiente em melhorar os atributos químicos do solo, entre eles os níveis de pH, a relação Ca/Al (Mg/Al) e redução do  $\text{Al}^{3+}$  tóxico.

As alterações promovidas no pH pela calagem foram mais expressivas na área I (aumento de 3,03 até 4,15) em relação à área II (aumento de 3,18 até 3,76). Tal fato não era esperado uma vez que os solos apresentavam valores diferentes de acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ ) que expressa o poder tamponante, com o maior valor na área I nos primeiros 20 cm de profundidade. Outras diferenças observadas entre os dois solos foram textura, arenosa para área I e média para a área II (Quadro 1), e teor de matéria orgânica ( $50 \text{ g kg}^{-1}$  na área I e  $30 \text{ g kg}^{-1}$  na área II, Quadro 1).

Acompanhando as alterações de pH, a aplicação de calcário proporcionou diminuição dos valores de Al trocável e saturação por Al nos primeiros 10 cm do solo (Quadro 3). A maior alteração no valor de  $\text{Al}^{3+}$  ocorreu no solo arenoso (área I- redução de 2,55 para  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), na camada de 0-5 cm. Assim como o  $\text{Al}^{3+}$ , a saturação por Al diminuiu com os tratamentos, partindo de valores de 86 e 92% para 2 e 34 % (áreas I e II, respectivamente).

Embora as espécies de *Pinus* sejam consideradas tolerantes ao  $\text{Al}^{3+}$  (Huettl e Zoetl, 1993; Gonçalves, 1995; Alexander e Cresser 1995), alguns estudos mostram claramente o efeito negativo do elemento no desenvolvimento das árvores. Nowak e Friend (2006) estudaram o comportamento do *Pinus taeda* em casa de vegetação e demonstraram que a toxidez provocada pela adição de 4,1 litros de  $\text{AlCl}_3$  ( $0,33 \text{ mol L}^{-1}$ , pH 2,5) reduziu a sobrevivência de mudas em 48%. Correa (2007) concluiu em estudo com *Pinus sp.*, que a correção da acidez e redução do  $\text{Al}^{3+}$  promoveu aumento no crescimento e aproveitamento de nutrientes.

### 3.2 Efeito da calagem e adubação nos teores trocáveis de $K^+$ , $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ no solo

As concentrações naturais e disponíveis dos três nutrientes nas duas áreas do experimento (Quadro 4) estavam muito abaixo dos níveis mínimos utilizados para recomendação de adubação e calagem (IAC, 1997). Houve aumento expressivo, especialmente para soma de bases (SB) (Figuras 1 e 2) e saturação por bases (Quadro 4), nos tratamentos que receberam a calagem, até 10 cm de profundidade. A fertilização sem a calagem (tratamento menos calagem), principalmente na área I, não alterou significativamente os valores de SB em relação ao tratamento testemunha. Além do efeito direto da calagem de neutralizar o Al trocável, a elevação do pH promove a desprotonação da superfície dos colóides orgânicos e minerais, fundamental para aumentar a CTC e a saturação por bases do solo.

Os baixos níveis de K disponível no tratamento testemunha refletem a pobreza do material de origem (Arenito Itararé e Furnas) em minerais primários fontes do nutriente, como micas e feldspatos. Devido à maior mobilidade do  $K^+$  no solo (menor força trocadora), houve incremento nos teores do nutriente até 40 cm ( $p < 0,05$ ) nos tratamentos com KCl na área II. Na área I o efeito da fertilização potássica foi verificado até 20 cm ( $p < 0,05$ ). Os teores, para a camada de 0-5 cm, foram de 0,03 e 0,04  $cmol_c kg^{-1}$ , para 0,17 e 0,12  $cmol_c kg^{-1}$  respectivamente nas áreas I e II.

Outros estudos reforçam a relação estreita entre as características do solo e a movimentação do nutriente (Brito et al., 2005). Frank e Stuanes (2003) obtiveram aumento nos níveis de  $K^+$  até 22 cm de profundidade em solos arenosos e com alta saturação por Al, sob cultivo de *Pinus sp.* na Noruega. Aliada à baixa reserva mineral, a textura arenosa e média dos solos das duas áreas, podem aumentar as perdas do nutriente por lixiviação.

Em contrapartida, as alterações nos teores de  $Ca^{2+}$  na área I ocorreram apenas até 5 cm de profundidade e foram superiores no tratamento completo e menos Zn (Quadro 4). Os teores de  $Ca^{2+}$  nos tratamentos menos calagem e testemunha foram inferiores aos tratamentos menos macro, menos micro e menos  $K^+$ . Comportamento similar foi observado na área II, entretanto, até 10 cm de profundidade. Contudo, em relação à testemunha, os teores de  $Ca^{2+}$  foram maiores no tratamento menos calagem, possivelmente, devido ao efeito do superfosfato triplo, com aproximadamente 10 % de Ca em sua composição  $[Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O]$ . A maior CTC da área I em relação à área II (Quadro 4), pode ter contribuído para o menor efeito do  $Ca^{2+}$  em subsuperfície, com aumento da adsorção do nutriente na camada superficial e respostas somente até 5 cm de profundidade.

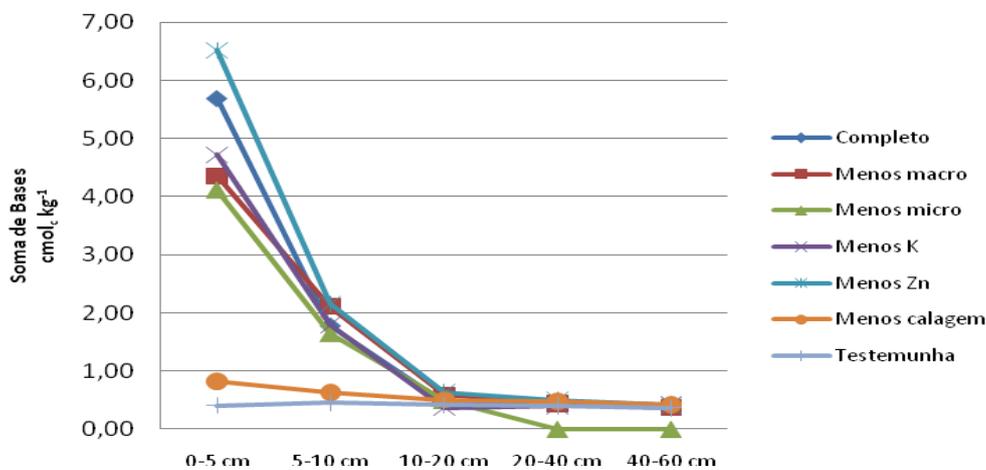
**Quadro 4. Teores de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, CTC<sub>efetiva</sub> e saturação por bases (V%) do solo em Jaguariaíva (área I) e Arapoti (área II), em cinco profundidades, em resposta a aplicação de calcário e fertilizantes.**

P <sup>(1)</sup>	Trat.	K <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>				Mg <sup>2+</sup>				CTC <sub>efetiva</sub>				V <sup>(2)</sup>					
		Área I	p	Área II	p	Área I	p	Área II	p	Área I	p	Área II	p	Área I	p	Área II	p	Área I	p	Área II	p
cm		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				%							
0-5	Completo	0,17		0,12		2,19		1,29		3,33		1,24		6,34		4,00		51		24	
	Menos macro	0,03	0,0004	0,04	0,0353	1,41	0,0008	0,45	0,0098	2,92	0,2227	0,69	0,0689	4,98	0,0151	2,50	0,0064	45	0,3578	17	0,3697
	Menos micro	0,13	0,3032	0,10	0,4592	1,44	0,0010	1,26	0,9069	2,55	0,0361	1,38	0,5942	4,85	0,0095	3,75	0,6018	42	0,1677	34	0,1438
	Menos K	0,07	0,0137	0,04	0,0473	1,78	0,0596	0,85	0,1623	2,86	0,1969	0,86	0,2023	5,22	0,0357	3,25	0,1565	47	0,5400	27	0,7604
	Menos Zn	0,19	0,7138	0,16	0,3246	2,38	0,3814	0,88	0,1608	3,96	0,0686	0,94	0,3016	6,67	0,5401	3,25	0,1415	61	0,0858	26	0,3076
	Menos calagem	0,14	0,3911	0,13	0,8958	0,47	0,0000	0,65	0,0425	0,21	0,0000	0,51	0,0176	3,19	0,0000	4,14	1,0000	11	0,0000	13	0,0721
	Testemunha	0,03	0,0005	0,04	0,0467	0,22	0,0000	0,09	0,0004	0,16	0,0000	0,05	0,0002	2,96	0,0000	2,61	0,0213	4	0,0000	2	0,0050
5-10	Completo	0,15	0,4928	0,11	0,7266	0,59	1,7E-05	0,52	0,0157	1,04	1,6E-05	0,53	0,0204	3,13	1,6E-05	2,21	0,0013	25	0,0001	16	0,3225
	Menos macro	0,03	0,0004	0,03	0,0267	0,63	2,1E-05	0,28	0,0018	1,46	2,9E-05	0,40	0,0077	3,29	2,4E-05	2,02	0,0004	29	0,0013	12	0,1083
	Menos micro	0,08	0,0181	0,09	0,3583	0,53	1,6E-05	0,85	0,1545	1,04	1,7E-05	0,95	0,2834	3,05	1,7E-05	2,81	0,0265	25	0,0001	27	0,4939
	Menos K	0,03	0,0003	0,03	0,0264	0,63	2,4E-05	0,50	0,0135	1,15	2,1E-05	0,50	0,0193	3,17	1,7E-05	2,35	0,0028	26	0,0002	15	0,2060
	Menos Zn	0,15	0,5574	0,13	0,8892	0,75	2,9E-05	0,49	0,0132	1,25	2,4E-05	0,51	0,0186	3,33	2,9E-05	2,32	0,0024	31	0,0025	18	0,4549
	Menos calagem	0,11	0,1022	0,12	1,0000	0,31	1,7E-05	0,18	0,0006	0,21	8,9E-06	0,06	0,0002	2,80	1,1E-05	2,63	0,0121	10	0,0000	4	0,0069
	Testemunha	0,03	0,0003	0,03	0,026	0,22	1,1E-05	0,08	0,0003	0,21	1,0E-05	0,05	0,0002	2,45	1,1E-05	2,03	0,0004	7	0,0000	2	0,0042
10-20	Completo	0,09	0,0470	0,09	0,3414	0,22	8,6E-06	0,27	0,0016	0,16	4,5E-06	0,21	0,0009	2,14	8,0E-06	1,35	1,1E-05	25	0,0001	7	0,0197
	Menos macro	0,02	0,0002	0,07	0,163	0,25	1,1E-05	0,16	0,0006	0,31	1,7E-05	0,11	0,0003	2,14	7,4E-06	1,10	7,2E-06	29	0,0013	5	0,0115
	Menos micro	0,07	0,0143	0,07	0,1966	0,22	9,8E-06	0,22	0,0010	0,21	7,0E-06	0,19	0,0007	2,17	8,6E-06	1,13	8,0E-06	25	0,0001	7	0,0204
	Menos K	0,01	5,6E-05	0,02	0,0095	0,16	5,1E-06	0,17	0,0006	0,21	7,1E-06	0,13	0,0004	2,00	5,1E-06	1,15	8,8E-06	26	0,0002	3	0,0064
	Menos Zn	0,10	0,0812	0,09	0,3341	0,22	1,0E-05	0,17	0,0006	0,31	1,7E-05	0,10	0,0003	2,26	1,0E-05	1,11	7,3E-06	31	0,0025	4	0,0101
	Menos calagem	0,11	0,1111	0,08	0,3155	0,19	7,4E-06	0,10	0,0004	0,21	9,8E-06	0,05	0,0002	2,43	1,1E-05	1,36	1,2E-05	10	0,0000	3	0,0052
	Testemunha	0,02	0,0001	0,02	0,0094	0,19	7,9E-06	0,09	0,0004	0,21	1,1E-05	0,05	0,0002	2,14	7,8E-06	1,02	4,6E-06	7	0,0000	2	0,0035

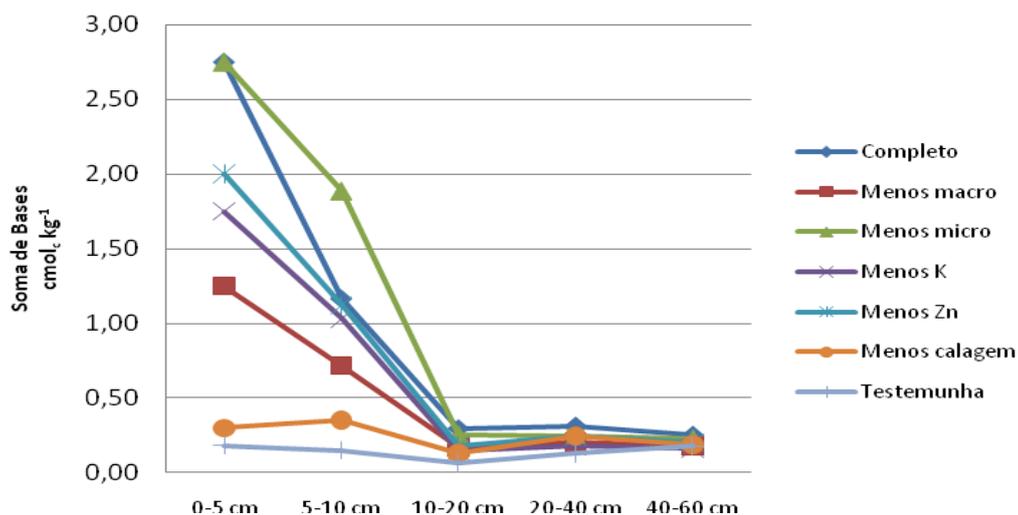
**Quadro 4 (continuação)**

P <sup>(1)</sup>	Trat.	K <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		CTC <sub>efetiva</sub>		V <sup>(2)</sup>											
		Área <sub>p</sub> I	Área <sub>p</sub> II	Área <sub>p</sub> I	Área <sub>p</sub> II	Área <sub>p</sub> I	Área <sub>p</sub> II	Área <sub>p</sub> I	Área <sub>p</sub> II	Área <sub>p</sub> I	Área <sub>p</sub> II										
cm		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%											
20-40	Completo	0,08	0,0189	0,07	0,2123	0,16	4,5E-06	0,16	0,0006	0,21	4,5E-06	0,08	0,0002	2,14	7,9E-06	1,24	1,0E-05	11	1,1E-05	10	0,0492
	Menos macro	0,01	5,9E-05	0,01	0,0056	0,22	8,9E-06	0,14	0,0005	0,21	5,1E-06	0,06	0,0002	2,08	7,0E-06	1,03	7,0E-06	8	7,1E-06	6	0,0183
	Menos micro	0,05	0,0020	0,05	0,0810	0,19	7,0E-06	0,13	0,0005	0,21	7,0E-06	0,07	0,0002	2,22	9,8E-06	1,14	8,2E-06	8	7,8E-06	6	0,0175
	Menos K	0,01	5,5E-05	0,01	0,0055	0,19	7,0E-06	0,12	0,0004	0,21	7,4E-06	0,06	0,0002	1,90	4,5E-06	1,05	7,1E-06	8	7,4E-06	5	0,0117
	Menos Zn	0,07	0,0084	0,07	0,1935	0,22	9,7E-06	0,12	0,0004	0,21	7,9E-06	0,05	0,0002	2,02	6,9E-06	1,07	7,2E-06	10	1,0E-05	6	0,0178
	Menos calagem	0,05	0,0020	0,11	0,7080	0,22	1,0E-05	0,09	0,0004	0,21	1,0E-05	0,05	0,0002	2,27	9,7E-06	1,22	1,0E-05	10	1,0E-05	6	0,0157
	Testemunha	0,00	2,7E-05	0,01	0,0066	0,19	8,0E-06	0,09	0,0004	0,21	1,1E-05	0,03	0,0002	1,95	4,5E-06	1,03	5,2E-06	7	5,1E-06	4	0,0089
40-60	Completo	0,02	0,0001	0,05	0,0914	0,16	4,5E-06	0,14	0,0005	0,21	4,6E-06	0,06	0,0002	2,11	7,1E-06	1,13	7,9E-06	9	7,1E-06	7	0,0196
	Menos macro	0,01	5,8E-05	0,00	0,0030	0,16	4,5E-06	0,13	0,0005	0,21	6,9E-06	0,06	0,0002	1,87	4,5E-06	1,01	4,6E-06	7	4,5E-06	6	0,0144
	Menos micro	0,04	0,0006	0,06	0,1302	0,16	4,6E-06	0,12	0,0004	0,21	7,1E-06	0,06	0,0002	2,17	8,9E-06	1,16	9,1E-06	8	8,9E-06	6	0,0171
	Menos K	0,01	5,4E-05	0,01	0,0054	0,19	7,1E-06	0,11	0,0004	0,21	7,8E-06	0,05	0,0002	2,40	1,0E-05	0,96	4,5E-06	9	1,0E-05	5	0,0123
	Menos Zn	0,03	0,0004	0,06	0,1028	0,19	7,1E-06	0,11	0,0004	0,21	8,0E-06	0,04	0,0002	2,07	7,0E-06	1,03	4,7E-06	7	7,0E-06	6	0,0156
	Menos calagem	0,02	0,0002	0,07	0,1611	0,19	7,8E-06	0,08	0,0003	0,21	9,7E-06	0,04	0,0002	2,12	7,1E-06	1,14	8,1E-06	9	7,1E-06	5	0,0121
	Testemunha	0,00	2,7E-05	0,07	0,1589	0,16	6,9E-06	0,08	0,0003	0,21	1,1E-05	0,04	0,0002	1,96	4,6E-06	1,18	1,0E-05	6	4,6E-06	6	0,0151

<sup>(1)</sup> Profundidade de coleta; <sup>(2)</sup> Saturação por bases; <sup>(3)</sup> Significativo pelo teste de Duncan quando  $p < 0,05$ , todos os tratamentos foram comparados ao tratamento completo na profundidade de 0 a 5 cm.



**Figura 2. Soma de bases nos sete tratamentos em cinco profundidades na área I.**



**Figura 3. Soma de bases nos sete tratamentos em cinco profundidades na área II.**

O efeito do  $\text{Ca}^{2+}$  em profundidade, assim como ocorre para os parâmetros pH,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{K}^+$ , pode variar de acordo com a dose aplicada, fonte utilizada e características do solo. Entretanto, é conhecida a menor mobilidade deste cátion bivalente e de menor raio iônico hidratado no solo quando comparado ao  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Segundo Pavan et al. (1984), em solos ácidos sua mobilidade é ainda menor, ficando os efeitos dos corretivos restritos às camadas superficiais

Diversos estudos mostraram que o incremento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em profundidade em resposta à aplicação superficial do calcário, foi bastante variável em função das características físico-químicas e do manejo dos solos. Franchini et al. (2001) observaram migração de  $\text{Ca}^{2+}$ , apenas até 5 cm de profundidade, em solo de textura média sob plantio direto e aplicação superficial do corretivo. Ingerslev (1997), após oito anos da aplicação do calcário em área de coníferas, observou diferenças nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e também  $\text{Mg}^{2+}$  até 35 cm de profundidade. Em contrapartida, estudos de Frank e Stuanes (2003), mostraram aumento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  até 22 cm no período de 4 anos, em solos arenosos também sob plantio de coníferas. Este último estudo pode ser comparado aos resultados obtidos no presente trabalho para a área II, uma vez que as diferenças foram significativas até 10 cm de profundidade em período inferior a dois anos.

Com relação ao  $\text{Mg}^{2+}$ , na área I os teores do nutriente nos tratamentos menos calagem e testemunha foram inferiores aos demais até 10 cm. Ao comparar o tratamento menos zinco com o tratamento testemunha, o teor de  $\text{Mg}^{2+}$  foi 24 vezes superior no primeiro. Os resultados foram similares, porém menos expressivos na área II, com menores teores de  $\text{Mg}^{2+}$  nos tratamentos que não receberam o nutriente. Os níveis de  $\text{Mg}^{2+}$  encontrados na área I foram superiores aos da área II, possivelmente pelo maior teor de matéria orgânica e  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$  (Quadros 1 e 4).

Destaca-se o fato de ter ocorrido maior incremento nos teores de  $\text{Mg}^{2+}$  em relação ao  $\text{Ca}^{2+}$  no perfil do solo, apesar dos dois nutrientes serem derivados do mesmo corretivo. Os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  aumentaram de 0,16 para 3,33  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na área I e de 0,05 para 1,24  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na área II, partindo de valores considerados muito baixos para muito altos. Já os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram de 0,22 para 2,19  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na área I e de 0,09 para 1,29  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na área II, passando de níveis muito baixos para médio e baixo, respectivamente (IAC, 1997).

Segundo Huettl e Zoetl (1993), quando os dois nutrientes são originados de calcário dolomítico, como no presente estudo, o  $\text{Mg}^{2+}$  é geralmente mais disponível que o  $\text{Ca}^{2+}$ . A maior solubilidade do  $\text{MgCO}_3$  (0,106  $\text{g L}^{-1}$ ) em relação ao  $\text{CaCO}_3$  (0,014  $\text{g L}^{-1}$ ) do corretivo (o primeiro é 7,6 vezes mais solúvel), pode ter influenciado estes resultados. Possivelmente, as diferenças de solubilidade superaram o efeito de maior concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no corretivo utilizado: 39% de  $\text{CaO}$  e 13% de  $\text{MgO}$ .

Os sintomas de deficiência de  $\text{Mg}^{2+}$  observados em plantios florestais e a dificuldade em se estabelecer doses adequadas de fertilização com o nutriente têm sido estudados desde a

década de 80 em diversas regiões da Alemanha (Huettl, 1989; Evers e Hüttl, 1990; Huettl e Zoetl, 1993; Uebel e Heinsdorf, 1997). Apesar disto, a dinâmica do  $Mg^{2+}$  em solos sob plantios florestais ainda é pouco conhecida e existem poucas respostas sobre sua adição ao solo, especialmente em regiões de climas mais quentes. Huettl e Zoetl (1993), revisando estudos de plantios de coníferas na Alemanha, concluíram que o fornecimento de  $Mg^{2+}$  através da calagem superficial foi eficiente no aumento dos teores do nutriente no solo, bem como, na redução dos sintomas de deficiência nutricional. Em contrapartida, apesar de incrementar a produtividade, a aplicação de adubos com  $Mg^{2+}$  e  $K^+$  realizada por Uebel e Heinsdorf (1997) em solos arenosos sob plantios de *Pinus sp.*, não proporcionou aumento significativo nos teores disponíveis dos dois nutrientes no solo.

Mediante as respostas alcançadas com o presente estudo, é possível afirmar que as alterações nos teores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  observadas em profundidade, mesmo as mais superficiais (que ocorreram em menos de 10 cm), são muito relevantes. É importante salientar que a profundidade de ocupação das raízes mais finas responsáveis pela maior parte da absorção de nutrientes, encontra-se nos primeiros 20 cm do solo, incluindo a serapilheira ou horizonte orgânico (Lopes, 2009). Desta forma, a aplicação superficial de fertilizantes e corretivos nos plantios florestais, pode ser uma excelente alternativa à correção dos baixos teores no solo, mesmo nos plantios já estabelecidos. Características químicas e físicas do solo, histórico da área, estado nutricional dos sítios, regime de chuvas, entre outros, devem ser considerados previamente à fertilização e calagem.

### **3.3 Distribuição de $K^+$ , $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ no litter (Ln e Lv) em resposta à calagem e adubação**

Os baixos valores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  encontrados no litter das parcelas do tratamento testemunha (Quadro 5) refletem a baixa disponibilidade de nutrientes no ciclo biogeoquímico dos sítios. Destaca-se ainda, que horizontes orgânicos espessos, como os observados a campo nas duas áreas deste estudo, resultam, entre outros motivos, da lenta decomposição da serapilheira. Isto pode ocorrer devido ao baixo teor de nutrientes no solo, levando à imobilização e reduzindo ainda mais os recursos nutricionais disponíveis (Torraca et al., 1984; Trevisan et al., 1987; Trevisan, 1992; Wisniewski e Reismann, 1996; Plates 2002). É preciso considerar que após o pleno fechamento das copas, a ciclagem biológica (bastante influenciada pela fertilidade do solo) e a captação de elementos pela atmosfera são

responsáveis por mais da metade do suprimento das árvores (Miller 1981, Reissmann e Wisniewski,2004).

**Quadro 5. Teores de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no litter novo (Ln) e litter alterado (Lv) em Jaguariaíva (área I) e Arapoti (área II) em resposta a aplicação de calcário e fertilizante**

Tratamento	Potássio				Cálcio				Magnésio				
	Ln	<i>p</i> <sup>(1)</sup>	Lv	<i>p</i>	Ln	<i>p</i>	Lv	<i>p</i>	Ln	<i>p</i>	Lv	<i>p</i>	
<b>g kg<sup>-1</sup></b>													
Área I	Completo	1,18		0,53		1,95		20,46		1,23		8,90	
	Menos Macro	0,38	0,0001	0,25	0,0028	2,45	0,5140	17,82	0,7617	1,64	0,4005	9,97	0,6509
	Menos micro	0,83	0,0495	0,45	0,3220	2,25	0,6659	18,51	0,8165	1,23	0,9992	10,13	0,6241
	Menos K	0,50	0,0006	0,40	0,1345	2,39	0,5561	13,38	0,4268	1,50	0,5676	6,68	0,3768
	Menos Zn	1,13	0,7516	0,43	0,2137	1,80	0,8301	19,81	0,9349	1,35	0,7868	7,43	0,5347
	Menos calagem	1,08	0,5532	0,58	0,5025	1,23	0,3463	2,79	0,0571	0,55	0,1527	0,30	0,0027
	Testemunha	0,35	0,0001	0,33	0,0225	1,33	0,4007	1,28	0,0420	0,76	0,2952	0,40	0,0025
<b>g kg<sup>-1</sup></b>													
Tratamento	Potássio				Cálcio				Magnésio				
	Ln	<i>p</i>	Lv	<i>p</i>	Ln	<i>p</i>	Lv	<i>p</i>	Ln	<i>p</i>	Lv	<i>p</i>	

<sup>(1)</sup> Significativo pelo teste de Duncan com  $p < 0,05$  com todos os tratamentos comparados ao tratamento completo.

Os níveis naturais de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> observados na serapilheira das áreas de Jaguariaíva e Arapoti (Quadro 5), foram inferiores aos observados por Wisniewski e Reissmann (1996) em plantios de *Pinus taeda*, na região de Ponta Grossa, Paraná, e por Brum (1980) em plantios de *Pinus elliottii*, no norte do estado de Santa Catarina. Os teores descritos pelo último autor para o K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> foram em torno de 0,6 g kg<sup>-1</sup> e 2,5 g kg<sup>-1</sup>, superiores aos teores médios do presente estudo, de 0,33 e 1,52 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Vieira e Schumacher (2010) encontraram na serapilheira de *Pinus taeda* cultivados em solos de derrame basáltico no Rio Grande do Sul, teores médios de Ca<sup>2+</sup> de 7,88 g kg<sup>-1</sup>, muito acima dos valores das

áreas I e II. Analisando-se cuidadosamente estes resultados, verifica-se clara correlação da qualidade do sítio e da fertilidade do solo na qualidade da serapilheira, uma vez que os teores de nutrientes presentes no horizonte orgânico são similares aos níveis encontrados no solo mineral (Borém e Ramos, 2002).

Os efeitos dos tratamentos demonstraram dois comportamentos distintos, um para  $K^+$  e outro para  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  no tratamento completo. Observou-se que os teores de  $K^+$  foram maiores nas acículas caídas mais recentemente (Ln), com redução no litter mais alterado (Lv). A maior concentração do  $K^+$  na camada mais superficial ou Ln das áreas I e II (1,18 e 1,20  $g\ kg^{-1}$ ), em relação aos teores no Lv (0,53 e 0,60  $g\ kg^{-1}$ ), podem indicar a lixiviação do nutriente das acículas pela água das chuvas e sua deposição sobre a superfície da serapilheira. O fato do  $K^+$  não compor nenhuma estrutura da planta, contribui para que esteja em menor concentração nas camadas mais decompostas do litter e passe a fazer parte da ciclagem de nutrientes com maior facilidade. Segundo Vieira e Schumacher (2009), mais de 90% do  $K^+$  é retranslocado em árvores de *Pinus taeda*, o que é essencial para o desenvolvimento satisfatório da espécie.

Em contrapartida, altos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram observados no litter alterado, com forte declínio dos teores no litter novo. O calcário elevou significativamente os teores dos dois nutrientes no litter alterado. Comparando as respostas no tratamento completo houve aumento expressivo dos teores de  $Ca^{2+}$  do Ln (1,95 e 2,45  $g\ kg^{-1}$ ) para o Lv (20,46 e 18,29  $g\ kg^{-1}$ ), respectivamente nas áreas I e II. Estas respostas foram similares para o  $Mg^{2+}$  no mesmo tratamento, cujos teores partiram de 1,23 e 1,08  $g\ kg^{-1}$  no Ln para 8,90 e 8,81  $g\ kg^{-1}$  no Lv, nas áreas I e II, respectivamente. As respostas para  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  na área I só foram significativas para o Lv. Na área II, entretanto, houve diferenças entre tratamentos também no Ln. Estes resultados podem indicar que a espessa camada de serapilheira diminuiu o contato do calcário com o solo em virtude de sua retenção no horizonte orgânico, com reduzida liberação dos dois nutrientes para o sistema solo-planta. Outra hipótese para estes resultados é ter ocorrido liberação de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  pelo corretivo, mas com retenção destes nos sítios de troca da serapilheira, mantendo os altos teores dos dois nutrientes no horizonte orgânico. O armazenamento de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , na camada mais decomposta da serapilheira, é favorecido pela maior capacidade adsorção dos dois nutrientes em relação aos cátions monovalentes.

Ao contrário do tratamento completo, não houve diferença nos teores do  $K^+$  entre o Ln e Lv nas testemunhas ou quando em sua omissão. Neste caso, os baixíssimos teores observados, podem indicar que houve grande redistribuição do nutriente, confirmando a deficiência de  $K^+$

nas árvores. Segundo Waring e Schlesinger (1985) as espécies que se desenvolvem em solos com baixa fertilidade contam com maior redistribuição de nutrientes, aumentando a eficiência em seu aproveitamento. Já os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em função do grau de decomposição do litter no tratamento testemunha variaram entre as áreas. Houve manutenção das concentrações entre o Ln e Lv na área I e maior aumento dos dois nutrientes no Lv da área II. Entretanto, em relação aos tratamentos que receberam os dois nutrientes, as diferenças dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  entre o Ln e o Lv são menores, o que é justificado por não ter havido adição de calcário nestas parcelas.

A imobilidade do  $\text{Ca}^{2+}$  no metabolismo da planta, por ser um componente da estrutura da parede celular, faz com que este não seja redistribuído antes da senescência das acículas. Ao contrário do  $\text{K}^+$ , cujo teor no litter é em torno de 1/10 dos valores nas acículas verdes, os níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  são similares entre os dois compartimentos. Como foi observado por diversos autores, o  $\text{Ca}^{2+}$  está entre os elementos com maiores teores na serapilheira, uma vez que fica armazenado nas acículas mesmo depois do processo de abscisão (Wisniweski e Reissmann, 1996, Melo e Resck, 2002; Trevisan 1992; Poggiani e Schumacher, 2010; Vieira e Schumacher, 2010).

O mesmo não ocorre com o  $\text{Mg}^{2+}$ , elemento com maior mobilidade na planta quando comparado ao  $\text{Ca}^{2+}$ , pois 70% de seu conteúdo se encontram associados a ânions inorgânicos e ácidos orgânicos, como o malato, e de 20 a 30% na estrutura da clorofila (Mengel e Kirkby, 1987) além de atuar como ativador enzimático. Assim, sofre redistribuição das partes mais velhas para as partes mais jovens diminuindo seu teor nas acículas depositadas sobre a superfície do solo. Desta forma, justificam-se os menores valores de  $\text{Mg}^{2+}$  em relação ao  $\text{Ca}^{2+}$  no Ln para as duas áreas estudadas e em todos os tratamentos, ficando os teores do nutriente nesta camada, próximos aos níveis observados para o  $\text{K}^+$ .

### **3.4 Efeito dos tratamentos na concentração de $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ nas acículas do primeiro e segundo lançamentos nos anos de 2009 e 2010 e pendão no ano de 2010**

Deficiências nutricionais podem ser confirmadas pelo teor dos nutrientes nas acículas. Segundo Reissmann e Wisniewski (2004), os teores foliares dos nutrientes em árvores de *Pinus taeda* aumentaram de acordo com a melhoria do sítio onde se encontravam, acompanhando a produção de biomassa e para alguns a altura dominante. Analisando as concentrações de  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nas acículas das áreas I e II nos anos de 2009 e 2010 no



Considerando estes resultados, é possível que as limitações nutricionais estejam relacionadas aos dois nutrientes, uma vez que os resultados observados para  $\text{Ca}^{2+}$  não apresentaram a mesma tendência neste tratamento. Na área I os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em 2009 encontravam-se abaixo dos níveis considerados limitantes, com natural incremento dos valores no ano de 2010, passando, desta forma, para teores considerados adequados ao crescimento. Já na área II, as respostas foram inversas, estando os teores de 2010 menores e insuficientes em relação ao ano de 2009.

Vogel (2003) considerou o  $\text{Ca}^{2+}$  como sendo o nutriente mais limitante entre os três, seguido de  $\text{Mg}^{2+}$  e por último o  $\text{K}^+$ . Os níveis adequados ao crescimento e desenvolvimento do *Pinus taeda* descritos por este autor foram  $2,6 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $8,6 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{K}^+$  e  $0,8 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{Mg}^{2+}$ . Em contrapartida, para Reissmann e Wisniewski (2004), as necessidades de  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são superiores às de  $\text{Ca}^{2+}$  para esta espécie. Os autores concluíram que nos sítios de pior qualidade, a relação K/Ca era igual a 1, enquanto em sítios melhores a relação era maior que 3. Observou-se no presente trabalho que a relação K/Ca ficou próxima a 1, com exceção de alguns resultados onde o quociente se aproximou de 3 em resposta aos tratamentos.

A absorção de  $\text{K}^+$  e sua funcionalidade no interior da planta estão diretamente relacionadas à presença de outros cátions no solo como o  $\text{Ca}^{2+}$  e também  $\text{Mg}^{2+}$ . Desta forma, o maior teor de  $\text{K}^+$  ( $p=0,05$ ) observado no tratamento menos calagem da área I (ano 2010) em relação aos outros tratamentos, pode ser devido à menor concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo neste tratamento. Aliado a isto, houve incremento de  $\text{K}^+$  pela adubação, diminuindo a competição entre os três cátions e favorecendo a maior absorção de  $\text{K}^+$  pelas plantas.

Os teores de  $\text{K}^+$  nas acículas do primeiro e segundo lançamentos foram superiores nos tratamentos que receberam adubação com KCl, nos anos de 2009 e 2010 na área I, e no ano de 2010 na área II ( $p < 0,05$ ) (Quadro 6). Os resultados para o conteúdo de  $\text{K}^+$  foram ainda mais expressivos no ano de 2010 para as duas áreas (Quadro 7), sugerindo que o aumento nos teores do nutriente foi acompanhado pelo incremento na biomassa das acículas. Como os maiores níveis foram observados nos tratamentos que receberam adubação com  $\text{K}^+$ , é possível afirmar que estes valores ocorreram em resposta à adubação de cobertura e à mobilidade do nutriente tanto no solo quanto na planta.

**Quadro 7. Conteúdo de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em 100 acículas do primeiro e segundo lançamento, em Jaguariaíva (área I) e Arapoti (área II) em resposta a aplicação de calcário e fertilizantes**

Tratamentos	Potássio		Cálcio		Magnésio								
	2009 <sup>p(3)</sup>	2010 <sup>p</sup>	2009 <sup>p</sup>	2010 <sup>p</sup>	2009 <sup>p</sup>	2010 <sup>p</sup>							
mg em 100 acículas													
Área I 1 <sup>o</sup> L <sup>(1)</sup>	Completo	22,66	26,99	4,90	15,10	3,60	3,51						
	Menos Macro	14,01	5,87E-05	14,65	0,0007	5,38	0,7604	14,48	0,7531	5,06	0,0245	4,00	0,4873
	Menos micro	19,10	3,04E-02	24,16	0,3425	2,91	0,2592	12,26	0,1963	2,61	0,1616	2,72	0,3061
	Menos K	10,11	2,58E-05	11,94	0,0001	3,39	0,3811	11,80	0,1433	3,37	0,7057	3,04	0,5238
	Menos Zn	18,54	1,70E-02	21,52	0,0897	3,58	0,4281	10,99	0,0748	2,84	0,2468	2,29	0,1244
	Menos calagem	18,08	1,12E-02	30,83	0,2029	4,10	0,6092	10,68	0,0593	2,76	0,2181	2,10	0,0828
	Testemunha	10,42	2,97E-05	13,81	0,0004	2,84	0,2503	13,42	0,4259	2,66	0,1767	3,13	0,5802
Área I 2 <sup>o</sup> L <sup>(2)</sup>	Completo	14,54	19,15	3,77	10,46	3,35	2,93						
	Menos Macro	11,10	0,1661	13,27	0,0792	5,68	0,0567	15,00	0,1967	4,78	0,0455	3,95	0,2515
	Menos micro	19,18	0,0661	17,93	0,6917	3,04	0,4659	9,62	0,7864	2,72	0,3380	2,56	0,6432
	Menos K	10,20	0,0932	11,09	0,0247	5,00	0,1897	11,62	0,7085	4,47	0,0946	3,89	0,2647
	Menos Zn	12,29	0,3323	24,74	0,0946	3,26	0,5737	15,30	0,1755	2,47	0,2233	3,81	0,2773
	Menos calagem	14,70	0,9464	21,58	0,4312	1,89	0,0733	13,70	0,3287	2,05	0,0814	1,65	0,1497
	Testemunha	8,78	0,0316	12,07	0,0423	3,11	0,4967	13,76	0,3351	2,62	0,2922	2,29	0,4475
Área II 1 <sup>o</sup> L	Completo	19,15	20,18	13,94	8,98	3,79	3,16						
	Menos Macro	12,71	0,0255	12,01	0,0007	12,81	0,6466	6,24	0,3071	4,07	0,7613	2,83	0,8039
	Menos micro	19,24	0,9722	22,99	0,1604	10,65	0,2370	4,25	0,0990	2,60	0,2572	2,43	0,5996
	Menos K	12,60	0,0252	9,14	0,0001	9,82	0,1464	5,30	0,1860	3,07	0,4418	2,12	0,4712
	Menos Zn	17,95	0,6266	17,96	0,2890	12,22	0,5118	8,78	0,9362	3,03	0,4449	3,74	0,6570
	Menos calagem	16,84	0,3811	18,23	0,3246	9,02	0,0887	2,72	0,0360	1,98	0,0938	1,60	0,2989
	Testemunha	13,02	0,0295	9,51	0,0001	10,95	0,2712	4,03	0,0895	2,96	0,4209	1,87	0,3805
Área II 2 <sup>o</sup> L	Completo	12,85	18,58	9,98	8,56	2,28	3,05						
	Menos Macro	11,55	0,5381	11,12	0,0018	11,38	0,5232	6,86	0,6221	3,78	0,0520	3,67	0,5094
	Menos micro	15,13	0,3230	19,03	0,8306	10,37	0,8563	8,45	0,9733	2,49	0,7521	2,89	0,8777
	Menos K	10,20	0,2542	11,48	0,0022	10,27	0,8885	7,11	0,6634	3,09	0,2774	2,95	0,9167
	Menos Zn	12,93	0,9705	17,44	0,5642	10,14	0,9332	6,43	0,5443	2,12	0,8137	2,08	0,3519
	Menos calagem	12,89	0,9835	19,00	0,8322	8,92	0,6084	5,04	0,3257	2,10	0,7961	1,64	0,1930
	Testemunha	10,30	0,2574	9,67	0,0004	9,28	0,7223	3,69	0,1810	2,66	0,5967	1,78	0,2343

<sup>(1)</sup> Primeiro lançamento; <sup>(2)</sup> Segundo lançamento; <sup>(3)</sup> Significativo pelo teste de Duncan quando  $p < 0,05$ , todos os tratamentos foram comparados ao tratamento completo.

Apesar de muitos autores não relacionarem o K<sup>+</sup> com problemas de produtividade (Santos Filho e Rocha, 1987; Van Goor, 1965; Huettl e Zoetl, 1993; Chaves e Correa, 2005), estudos realizados com *Pinus sp.* no segundo planalto paranaense, demonstraram ser este um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento da espécie na região (Garicoits, 1990; Reissmann e

Wisniewski, 2004) . Segundo Evers e Huttel (1990) além de distúrbios geralmente associados ao  $Mg^{2+}$ , existem ainda muitos problemas nutricionais relacionados à deficiência de  $K^+$  em diversas áreas com florestas de coníferas na Europa Central e América do Norte.

Considerando ser o  $K^+$  o principal e mais importante nutriente ligado ao gerenciamento da água na planta, o baixo suprimento via solo pode ocasionar a diminuição na absorção de água e menor eficiência na transpiração, devido sua função junto às células guarda ficar prejudicada (Mengel e Kirkby, 1987). Outra consequência da deficiência do nutriente nas árvores pode ser a maior produção de ácido abscísico, devido à falta de água na planta, com aumento da queda de acículas e diminuição na produção (Koehler, 1989).

Os tratamentos foram eficientes em aumentar os teores de  $K^+$  nas plantas, todavia, os níveis permaneceram inferiores ao considerado ótimo ao crescimento da espécie. Tal fato não era esperado, visto que, houve aumento do teor de  $K^+$  no solo ao nível médio nas duas áreas estudadas. Diversos estudos concordam que teores de  $K^+$  abaixo de  $5 \text{ g kg}^{-1}$  são insuficientes ao desenvolvimento satisfatório das árvores (Vogel, 2003; Garicoits, 1990; Dedecek et al. 2008; Reissmann e Wisniewski, 2004).

Não houve diferenças na concentração de  $Ca^{2+}$  nas acículas da área I no ano de 2009 e 2010 (Quadro 6). Exceção pode ser feita para o segundo lançamento no tratamento menos calagem em 2009 ( $p < 0,05$ ). Mesmo analisando o conteúdo de  $Ca^{2+}$ , houve redução do nutriente apenas no primeiro lançamento, também do tratamento menos calagem em 2010 (10,68 mg em 100 acículas,  $p < 0,05$ ) (Quadro 7). Nota-se inclusive, que os níveis naturais observados no tratamento testemunha desta área no segundo ano (2,23  $\text{g kg}^{-1}$  no 1º lançamento e 2,80  $\text{g kg}^{-1}$  no 2º lançamento) apresentaram até mais  $Ca^{2+}$  do que os observados no tratamento completo (2,02  $\text{g kg}^{-1}$  no 1º lançamento e 2,12  $\text{g kg}^{-1}$  no 2º lançamento).

Na área II, ocorreu pequena redução dos teores de  $Ca^{2+}$  no primeiro lançamento do tratamento menos calagem em 2010. Considerando o conteúdo do nutriente nesta área, os menores valores foram também no primeiro lançamento do tratamento menos calagem, nos dois anos avaliados. Assim, é possível afirmar que os resultados evidenciam discreta absorção de  $Ca^{2+}$  pelas plantas, em resposta aos tratamentos, contrariando o que foi constatado com os teores disponíveis no solo e litter. Os valores de  $Ca^{2+}$  não foram menores no tratamento testemunha nos dois anos do estudo, tanto na área I quanto na área II. Isto evidencia a competição entre  $Ca^{2+}$  e  $K^+$ , uma vez que este último teve os maiores valores no tratamento menos calagem. Com o aumento na concentração de  $K^+$ , devido à adubação, a absorção de

$\text{Ca}^{2+}$  é desfavorecida, uma vez que os mecanismos de absorção de  $\text{K}^+$  são mais específicos e contribuem para seu aproveitamento em detrimento do  $\text{Ca}^{2+}$ , que é absorvido apenas pelas raízes mais finas e jovens (Mengel e Kirkby, 1987).

Na área I, tanto os teores quanto o conteúdo de  $\text{Ca}^{2+}$  foram maiores no segundo ano em relação ao primeiro, em todos os tratamentos, sugerindo maior biomassa das acículas em 2010. Em contrapartida, na área II os teores e conteúdo de  $\text{Ca}^{2+}$  diminuíram do ano de 2009 para 2010. É importante salientar que os valores encontrados nas acículas de todos os tratamentos desta área em 2009 e na área I em 2010, foram superiores aos níveis considerados adequados, acima de  $1\text{ g kg}^{-1}$  (Zöttl e Tschinkel, 1971). Mesmo no tratamento testemunha, onde os níveis naturais de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo foram muito baixos, nas acículas foram superiores a  $2,0\text{ g kg}^{-1}$ . Aparentemente, a contínua recarga de  $\text{Ca}^{2+}$  oriunda da decomposição do litter manteve os níveis baixos no solo, mas permitiu a absorção lenta e gradual deste nutriente pelas plantas. Neste contexto, apesar dos baixos níveis no solo as plantas parecem estar bem nutridas com o nutriente.

Na área II, em 2010, os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  observados no tratamento menos calagem e testemunha da foram  $0,46$  e  $0,91\text{ g kg}^{-1}$  (1º lançamento) e  $0,92$  e  $0,87\text{ g kg}^{-1}$  (2º lançamento), abaixo do considerado adequado ao bom desenvolvimento das árvores. Entretanto, apesar de não apresentar respostas significativas ( $p > 0,05$ ), o tratamento completo apresentou aumento para  $1,49$  e  $1,66\text{ g kg}^{-1}$  no primeiro e segundo lançamentos, respectivamente, alcançando níveis adequados. Os resultados, nesta área, demonstraram que a calagem superficial, em plantios estabelecidos, pode ser eficiente em corrigir os baixos níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  tanto no solo quanto na planta.

Para o  $\text{Mg}^{2+}$  na área I, o maior teor foi observado no primeiro lançamento do tratamento menos macro, no ano de 2009 ( $p < 0,05$ ) (Quadro 6). O efeito antagônico entre  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  pode ter contribuído para esta resposta, com aumento da absorção de  $\text{Mg}^{2+}$  devido à omissão de  $\text{K}^+$ . Analisando o efeito dos tratamentos no conteúdo de  $\text{Mg}^{2+}$ , o antagonismo entre os dois nutrientes se torna ainda mais evidente (Quadro 7). No segundo lançamento do ano de 2009, exatamente onde houve omissão de macronutrientes e  $\text{K}^+$ , o conteúdo de  $\text{Mg}^{2+}$  da área I foi superior aos demais tratamentos.

Observa-se ainda, que os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  no segundo lançamento da área I, para os anos de 2009 e 2010, foram menores no tratamento menos calagem em relação a todos os outros tratamentos, inclusive à testemunha. Portanto, a adição de  $\text{K}^+$  aliada à omissão de  $\text{Mg}^{2+}$

diminuiu ainda mais a absorção deste, demonstrando possível desbalanço na absorção dos dois nutrientes.

Segundo Evers e Huttel (1990) e Huttel e Zottl (1993) sintomas de deficiência mineral, especialmente de  $Mg^{2+}$ , observados desde 1980 nas florestas européias, ocorrem principalmente em solos arenosos, ácidos e com baixa saturação por bases, assim como é observado no pólo florestal de Jaguariáiva. Van Goor (1965) identificou já em meados da década de 60, problemas nutricionais relacionados ao  $Mg^{2+}$  e também  $Ca^{2+}$  em florestas de *Pinus elliottii* no Brasil. O autor constatou resposta das plantas à aplicação de calcário, hiperfosfato e cobertura morta, e alta correlação entre a soma de bases trocáveis e a produtividade. Chaves e Corrêa (2005) estudando plantios de *Pinus caribae* em região de cerrado em Minas Gerais, com sintomas de deficiência mineral seguido de morte precoce, identificaram menores teores de  $Ca^{2+}$  ( $0,02 \text{ g kg}^{-1}$ ) e  $Mg^{2+}$  ( $0,01 \text{ g kg}^{-1}$ ) na análise das acículas de plantas doentes em relação às plantas saudáveis.

Os resultados observados para os três cátions nas acículas do pendão foram mais expressivos para o  $K^+$  (Quadros 8 e 9). O efeito positivo da aplicação de  $K^+$  pode ser associado à sua maior mobilidade e possibilidade de atravessar a camada orgânica no solo, atingindo a região das raízes das árvores. A área II apresentou teores bem inferiores de  $Ca^{2+}$  em relação à área I, sugerindo deficiência do nutriente em Arapoti. Como não houve diferença entre os tratamentos, os resultados demonstraram que a calagem ainda não teve efeito nas plantas. Aliado a isto, este nutriente é imóvel nas plantas, o que justifica que os menores valores tenham sido observados justamente nas partes mais jovens da planta. Novamente o efeito antagônico entre  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  pôde ser observado, uma vez que os menores teores deste último ocorreram no tratamento menos calagem nas duas áreas, enquanto os maiores teores de  $K^+$  também foram observados neste tratamento.

Com base nas respostas observadas, verifica-se que os sintomas de deficiência nutricional das árvores podem estar ocorrendo devido principalmente à deficiência de  $K^+$  e  $Mg^{2+}$ . Tendo em vista os incrementos observados na concentração dos dois nutrientes nas acículas, é possível afirmar que a calagem e adubação superficiais mostraram ser eficientes na redução dos danos nutricionais em *Pinus taeda*.

Uebel e Heinsdorf (1997) avaliaram o desenvolvimento de plantios de *Pinus sylvestris* em solos arenosos e degradados da Alemanha, em resposta à adubação com  $K^+$  e  $Mg^{2+}$ . Estes nutrientes promoveram incrementos de 26 a 93% na produtividade, mesmo após um período

de 60 anos. Os autores chamam a atenção para o balanço de nutrientes não apenas no crescimento das plantas, mas na melhoria das condições do solo, como ativação do metabolismo de microorganismos tais como fungos arbusculares micorrízicos, incremento do desenvolvimento das raízes e equilíbrio na decomposição da serapilheira.

**Quadro 8. Teor de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no pendão das áreas I e II, coletados no ano de 2010, em resposta a sete tratamentos**

Tratamentos	Potássio		Cálcio		Magnésio	
	Área I <sup>P</sup>	Área II <sup>P</sup>	Área I <sup>P</sup>	Área II <sup>P</sup>	Área I <sup>P</sup>	Área II <sup>P</sup>
	<b>g kg<sup>-1</sup></b>					
<i>Completo</i>	6,09	6,03	1,70	0,55	0,77	0,60
<i>Menos Macro</i>	4,26 <b>0,0088</b>	3,96 <b>0,0114</b>	1,72 0,8581	0,66 0,5532	0,90 0,2238	0,70 0,2761
<i>Menos micro</i>	6,43 0,5679	6,22 0,7911	1,84 0,2017	0,49 0,7424	0,80 0,7340	0,52 0,4012
<i>Menos K</i>	3,42 <b>0,0004</b>	3,84 <b>0,0094</b>	1,74 0,6869	0,58 0,8609	0,77 0,9600	0,74 0,1444
<i>Menos Zn</i>	6,06 0,9599	5,67 0,6163	1,69 0,8853	0,79 0,2265	0,77 0,9943	0,47 0,2131
<i>Menos calagem</i>	7,40 <b>0,0469</b>	6,99 0,2170	1,51 0,0764	0,47 0,6851	0,45 <b>0,0080</b>	0,37 <b>0,0348</b>
<i>Testemunha</i>	4,40 <b>0,0121</b>	3,51 <b>0,0039</b>	1,61 0,3358	0,54 0,9707	0,76 0,9124	0,58 0,8324

<sup>(1)</sup> Significativo pelo teste de Duncan quando  $p < 0,05$ , todos os tratamentos foram comparados ao tratamento completo.

**Quadro 9. Conteúdo de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em 100 acículas do pendão das áreas I e II, coletados no ano de 2010, em resposta a sete tratamentos**

Tratamentos	Potássio		Cálcio		Magnésio	
	Área I <sup>P</sup>	Área II <sup>P</sup>	Área I <sup>P</sup>	Área II <sup>P</sup>	Área I <sup>P</sup>	Área II <sup>P</sup>
	<b>mg em 100 acículas</b>					
<i>Completo</i>	9,56	10,52	2,67	0,95	1,22	1,03
<i>Menos Macro</i>	6,53 <b>0,0719</b>	8,82 0,4964	2,60 0,8535	1,36 0,4866	1,36 0,5159	1,32 0,1972
<i>Menos micro</i>	10,15 0,7021	11,56 0,7059	2,92 0,4860	0,89 0,9071	1,27 0,8235	0,95 0,6686
<i>Menos K</i>	5,27 <b>0,0175</b>	6,76 0,1620	2,68 0,9725	1,00 0,9384	1,17 0,7988	1,28 0,2438
<i>Menos Zn</i>	8,93 0,6804	10,80 0,9167	2,49 0,6221	1,72 0,1998	1,13 0,6612	0,93 0,6235
<i>Menos calagem</i>	10,93 0,4062	10,71 0,9388	2,23 0,2473	0,72 0,6834	0,66 <b>0,0183</b>	0,58 <b>0,0470</b>
<i>Testemunha</i>	5,93 <b>0,0383</b>	6,39 0,1376	2,15 0,1860	0,98 0,9576	1,00 0,3242	1,05 0,9274

<sup>(1)</sup> Significativo pelo teste de Duncan quando  $p < 0,05$ , todos os tratamentos foram comparados ao tratamento completo.

É preciso considerar que mesmo em locais muito próximos, com clima e solo similares, as respostas foram específicas para cada uma das duas áreas avaliadas. As diferenças encontradas neste trabalho salientam a importância da calibração dos teores a ser recomendada para diferentes classes de solo e clima.

#### 4. CONCLUSÕES

- 1- O uso do corretivo proporcionou aumento do pH,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e decréscimos de  $\text{Al}^{3+}$  e saturação por Al, superficialmente. Apesar disto, os níveis de pH alcançados permaneceram baixos e não houve neutralização de todo o  $\text{Al}^{3+}$  tóxico.
- 2- A mobilidade do  $\text{K}^+$  proporcionou respostas mais evidentes no aumento dos teores no solo, litter e planta. Os resultados demonstraram a eficiência da adubação superficial em corrigir as desordens nutricionais relacionadas a este nutriente.
- 3- As diferenças encontradas para o  $\text{K}^+$  em profundidade indicam possíveis perdas do nutriente por lixiviação.
- 4- Os resultados observados para  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo indicam que ainda não houve total liberação dos nutrientes pelo calcário. Isto pôde ser confirmado pelos elevados valores no litter alterado.
- 5- Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nas acículas sugerem que as árvores estão bem nutridas com o nutriente, apesar dos baixos níveis no solo.
- 6- Os resultados indicam a eficiência da adubação e calagem superficial em plantios de *Pinus taeda* na correção dos baixos níveis de bases trocáveis no solo, bem como a elevada acidez e saturação por  $\text{Al}^{3+}$  em curto período de tempo. Faz-se necessário, entretanto, observar os efeitos tanto no solo quanto na planta em longo prazo, a fim de assegurar o efeito positivo deste manejo para a produtividade das árvores.

#### 5. LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, C. E.; CRESSER, M. S. An assesment of the possible impact of expansion of native wooland on the chemistry of Scottish freshwater. *For. Ecol. Manage.*, 73:1-27, 1995.
- BALLARD, R.; PRITCHETT, W. L. Soil Testing as a Guide to Phosphorus Fertilization of Young Pine Plantations in the Coastal Plain. Agricultural Experiments Stations Institute of Food and Agricultural Sciences J. W. Sites. University of Florida, Gainesville. Bulletin Technical 778, 1975.22 p.
- BABEL, U. Moderprofile in Waldern. Ulmen, Stuttgart, 1972. 120p.
- BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. *R. Cerne*, 8:42 -59, 2002.
- BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. pH e condutividade elétrica de *Pinus* e cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). *Caminhos de Geografia*, 3:46-54, 2002.

- BRITO, J. O.; FERRAZ, E. S. B.; BARRICHELO, L. E.; COUTO, H. T. Z. A adubação mineral e seus efeitos sobre os anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* VAR. *bahamensis*. IPEF, 32:5-17, 1896.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. R. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental, 9:52-56, 2005.
- BRUM, E. Composição química de acículas verdes e da litteira de *Pinus elliottii* Engelm. R. Floresta, 11: 17-23, 1980.
- CHAVES, R. Q.; CORRÊA, G. F. Macronutrientes no sistema solo - *Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte das plantas. R. Árvore, 29: 691-700, 2005.
- CORREA, R. S. Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* VAR. *hondurensis*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná, 2007. 81p.
- CROUS, J. W.; MORRIS, A. R.; SCHOLES, M. C. Growth and foliar nutrient response to recent applications of phosphorus (P) and potassium (K) and residual P and K fertilizer applied to the previous rotation of *Pinus patula* at Usutu, Swaziland. For. Ecol. Manage., 256: 712-721, 2008.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná, 1984. 791p.
- EVERS, F. H.; HÜTTL, R. F. A new fertilization strategy in declining forests. Water, Air and Soil Pollution, 54: 495-508, 1990.
- FIEDLER, H. J.; NEBE, W.; HOFFMANN, F. Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1973. 481p.
- FRANK, J.; STUANES, A. O. Short-term effects of liming and nutrient leaching in a Scots pine ecosystem in Norway. For. Ecol. Manage., 176: 371-386, 2003.
- FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.; REISSMANN, C.B.; BELLOTE, A.F.J.; MARQUES, R. Nutrição de *Pinus* no Sul do Brasil, diagnóstico e prioridades de pesquisa. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 23p.
- FRANCHINI, J. C.; MAEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. Scientia Agrícola, 58: 357-360, 2001.
- GARICOITS, L. S. L. Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *P. taeda* L. em Telêmaco Borba (PR). Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Paraná, 1990.121p.
- GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. Documentos Florestais, Piracicaba, 15: 1-23, 1995.
- Grupo Permanente de Trabalho em Nutrição e Fertilização Florestal. Pesquisa em Nutrição e Fertilização Florestal. Curitiba: EMBRAPA – URPFCS, 1983. 12p.
- HEDLEY, M. J.; NYE, P. H.; WHITE, R. E. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* Mar. Esmeráid) seedlings. II. Origin of the pH change. New Phytol., 91: 31-44, 1982.
- HUETTL, R. F. Liming and fertilization as mitigation tools in declining forest ecosystems. Water, Air and Soil Pollution, 44: 93-118, 1989.

- HUETTL, R. F.; ZOETTL, H. W. Liming as a mitigation tool in Germany's declining forests- reviewing results from former and recent trials. *For. Ecol. Manage.*, 61: 325-338, 1993.
- IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo, Fundação IAC, 1997.
- INGERSLEV, M. Effects of liming and fertilization on growth, soil chemistry and soil water chemistry in a Norway spruce plantation on a nutrient-poor soil in Denmark. *For. Ecol. Manage.*, 92: 55-66, 1997.
- KAMINSKI, J. Santos, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema de plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 29: 573-580, 2005.
- KOEHLER, C.W. Variação estacional da deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa –PR. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Paraná, 1989. 139p.
- LILIENTFEIN, W. W.; AYARZA, M. A.; VILELA, L.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Soil acidification in *Pinus caribaea* forests on Brazilian savanna Oxisols. *For. Ecol. Manage.*, 73: 1-27, 2000.
- LOPES, V. G. Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos Campos de Cima da Serra, RS. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 71p.
- MAEDA, S.; Silva, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 56: 43-52. 2008.
- MARTINS, A. P. L; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *R. Scientia Agraria*, 8: 1-17, 2007.
- MELLO, M. S.; MORO R. S.; GUIMARÃES, G. B. Patrimônio Natural dos Campos Gerais. UFGP, 2003. 236 p. Disponível em <http://www.uepg.br/natural/meio.htm>.
- MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. Retorno ao solo, de nutrientes de serapilheira de *Pinus* no cerrado do Distrito Federal. Planaltina, D.F. Embrapa Cerrados, 2002. 18p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Cerrados, 75).
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, 1987. 686p.
- MILLER, H. G. Forest Fertilization : Some Guiding Concepts. *Forestry*, 54: 157-167, 1981.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. *Inf. Agron*, 92: 1-8, 2000. (Encarte técnico).
- NOWAK, J.; FRIEND, A. Loblolly pine and slash pine responses to acute aluminum and acid exposures. *Tree Physiology*, 26: 1207-1215, 2006.
- PÁDUA, T. R. P.; SILVA, C. A.; MELO, C. A. Calagem em latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez. *R. Bras.Ci.Solo*, 30: 869-878, 2006.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *S. Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
- PLATES, E. B. Aplicação de lama de cal em solo de floresta de *Pinus taeda* e seus efeitos sobre a microbiota do solo e biodegradabilidade da serapilheira. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 79p.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: Gonçalves, J.L.; Benedetti, V. (Eds) *Nutrição e Fertilização florestal*. IPEF, 285-306, 2010.

- REISSMANN, C. B.; ZÖTTL, H. W. Problemas nutricionais em povoamentos de *Pinus taeda* em áreas do arenito da formação Rio Bonito-Grupo Guatá. R. Ciências Agrárias, 9:75-80, 1987.
- REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Nutricional Aspects of Pine Plantation. In: José Leonardo de Moraes Gonçalves; Vanderlei Benedetti. (Org). Forest Nutrition and Fertilization. 02 ed. Piracicaba: Centro de Estudos Vida & Consciência Editora Ltda., 1: 142-170, 2004.
- RODRIGUES, C. M. Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda* L. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná, 2004. 93p.
- ROSBERG, I.; Frank, J.; STUANES, A. Effects of liming and fertilization on tree growth and nutrient cycling in a Scots pine ecosystem in Norway. For. Ecolo. Manage., 237: 191-207, 2006.
- SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. Principais características dos solos que influem no crescimento do *Pinus taeda*, no segundo planalto paranaense. R. do Setor de Ciências Agrárias, 9: 107-111, 1987.
- SILVA, I. R.; SMYTH, T. J.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Physiological aspects of aluminum toxicity and tolerance in plants. In: ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, W.V.; COSTA, L.M. eds. Tópicos em ciência do solo, SBCS, 2: 277-335, 2002.
- SOUZA, D. M. P.; SOUZA, M. L. P. Alterações provocadas pelo florestamento de *Pinus sp.* na fertilidade de solos da região da Lapa-PR. Revista Floresta, 12: 36-50, 1981.
- TORRACA, S. M.; HAAG, H. P.; MIGLIORINI, A. J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. IPEF, 27: 41-47, 1984.
- TREVISAN, E. Classificação e caracterização de horizontes orgânicos sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa – PR- 1<sup>o</sup> Aproximação. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 1992. 106p.
- TREVISAN, E.; REISSMANN, C. B.; KOEHLER, J. M.; LIMA, J. C. Morfologia de horizontes orgânicos acumulados sob povoamentos de *Pinus taeda* L. em três sítios distintos. R. do Setor de Ciências Agrárias, 9: 59-62, 1987.
- UEBEL, E.; HEINSDORF, D. Results of long-term K and Mg fertilizer experiments in afforestation. For. Ecolo. Manage., 91: 47-52, 1997.
- VAN GOOR, C. P. Reflorestamento com coníferas no Brasil: aspectos ecológicos dos plantios do *Pinus* na Região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia*. [S.L.]: Ministério da Agricultura/D.R.N.R./ Divisão Silvicultura/Seção de Pesquisas Florestais, 1965. Não Paginado (boletim 9).
- VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L. Ciência Florestal, 19: 375-382, 2009.
- VIEIRA, 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. R. Árvore, 34: 85-94, 2010.
- VOGEL, H. L. M. Crescimento de *Pinus taeda*, relacionado a doses de N, P, K e sua diagnose nutricional pelo DRIS. R. Ciência Florestal, 13: 182-188, 2003.
- ZÖTTL, H. M.; TSCHINKEL, H. Nutrición y fertilización forestal: una guía práctica. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1971. 116p.
- WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. Forest Ecosystems: Concepts and management. New York: Academic Press, 1985. 340 p.

WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes em plantios de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa – PR. Arq. Biolo. Tecno., 39: 435-442, 1996.