

**CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE CLONE  
DE EUCALIPTO EM FUNÇÃO DA  
APLICAÇÃO DE C-ÁCIDOS HÚMICOS**

**GABRIELA LÚCIA PINHEIRO**

**2009**

**GABRIELA LÚCIA PINHEIRO**

**CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE CLONE DE EUCALIPTO EM  
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE C-ÁCIDOS HÚMICOS**

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

Orientador

Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Pinheiro, Gabriela Lúcia.

Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em função da  
aplicação de C-ácidos húmicos / Gabriela Lúcia Pinheiro. – Lavras :  
UFLA, 2009.

55 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto.

Bibliografia.

1. Substâncias húmicas. 2. Ácidos húmicos. 3. Ácido cítrico. 4.  
Ácido oxálico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.8

**GABRIELA LÚCIA PINHEIRO**

**CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE CLONE DE EUCALIPTO EM  
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE C-ÁCIDOS HÚMICOS**

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

APROVADA em 15 de junho de 2009

Prof. Carlos Alberto Silva	UFLA
Ana Rosa Ribeiro Bastos	UFLA
Profa. Zuy Maria Magriotis	UFLA

Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

## **OFEREÇO.**

A minha mãe, Lourdes, pelas orações, amor, carinho e dedicação.

Ao meu namorado, Ronei, pelo apoio, paciência e amor.

A minha tia Emilce, pelo amor, paciência e dedicação durante toda a minha infância, uma etapa importante da minha vida.

Ao meu avô Vicente, pela sabedoria, ensinamentos e brincadeiras.

As minhas queridas avós, Sebastiana e Rita, pelo amor incondicional.

Aos meus tios, tias, primos e primas, por fazerem parte de minha vida.

Aos meus amigos de infância, Lilian, Lorraine e Ananias, por todos os momentos de muita diversão que vivemos juntos.

## **DEDICO.**

Ao meu pai, José Maria (*in memoriam*), que certamente estaria orgulhoso por mim.

Ao meu amigo Taciano (*in memoriam*), pelo exemplo de luta e vontade de viver.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha existência, pela minha família que amo muito e por toda a proteção e luz em todos os momentos de minha vida.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de cursar a pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa.

Ao professor Carlos Alberto Silva, pela dedicação, paciência, orientação e amizade.

Ao professor Antônio Eduardo Furtini Neto, pela credibilidade e amizade.

À Doutora Ana Rosa Ribeiro Bastos, pela simpatia, amizade, atenção e sugestões.

À professora Zuy Maria Magriotis, pelas sugestões e por gentilmente aceitar fazer parte da banca de defesa.

Ao Hilton, pela amizade e prestimosa ajuda durante a fase laboratorial de minhas pesquisas.

Aos amigos Geila, César, Fabrício, Fábio Ono, Sílvio, Elen, Michele e Maurício, pelas palavras de conforto e valiosa ajuda para a concretização deste trabalho.

Aos funcionários do DCS, Roberto, “Pezão”, João Gualberto, Eliane, Daniela, Emerson, Gilson e Humberto, pela amizade.

Aos colegas da pós-graduação, pela agradável convivência.

Aos amigos do Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo, Bruno, Euzi, Wal, Samuel, Rodrigo, Thalita, Satoshi e Hilton, por tornar o dia-a-dia mais divertido e agradável.

A todos aqueles que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

**Muito obrigada!**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS .....	iv
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 Características e funções de ácidos húmicos e ácidos orgânicos...	5
2.2 Efeitos dos ácidos húmicos no crescimento e nutrição de plantas.	8
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Local de condução do experimento.....	12
3.2 Obtenção dos ácidos húmicos, cítrico e oxálico.....	12
3.3 Condução do experimento.....	13
3.4 Tratamentos e delineamento experimental.....	14
3.5 Variáveis analisadas .....	15
3.5.1 Altura da planta e diâmetro do caule.....	15
3.5.2 Matéria seca e razões caule/folha e raiz/ parte aérea .....	15
3.5.3 Teores e acúmulo de nutrientes .....	16
3.5.4 Condutividade eletrolítica .....	16
3.6 Análise estatística .....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1 Atributos de crescimento.....	17
4.2 Produção de matéria seca.....	19
4.3 Acúmulo de macronutrientes.....	26
4.4 Acúmulo de micronutrientes.....	35

5 CONCLUSÕES.....	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
ANEXOS .....	50



## LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1	Fórmula estrutural do ácido cítrico e do ácido oxálico (Fonte: Fiorucci et al., 2002) ..... 8
FIGURA 2	Altura da planta e diâmetro do caule de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva ..... 19
FIGURA 3	Matéria seca da raiz, caule, folhas e total de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva ..... 21
FIGURA 4	Condutividade eletrolítica na solução nutritiva em função da aplicação de doses de C-ácido húmico de diferentes materiais ..... 22
FIGURA 5	Razões caule/folha e raiz/parte aérea de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva ..... 23
FIGURA 6	Aspectos da parte aérea e raízes do eucalipto após 55 dias de cultivo em solução nutritiva com doses de C-ácido húmico do material húmico ..... 25
FIGURA 7	Acúmulo de N e P na matéria seca das folhas e do caule de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva ..... 29
FIGURA 8	Acúmulo de K e Ca na matéria seca das folhas e do caule de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva ..... 32
FIGURA 9	Acúmulo de Mg e S na matéria seca das folhas e do caule de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva..... 34

FIGURA 10	Acúmulo de Fe, Zn e Cu na matéria seca das folhas e do caule de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva .....	37
FIGURA 11	Acúmulo de B e Mn na matéria seca das folhas e do caule de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva .....	39

## LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 Atributos dos materiais fontes de ácidos húmicos .....	13
TABELA 2 Descrição dos tratamentos estudados .....	15

## LISTA DE ABREVIATURAS

UFLA – Universidade Federal de Lavras  
LE MOS – Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo  
pH – potencial hidrogeniônico  
AC – ácido cítrico  
AO – ácido oxálico  
AH p.a. – ácido húmico puro para análise  
MH – material húmico  
C-ácido húmico – carbono na forma de ácidos húmicos  
C-AF – carbono na forma de ácidos fúlvicos  
SH's – substâncias húmicas  
HCl – ácido clorídrico  
KOH – hidróxido de potássio  
MSR – matéria seca de raiz  
MSC – matéria seca de caule  
MSF – matéria seca de folha  
MSPA – matéria seca de parte aérea  
MST – matéria seca total

## RESUMO

PINHEIRO, Gabriela Lúcia. **Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em função da aplicação de C-ácidos húmicos**. 2009. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

As substâncias húmicas regulam o crescimento das plantas, uma vez que propiciam maior acúmulo/absorção de nutrientes e estimulam o crescimento radicular. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos de doses de ácidos húmicos na nutrição e no crescimento de mudas de eucalipto. O experimento foi conduzido em solução nutritiva, sob condições de casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Os tratamentos constituíram-se de duas fontes de ácidos húmicos (material húmico e ácido húmico p.a.), sendo cada fonte adicionada na solução nutritiva nas seguintes doses de C-ácido húmico: 0, 10, 30 e 150 mg L<sup>-1</sup>. Outros tratamentos foram também testados, utilizando-se a fonte ácido húmico p.a. (AH p.a.) nas doses de 0, 10, 30 e 150 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico, acrescida de 100 μmol L<sup>-1</sup> de ácido cítrico (AC) e de 100 μmol L<sup>-1</sup> de ácido oxálico (AO). Foram analisadas as seguintes variáveis: condutividade eletrolítica na solução nutritiva, diâmetro do caule e altura das plantas, peso de matéria seca de caule (MSC), folhas (MSF), parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), relação MSR:MSPA, relação MSC:MSF, acúmulo de nutrientes na MSC e na MSF. A aplicação de doses crescentes de C-ácido húmico resultou em decréscimo na produção de matéria seca e no acúmulo de nutrientes. Para o material húmico (MH), os efeitos de diminuição de alguns nutrientes foram menos expressivos, mas foram observados em doses de C-ácido húmico superiores a 30 mg L<sup>-1</sup>. A adição de AC e AO aumentou o acúmulo da maioria dos nutrientes catiônicos, principalmente Fe, na MSC e na MSF, e Zn, na MSF. Com exceção do K, na maioria das doses de ácido húmico aplicadas, houve um maior acúmulo de nutrientes nas folhas em relação ao caule. O MH afetou a relação MSR:MSPA, principalmente nas maiores doses de C-ácido húmico, na medida em que, proporcionalmente, as raízes cresceram a uma maior taxa do que a parte aérea.

---

<sup>1</sup>Comitê orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto (orientador) –UFLA. Carlos Alberto Silva (coorientador) – UFLA

## ABSTRACT

PINHEIRO, Gabriela Lúcia. **Growth and nutrition of clone of eucalyptus in function of the application of C-humic acids.** 2009. 55 p. Dissertation (M.Sc. in Soil Science) – Federal University of Lavras, MG.<sup>2</sup>

The humic substances regulate the plant growth since they provide greater accumulation/absorption of nutrients and stimulate the root growth. This study was carried out to evaluate the effects of humic acid doses on eucalyptus seedlings nutrition and growth. The experiment was conducted in nutrient solution under greenhouse conditions, at the Department of Soil Science/UFLA. The treatments consisted of two sources of humic acids (humic material and humic acid p.a.) and each source was added in four carbon doses, in the form of humic acid (0, 10, 30 and 150 mg L<sup>-1</sup>). Other treatments were applied using the source humic acid p.a. (HA p.a.) in doses of 0, 10, 30 and 150 mg L<sup>-1</sup> C-humic acid, combined with 100 µmol L<sup>-1</sup> citric acid (CA) and 100 µmol L<sup>-1</sup> of oxalic acid (OA). It was analyzed the following variables: electric conductivity of nutrient solution, the stem diameter and height of plants, weight of dry matter of stem (SDM), leaves (LDM), shoot (SDM), root (RDM) and total (TDM), RDM:SDM ratio and the SDM:LDM ratio, accumulation of nutrients in the SDM and LDM. The application of increasing doses of C-humic acid resulted in a decrease in the biomass production and in the accumulation of nutrients. For the humic material (HM) doses, the reduction in the nutrient accumulation and in the biomass were less expressive, but occurred in superior doses of 30 mg L<sup>-1</sup> C-humic acid. The addition CA and OA of increased the accumulation of the majority of the cationics nutrients, mainly Fe, in the SDM and LDM, and Zn, in the LDM. The nutrients accumulate preferentially in higher rates in the leaves, compared to the stem, except for K accumulation. The HM affected the root/shoot dry matter ratio, especially in higher doses of C-humic acid, since the root growth, proportionally, was higher than the shoot counterpart.

---

<sup>2</sup>Guidance committee: Antônio Eduardo Furtini Neto (adviser); Carlos Alberto Silva (co-adviser).

## 1 INTRODUÇÃO

As substâncias húmicas constituem o produto final de decomposição de resíduos orgânicos e representam o principal componente da matéria orgânica em água, solos e sedimentos. As substâncias húmicas atuam como condicionadoras de solo, gerando cargas, armazenando água, promovendo agregação das partículas, complexando metais, suprindo nutrientes para as plantas, etc. (Guerra et al., 2008), ou seja, atuam em propriedades, processos e características do solo e podem, indiretamente, otimizar o crescimento das plantas. Além disso, evidências experimentais têm demonstrado que as substâncias húmicas exercem efeitos positivos sobre o crescimento e o metabolismo das plantas, especialmente sobre o desenvolvimento radicular (Nardi et al., 2002).

Os ácidos húmicos, que constituem a fração reativa mais estável das substâncias húmicas, apresentam coloração escura, alto teor de anéis aromáticos e grupos funcionais hidrofílicos contendo oxigênio (Guerra et al., 2008). Devido à facilidade de sua separação das outras frações das substâncias húmicas, o ácido húmico é a fração mais estudada e sua principal aplicação comercial é na agricultura, onde o seu uso como insumo agrícola vem sendo pesquisado há algum tempo, com sucesso.

Os ácidos húmicos têm as mais diversas estruturas e composições elementares, as quais se mostram dependentes de suas fontes de origem e método de extração. Portanto, a principal dificuldade, ao estudar as propriedades dos ácidos húmicos e a sua interação com as plantas, deve-se à sua complexidade molecular. Além disso, avaliar o efeito de doses de ácidos húmicos em solos é difícil, pois existem efeitos indiretos que são confundidos com efeitos diretos sobre as plantas. Nesse sentido, o meio hidropônico vem sendo utilizado para estudar a influência dessas moléculas orgânicas sobre o

desenvolvimento das culturas, como forma de eliminar os efeitos indiretos das substâncias húmicas sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Até determinados níveis, as substâncias húmicas podem favorecer o desenvolvimento de plantas, afetando tanto a parte aérea como as raízes. Para a maioria das culturas já estudadas, a maior resposta da planta à aplicação de ácidos húmicos e fúlvicos ocorre entre 10 e 300 mg L<sup>-1</sup> na solução do solo (Silva Filho & Silva, 2009). Em função e devido a essa grande faixa de variação, a resposta das plantas às substâncias húmicas é dependente do tipo de matéria-prima utilizada na extração desses compostos e, principalmente, da espécie vegetal estudada. Matérias-primas orgânicas diversas apresentam, em sua composição, ácidos húmicos e fúlvicos de massas molares e composição química diferentes, bem como distintas concentrações desses ácidos, as quais podem causar efeitos variáveis sobre as plantas (Brun, 1993).

Com relação aos efeitos dos ácidos húmicos sobre o metabolismo das plantas, recentes trabalhos têm tentado comprovar o estímulo que eles exercem sobre o desenvolvimento das raízes das plântulas e sua possível associação com a indução da expressão da enzima H<sup>+</sup>-ATPase. Tem sido sugerido que o arranjo supramolecular dos ácidos húmicos sofre mudanças estruturais induzidos por exsudatos radiculares, tais como ácidos orgânicos de baixa massa molar, liberando subunidades bioativas com atividade auxínica que, ao emitir sinais, sensibilizam receptores, tanto na membrana plasmática como no citoplasma, desencadeando resposta semelhante à ação de fito-hormônios. Assim, a ativação da enzima H<sup>+</sup>-ATPase promove um aumento na absorção de nutrientes e a expansão radicular (Façanha et al., 2002; Canellas et al., 2005).

Os efeitos da influência de substâncias húmicas sobre a absorção de nutrientes, tanto sobre macro como micronutrientes, foram relatados por vários autores (Vaughan et al., 1985; Chen & Aviad, 1990) e aparentam estar seletiva e quantitativamente relacionados com a concentração de substâncias húmicas e o



pH do meio, pelo fato de os materiais húmicos serem quelatizantes de nutrientes indisponíveis e apresentarem um poder tampão de pH.

Assim, do ponto de vista de melhorias químicas no meio de cultivo, as substâncias húmicas podem ser utilizadas em soluções nutritivas no sentido de tamponar o meio, o que contribui para evitar variações bruscas no pH, toxidez de nutrientes e metais pesados, e isso favorece o desenvolvimento das plantas, em função da manutenção de nutrientes em concentrações adequadas para as culturas.

No Brasil, o setor florestal ocupa lugar de destaque no agronegócio e tem expressiva importância econômica e social, uma vez que é responsável pela geração de milhões de empregos diretos e indiretos. Aliado a isso, a função ecológica das florestas e sua contribuição ao meio ambiente podem ser vistas em termos de importante sumidouro, em função do sequestro de carbono na madeira e em outros compartimentos e sistemas das florestas plantadas, o que se explica devido ao rápido crescimento e grande potencial de produção de biomassa do eucalipto, o que é de fundamental importância para a diminuição das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera (Azevedo, 2007).

O sucesso do estabelecimento dos povoamentos florestais depende de vários fatores e, dentre eles, a formação de mudas de qualidade tem papel preponderante, sendo os cuidados realizados nessa fase essenciais para assegurar um cultivo sadio e vigoroso, fazendo com que a planta expresse seu potencial genético, influenciando, decisivamente, a formação do sistema radicular e a parte aérea da planta (Mafia et al., 2005). Aliado a isso, com a necessidade de buscar a otimização custo-benefício, o ideal é que o tempo de produção de mudas seja diminuído, devido à escassez de espaço em viveiros e por questões ligadas à logística de disponibilização de mudas em tempo hábil. Portanto, a aplicação de ácido húmico nessa fase de viveiro pode ser útil nesse sentido, já

que o custo é menor e os efeitos positivos desse tipo de aplicação têm sido relatados para várias culturas.

O solo é a principal fonte de ácido húmico, entretanto, um amplo espectro de produtos comerciais contendo substâncias húmicas extraídas de fontes minerais, como lignita e carvão, turfas, esterco e resíduos orgânicos humificados em geral, está disponível como condicionador de solo e estimulante vegetal (Rausa et al., 1994). Esses materiais comerciais e extraídos das matrizes mencionadas possuem composições distintas de ácidos húmicos, pois as matérias-primas utilizadas como fonte de substâncias húmicas apresentam propriedades diferentes. Além disso, o método utilizado para a extração dos ácidos húmicos pode elevar o pH desses produtos comerciais e dos extraídos, bem como aumentar a disponibilidade de alguns elementos químicos, como sódio e potássio, entre outros e, portanto, não atenderem à legislação, pelo fato de poderem afetar o desenvolvimento das plantas. Assim, há uma necessidade de comparar os produtos contendo substâncias húmicas com ácidos húmicos puros, para a obtenção de dados que possam nortear o uso de produtos comerciais no sentido de propiciar um melhor desenvolvimento de mudas de eucalipto.

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de doses de ácidos húmicos, na presença ou não de ácidos cítrico e oxálico, sobre o crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes em mudas de eucalipto cultivadas em solução nutritiva.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Características e funções de ácidos húmicos e ácidos orgânicos

Os ácidos orgânicos são hidrocarbonetos de baixa massa molar originados no metabolismo de compostos como carboidratos, lipídeos e peptídeos (Fox & Comerford, 1990). Dependendo da constante de ionização e do número de grupos carboxílicos, os ácidos orgânicos podem apresentar número variável de cargas negativas que permitem a complexação de cátions metálicos em solução e o deslocamento de ânions da matriz do solo. Por esta razão, eles estão presentes em muitos processos biológicos, como na mobilização e na absorção de nutrientes por plantas e microrganismos, na tolerância de algumas plantas a metais, na proliferação de microrganismos na rizosfera, além de atuarem na intemperização dos minerais do solo (Marschner, 1995).

Grande parte dos ácidos orgânicos de baixa massa molar está localizada em microssítios de adsorção, portanto, a concentração desses ácidos na solução da maioria dos solos cultivados, normalmente, é menor que  $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Estudos relacionados à atuação desses ácidos orgânicos em áreas cultivadas são incipientes, visto que essas pesquisas têm sido feitas em áreas de florestas e alguns resultados têm demonstrado que a concentração desses ácidos é dois terços menor em áreas cultivadas, quando comparada às determinadas em solos de florestas (Guppy et al., 2005).

As raízes liberam diversos ácidos orgânicos de baixa massa molar, tais como cítrico, málico, oxálico, butírico, acético e láctico. A concentração desses compostos é dependente da variedade ou espécie vegetal, da idade fisiológica e do estágio metabólico das plantas. Outros fatores, como umidade, temperatura, aeração e nível de fertilidade do solo, também afetam a concentração de ácidos

orgânicos na rizosfera, já que regulam a atividade microbiana do solo e a exsudação desses compostos pelas raízes (Jones, 1998).

Além de ácidos orgânicos, outros compostos orgânicos (aminoácidos, açúcares, lipídeos, proteínas e enzimas, entre outros) são exsudados pelas raízes (Ali et al., 2000). Entretanto, Jones (1998) sugere que as concentrações de ácidos orgânicos na rizosfera dos solos são altas em relação a outros componentes de exsudados de raiz, podendo ocorrer concentrações de até 50 mmol L<sup>-1</sup> a 1 mm da superfície radicular. Desse modo, o sistema radicular possui uma atividade intensa que modifica o solo do seu entorno (Pires, 2003), pela presença de substâncias orgânicas, sejam elas humificadas ou não.

Diferentemente dos ácidos orgânicos de baixa massa molar, que têm existência transitória no solo, os ácidos orgânicos de alta massa molar que compõem as substâncias húmicas, como o húmico e o fúlvico, são mais estáveis e persistem por mais tempo no solo (Pavinato & Rosolem, 2008).

A composição média de uma unidade básica de ácido húmico, em termos de fórmulas químicas, é C<sub>187</sub>H<sub>186</sub>O<sub>89</sub>N<sub>9</sub>S (Guerra et al., 2008). Quanto à estrutura dos ácidos húmicos, nos modelos propostos, tem sido observada a presença de espaços vazios de diferentes tamanhos, onde poderiam alojar-se outros compostos orgânicos, como carboidratos, proteínas, agrotóxicos e poluentes, além de elementos inorgânicos, como argilas e óxidos-hidróxidos (Schulten & Schnitzer, 1997).

Da mesma forma que os ácidos orgânicos de baixa massa molar, os ácidos húmicos podem complexar e/ou quelatar cátions, devido à sua grande quantidade de grupos funcionais livres. Essa propriedade dos ácidos orgânicos, além de afetar a mobilidade desses elementos em solos, favorece o desenvolvimento das plantas, pois torna os nutrientes mais solúveis e disponíveis (López, 2002).

A formação de um complexo metálico estável com um ligante orgânico ocorre com o deslocamento de moléculas de água de solvatação do íon pelo grupo funcional com maior afinidade e, com isso, ocorre o compartilhamento de elétrons (Canellas et al., 2008). Vários autores consideram os grupos carboxílicos e hidroxílicos os principais responsáveis pela resposta das plantas às substâncias húmicas (Albuzio et al., 1986; Piccolo et al., 1992), provavelmente por serem os sítios de complexação de maior atividade em ácidos húmicos e fúlvicos.

A afinidade dos cátions pelos sítios de carga negativa na matéria orgânica segue a ordem descrita por Irving & Williams (1953):  $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ . Entretanto, essa sequência nem sempre é observada, pois existem vários fatores que, como, por exemplo, a natureza do sítio de carga negativa e sua conformação molecular, interferem na determinação das constantes de estabilidade das reações entre íons e grupamentos funcionais orgânicos (Canellas et al., 2008). No estudo de fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos, dados obtidos por Pegoraro et al. (2006) mostraram que existe maior afinidade de Fe e Cu com os compostos orgânicos, em comparação ao Zn e Mn.

A disposição das cargas dos ácidos orgânicos também influencia a formação de complexos no solo. O ácido cítrico (Figura 1a), com grupamento  $\text{OH}^-$  no meio da molécula e ao lado de um dos grupamentos  $\text{COOH}$ , é favorecido no momento da interação com a fração mineral do solo (Stevenson, 1967), podendo formar quelatos e neutralizar, de forma estável, os sítios de adsorção do solo. O ácido oxálico (Figura 1b) abrange apenas grupamentos  $\text{COOH}$ , os quais têm menor participação em reações que os grupos funcionais do ácido cítrico e, quando essas reações ocorrem, são menos estáveis (Pavinato & Rosolem, 2008).

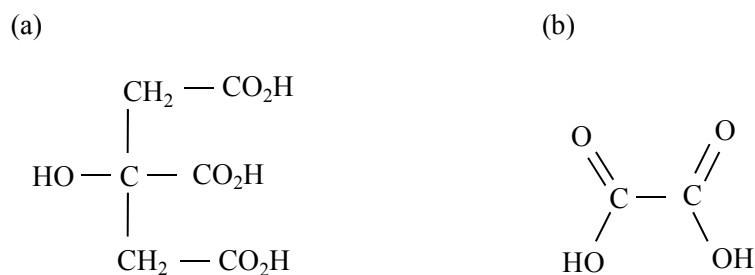


FIGURA 1 Fórmula estrutural do ácido cítrico (a) e do ácido oxálico (b) (Fiorucci et al., 2002)

Com relação ao efeito tóxico do Al à biota, os ácidos cítrico e oxálico formam complexos de alta estabilidade com esse elemento e são mais eficientes na amenização da sua toxicidade às plantas, quando comparados com os ácidos fórmico, maleico, acético e succínico (Hue et al., 1986). O citrato, principalmente por ser um ânion tricarbóxico, forma quelatos com o  $\text{Al}^{3+}$  muito mais estáveis que o malato e o oxalato (Hartwig et al., 2007). É evidente que a afinidade de ligantes orgânicos por cátions é importante, tanto no aspecto nutricional das plantas como em processos de formação de complexos solúveis com metais pesados, influenciando diretamente a fitodisponibilidade desses elementos químicos.

## 2.2 Efeitos dos ácidos húmicos no crescimento e na nutrição de plantas

O estudo da ação direta das substâncias húmicas sobre o metabolismo e o crescimento das plantas tem se concentrado, principalmente, na ação dos ácidos fúlvicos. Essa fração húmica apresenta menor massa molar que a fração ácido húmico, podendo acessar mais facilmente possíveis receptores na superfície da membrana plasmática ou no interior da célula (Vaughan et al., 1985). Entretanto, alguns trabalhos vêm demonstrando também a ação dos

ácidos húmicos sobre as plantas, em papéis que se assemelham aos de moléculas de menor massa molar (Canellas et al., 2006).

Os efeitos das substâncias húmicas na absorção iônica pelas raízes das plantas não são facilmente explicáveis, devido à natureza complexa e ainda desconhecida dessas substâncias. É possível que as substâncias húmicas possam exercer inúmeros efeitos nas plantas e que alguns desses efeitos possam resultar, direta ou indiretamente, em uma regulação da absorção de íons (Nardi et al., 2002).

Kiehl (1985) afirma que as raízes das plantas podem absorver e metabolizar substâncias orgânicas fisiologicamente ativas, como as substâncias húmicas e os ácidos fenólicos, carboxílicos e aminoácidos. Vaughan et al. (1985) afirmam que as substâncias húmicas têm efeito direto no metabolismo das plantas, implicando na sua absorção pelos tecidos vegetais.

Em trabalho que teve por objetivo avaliar a produção de matéria seca e o desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) em solução nutritiva, Silva et al. (1999) aplicaram quatro doses de substâncias húmicas (0, 10, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup>) provenientes de carvão e constataram um aumento do comprimento do sistema radicular de 247% e de 163% na produção de matéria seca da parte aérea, quando a dose de substâncias húmicas passou de 0 para 30 mg L<sup>-1</sup>.

Chen et al. (2004), em experimento com melão, soja e azevém, demonstraram que o ácido húmico aumentou a manutenção de Fe e Zn na solução do solo com pH igual a 7,5, promovendo maior crescimento das plantas. Fernández-Escobar et al. (1996) também mostraram a influência positiva da aplicação foliar de ácidos húmicos na absorção de nutrientes, tais como K, Mg, Ca, B e Fe.

Mackowiak et al. (2001) avaliaram os efeitos de um ácido húmico comercial no crescimento e na absorção de micronutrientes em trigo (*Triticum*

*aestivum*) cultivado hidroponicamente e verificaram que as plantas tratadas com ácido húmico apresentaram ausência de clorose intervenal nas folhas, o que não ocorreu no tratamento-controle (sem ácido húmico).

Sharif et al. (2002), em experimentos em vasos, avaliaram os efeitos de ácido húmico no crescimento do milho (*Zea mays*), demonstrando aumento significativo de aproximadamente 32% de massa seca do milho, comparada ao controle. Os valores de pH foram reduzidos em apenas 0,2 e 0,3 unidades nos tratamentos que receberam o ácido húmico. Ainda, a adição desse ácido aumentou a concentração de P no solo e resultou em maior acúmulo de N pela cultura.

Adani et al. (1998) avaliaram os efeitos de doses de ácidos húmicos extraídos de produtos comerciais (turfa e leonardita) sobre a nutrição e o crescimento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum L.*) em cultivo hidropônico. Estes autores verificaram que o ácido húmico da turfa estimulou o crescimento radicular, especialmente na dose 20 mg L<sup>-1</sup> e que o ácido húmico da leonardita exerceu efeitos positivos tanto na parte aérea como na raiz, na dose 50 mg L<sup>-1</sup>. Ambos os produtos aumentaram a absorção de N, P e Fe, estando a maior disponibilidade de Fe para a cultura relacionada à redução de Fe<sup>+3</sup> em Fe<sup>+2</sup> pelos ácidos húmicos.

Em contraste com estes autores, Laiche (1991) concluiu que os ácidos húmicos têm efeito negativo no crescimento de algumas plantas ornamentais, sendo avaliada por esse autor a eficiência dos ácidos húmicos na liberação de nutrientes, no índice de crescimento, no peso de matéria fresca e na taxa de crescimento de raízes de quatro espécies de plantas ornamentais. O mesmo autor verificou que, quando os ácidos húmicos foram aplicados de forma isolada, a taxa de crescimento e a matéria seca diminuíram com a dose aplicada, enquanto que, ao serem aplicados em conjunto com duas doses de fertilizantes, não houve efeito significativo no crescimento das plantas.



Façanha et al. (2002) observaram o estímulo à atividade da H<sup>+</sup>-ATPase por ácidos húmicos adicionados à solução nutritiva na qual cresciam plântulas de milho. Esse aumento na atividade enzimática causou um acréscimo na atividade da bomba de prótons e, conseqüentemente, acidificação do apoplasto, favorecendo o aumento da plasticidade e promovendo o alongamento da parede celular e o crescimento de raízes.

Eyheraguibel et al. (2008) avaliaram os efeitos de substâncias similares quimicamente às húmicas no desenvolvimento e na nutrição mineral de plantas de milho cultivadas sob condições hidropônicas. Estes pesquisadores observaram que as plantas tratadas com essas substâncias exibiram alta proliferação de raízes laterais e absorveram maiores quantidades de K, Ca, P, N e Mn. Verificaram também maior concentração dos nutrientes, principalmente de Cu, Mg e S nas raízes, em relação ao caule e às folhas, sugerindo como explicação para esse comportamento o fato de os nutrientes estarem em contato direto com as raízes.

Acredita-se que as substâncias húmicas também atuem sobre a fotossíntese, entretanto, esses efeitos ainda não foram devidamente esclarecidos. Caliman et al. (2005), em um trabalho desenvolvido em condições de viveiro, com o objetivo de avaliar o crescimento e a fotossíntese de clones de cacau submetidos a diferentes doses de turfa líquida, observaram, de maneira geral, maior crescimento da área foliar, assim como maiores taxas fotossintéticas. De acordo com Silva et al. (1995), esses aumentos podem estar relacionados com elevações da taxa respiratória que também resultam em aumentos na produção de ATP havendo, conseqüentemente, uma interferência na absorção de nutrientes.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local de condução do experimento**

O estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG. O município de Lavras está localizado na região sul do estado de Minas Gerais, a uma altitude média de 918 m, nas coordenadas latitude 21°14'S e longitude 45°00'W GRW. As médias anuais de temperatura do ar, máxima e mínima, são, respectivamente, de 26,1° e 14,4°C, sendo a temperatura média anual de 19,4°C (Brasil, 1992). O clima regional é do tipo Cwa, mas apresenta características de Cwb, com duas estações distintas: seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), segundo a classificação de Koppen (1970).

#### **3.2 Obtenção dos ácidos húmicos, cítrico e oxálico**

O ácido cítrico (AC) e o ácido oxálico (AO) utilizados no experimento são puros para análise da marca Merck. As fontes de ácidos húmicos se constituíram de material húmico líquido rico em ácido húmico (MH) e de ácido húmico puro para análise (AH p.a.).

A caracterização física e química das fontes de ácidos húmicos foi realizada no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo (LEMOS), do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. As características dos materiais utilizados como fontes de ácidos húmicos encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1 Atributos dos materiais fontes de ácidos húmicos.

Atributo	Produto	
	MH	AH p.a.
Densidade (g mL <sup>-1</sup> )	1,17	---
pH	10,5	5,3
Condutividade eletrolítica (dS m <sup>-1</sup> )	35,0	17,4
<sup>1</sup> Carbono orgânico total (g kg <sup>-1</sup> )	62,8	542,6
<sup>2</sup> C - ácido húmico (g kg <sup>-1</sup> )	7,9	81,0
<sup>3</sup> N-total (g kg <sup>-1</sup> )	107,8	46
<sup>4</sup> P (g kg <sup>-1</sup> )	9,4	1,3
<sup>5</sup> K (g kg <sup>-1</sup> )	59,7	0,4
<sup>6</sup> Ca (g kg <sup>-1</sup> )	n.d	n.d
<sup>6</sup> Mg (g kg <sup>-1</sup> )	n.d	n.d
<sup>7</sup> S (g kg <sup>-1</sup> )	2,2	11,8
<sup>5</sup> Na (g kg <sup>-1</sup> )	12,5	69
<sup>4</sup> B (mg kg <sup>-1</sup> )	68,5	23,4
<sup>6</sup> Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	7,9	13,2
<sup>6</sup> Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	588	965
<sup>6</sup> Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	3,9	14,5
<sup>6</sup> Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	15,6	32,2

<sup>1</sup>Oxidação com dicromato (Yeomans & Bremner, 1988); <sup>2</sup>Teor de carbono na forma de ácidos húmicos (Benites et al., 2003); <sup>3</sup>Destilação a vapor após digestão (*Kjeldhal*) com ácido sulfúrico e mistura catalítica; <sup>4</sup>Colorimetria; <sup>5</sup>Fotometria de emissão de chama; <sup>6</sup>Espectrofotometria de absorção atômica; <sup>7</sup>Turbidimetria; n.d.= não detectável.

### 3.3 Condução do experimento

As mudas de eucalipto utilizadas no experimento foram propagadas vegetativamente do material clonal GG 100 (híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*) e adquiridas, com 30 dias de idade, do viveiro Bela Vista, em Campo Belo, MG.

Inicialmente, as mudas foram transferidas para bandejas plásticas contendo 36 L de solução nutritiva de Clark (1975), com um quarto da força iônica e pH ajustado para 6,0, durante a aclimatação. A força iônica da solução foi aumentada semanalmente, até atingir 100% da força iônica original, ao

término de três semanas. Em 100% de sua força iônica, a solução continha: 1,0 mmol L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub> H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 6 mmol L<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub>; 4,0 mmol L<sup>-1</sup> CaNO<sub>3</sub> × 4 H<sub>2</sub>O; 2,0 mmol L<sup>-1</sup> MgSO<sub>4</sub> × 7 H<sub>2</sub>O; 80 μmol L<sup>-1</sup> Fe-EDTA; 46,30 μmol L<sup>-1</sup> de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 14,38 μmol L<sup>-1</sup> de MnCl<sub>2</sub>; 0,76 μmol L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> × 7 H<sub>2</sub>O; 0,32 μmol L<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub> × 5 H<sub>2</sub>O e 0,07 μmol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> × H<sub>2</sub>O. Após o período de aclimação, as plantas foram individualizadas em vasos plásticos com capacidade para 3,5 L. Foram utilizadas placas de isopor, de 4 cm de espessura, como suporte para as plantas. Durante todo o período experimental (55 dias), as plantas receberam aeração constante; além disso, procediam-se a troca das soluções e a reposição das doses dos materiais húmicos a cada 15 dias.

Na preparação de todas as soluções estoques dos nutrientes, empregaram-se reagentes p.a. As soluções nutritivas foram preparadas utilizando-se água deionizada e, durante o intervalo de renovação das soluções, o volume dos vasos foi completado, sempre que necessário, utilizando-se água deionizada, sendo o pH corrigido diariamente para 5,5 (±0,2), pela adição de KOH ou HCl, 0,5 mol L<sup>-1</sup>.

### **3.4 Tratamentos e delineamento experimental**

Os tratamentos se constituíram de duas fontes de ácidos húmicos (MH e AH p.a.), tendo cada fonte sido adicionada à solução nutritiva em quatro doses de C-ácido húmico (0, 10, 30 e 150 mg L<sup>-1</sup>). Outros tratamentos foram aplicados utilizando a fonte AH p.a. nas doses 0, 10, 30 e 150 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico, acrescida de 100 μmol L<sup>-1</sup> de AC e 100 μmol L<sup>-1</sup> de AO. O delineamento estatístico utilizado foi o em blocos ao acaso, com 12 tratamentos (Tabela 2) e 3 repetições, totalizando 36 parcelas experimentais.

TABELA 2 Descrição dos tratamentos estudados.

Tratamento	Descrição
1	0 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (AH p.a.)
2	10 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (AH p.a.)
3	30 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (AH p.a.)
4	150 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (AH p.a.)
5	0 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (AH p.a.) + 100 µmol L <sup>-1</sup> AC + 100 µmol L <sup>-1</sup> AO
6	10 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (AH p.a.) + 100 µmol L <sup>-1</sup> AC + 100 µmol L <sup>-1</sup> AO
7	30 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (AH p.a.) + 100 µmol L <sup>-1</sup> AC + 100 µmol L <sup>-1</sup> AO
8	150 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (AH p.a.) + 100 µmol L <sup>-1</sup> AC + 100 µmol L <sup>-1</sup> AO
9	0 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (MH)
10	10 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (MH)
11	30 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (MH)
12	150 mg L <sup>-1</sup> C-ácido húmico (MH)

### 3.5 Variáveis analisadas

#### 3.5.1. Altura da planta e diâmetro do caule

Após 55 dias de cultivo das mudas, foram efetuadas as medições de altura, utilizando-se uma fita métrica e o diâmetro do caule, por meio de paquímetro digital.

#### 3.5.2 Matéria seca e razões caule/folha e raiz/parte aérea

O material vegetal colhido foi lavado em água destilada e separado em raízes, caules e folhas. Posteriormente, foram acondicionados separadamente em sacos de papel, secos em estufa com circulação forçada de ar a 65°-70°C e pesados em balança de precisão (0,01 g), para a obtenção da matéria seca de raízes, caules e folhas. De posse dos resultados, obteve-se a relação entre os pesos da matéria seca de caule e de folhas e a relação entre os pesos da matéria seca de raiz e da parte aérea.

### **3.5.3 Teores e acúmulo de nutrientes**

As análises dos teores de nutrientes nos tecidos vegetais foram realizadas conforme descrito por Malavolta et al. (1997). Para tanto, o material vegetal seco foi moído em moinho do tipo Willey e submetido à digestão nítroperclórica, para posterior análise dos teores totais de macro e micronutrientes. As determinações dos teores de P foram realizadas por colorimetria; K, por fotometria de emissão de chama; S, por turbidimetria e Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica. Para a análise dos teores de N, foi realizada a digestão sulfúrica do material vegetal, sendo a quantificação feita pelo método semimicro Kjeldahl. O B foi extraído por incineração e seus teores determinados por colorimetria.

Relacionando-se os teores dos nutrientes com a matéria seca produzida no caule e nas folhas foi determinado o acúmulo de cada nutriente no tecido vegetal.

### **3.5.4 Condutividade eletrolítica**

Após a adição de doses de C-ácido húmico, foi realizada leitura da condutividade eletrolítica nas soluções nutritivas, utilizando-se um condutivímetro portátil.

### **3.6 Análise estatística**

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software Sisvar (Ferreira, 2000). Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade, utilizando-se o teste de F. Quando houve efeito significativo dos tratamentos, bem como interação das fontes de ácido húmico *versus* doses, foi feito o desdobramento e estudado o efeito de doses sobre as variáveis de crescimento do eucalipto, por meio de análise de regressão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos de crescimento

As fontes de ácidos húmicos e a adição de C-ácido húmico, assim como a interação desses fatores, exerceram efeitos significativos nos parâmetros de crescimento do eucalipto (Quadro 3A).

A altura das plantas foi significativamente afetada pelas doses de C-ácido húmico em solução nutritiva. Verifica-se, pelo gráfico da Figura 2A, que a altura da planta diminuiu com o aumento das doses de C-ácido húmico em solução. As alturas máxima e mínima verificadas para o eucalipto foram, respectivamente, 68 cm, com a utilização do AH p.a. na dose  $0 \text{ mg L}^{-1}$  C-ácido húmico +  $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  AC +  $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  AO, e 30,5 cm, com a utilização do MH na dose  $150 \text{ mg L}^{-1}$  C-ácido húmico.

Chen & Avid (1990) compilaram os resultados de promoção de crescimento vegetal induzido por substâncias húmicas e verificaram que a promoção do desenvolvimento das plantas em solução nutritiva é aumentada significativamente na presença de diferentes doses de substâncias húmicas. Segundo esses autores, a resposta das plantas estaria relacionada com o aumento da solubilidade de alguns elementos traços (ex., Fe e outros micronutrientes), por meio da formação de um complexo solúvel com as substâncias húmicas. Portanto, o maior valor de crescimento verificado para o eucalipto (68 cm) pode estar relacionado à maior absorção de Fe e Zn obtida na utilização do AH p.a. na dose  $0 \text{ mg L}^{-1}$  C-ácido húmico +  $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  AC +  $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  AO (Figura 10a, b e c).

De maneira geral, o diâmetro do caule diminuiu com o aumento das doses de C-ácido húmico em solução (Figura 2b). O modelo matemático do tipo linear foi o que melhor se ajustou aos dados relativos ao efeito de fontes de ácidos húmicos sobre o diâmetro do caule.

Busanello et al. (2005) constataram, avaliando o crescimento de mudas de alface sob níveis menores de substâncias húmicas, aumento no diâmetro do colo e na altura das plantas. A maioria dos trabalhos realizados (Silva et al., 1999; Nardi et al., 2002) evidencia maior crescimento das plantas até certas doses de ácido húmico e, segundo Nardi et al. (2002), a resposta das plantas às substâncias húmicas depende da origem, da concentração, do grau de purificação e do peso molecular da fração húmica.

Assim, os ácidos húmicos encontrados em concentrações variáveis em minérios de lignitos, turfa, carvão mineral, resíduos orgânicos humificados, entre outros, podem apresentar diferentes estruturas químicas e grupos funcionais com diferentes capacidades de complexar íons, o que implica em maior ou menor disponibilidade de nutrientes para as plantas. Além disso, os valores de peso dos ácidos húmicos variam entre 20.000 a 100.000 daltons (McBride, 1994), portanto, são considerados como frações de peso molecular relativamente grande e isso pode dificultar, em função da massa molar do complexo formado, sua absorção pelas raízes das plantas (Vaughan et al., 1985).



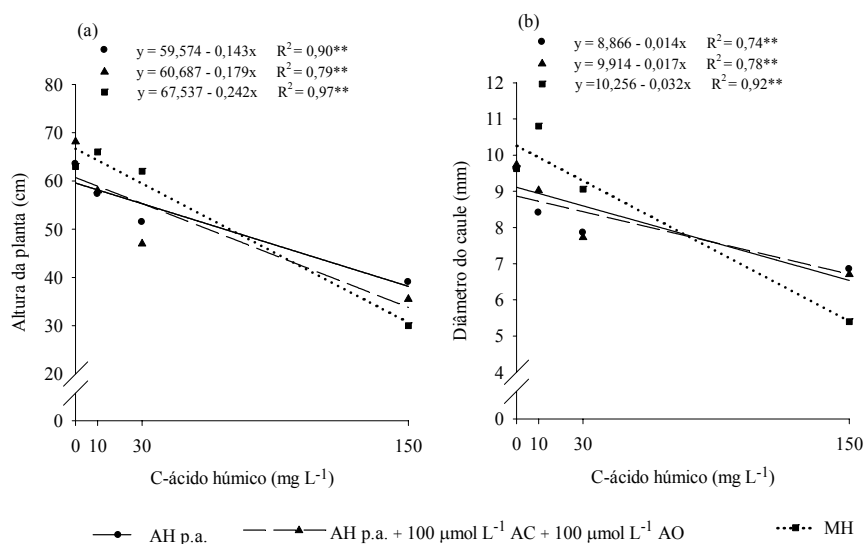


FIGURA 2 Altura da planta (a) e diâmetro do caule (b) de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva. AH p.a. = ácido húmico p.a.; MH = material húmico; AC = ácido cítrico, AO = ácido oxálico.

#### 4.2 Produção de matéria seca

A produção de matéria seca do caule, folhas e total não apresentou resultados significativos para os efeitos fontes de ácidos húmicos, mas foi influenciada pelas doses e pela interação entre fontes  $\times$  doses (Quadro 3A).

De maneira geral, a produção de matéria seca da raiz, do caule, das folhas e total diminuiu com a adição de doses crescentes de C-ácido húmico (Figura 3). Este comportamento, mais evidente com a utilização do MH, pode ser atribuído à presença de vários nutrientes em concentrações elevadas e à carga desses nutrientes aplicadas em cada dose de C-MH testada, uma vez que a concentração de C-ácido húmico no MH é bastante inferior à do AH p.a. e o cálculo das doses de C-ácido húmico foi feito com base na concentração deste ácido em cada fonte.

Segundo Brun (1993), matérias-primas orgânicas diversas apresentam, em sua composição, ácidos húmicos diferentes. Assim, os materiais utilizados, além de possuírem distintas proporções de nutrientes, bem como de sódio, provavelmente apresentam, em sua composição, ácidos húmicos de estrutura química e massas molares diferentes.

O AH p.a., na ausência de ácidos orgânicos, apresentou, dentro do intervalo de doses estudado, comportamento linear e do tipo raiz quadrada de decréscimo em produção de matéria seca (Figura 3), sendo a produção de matéria seca total diminuída em 78,6% na maior dose de C-ácido húmico testada.

A concentração de sódio no AH p.a. é cerca de cinco vezes maior que no MH. Sabe-se que este elemento não é essencial para o desenvolvimento da maioria das plantas e, além disso, sua presença na solução nutritiva pode modificar a velocidade de absorção de um nutriente, por inibição competitiva. Segundo Faquin (2005), isso pode ocorrer quando os dois elementos químicos se combinam com o mesmo sítio do carregador na membrana. Portanto, os decréscimos nos valores de produção de matéria seca com o aumento das doses de C-ácido húmico também podem estar relacionados à presença desse elemento químico na solução, contribuindo para uma menor absorção dos nutrientes.

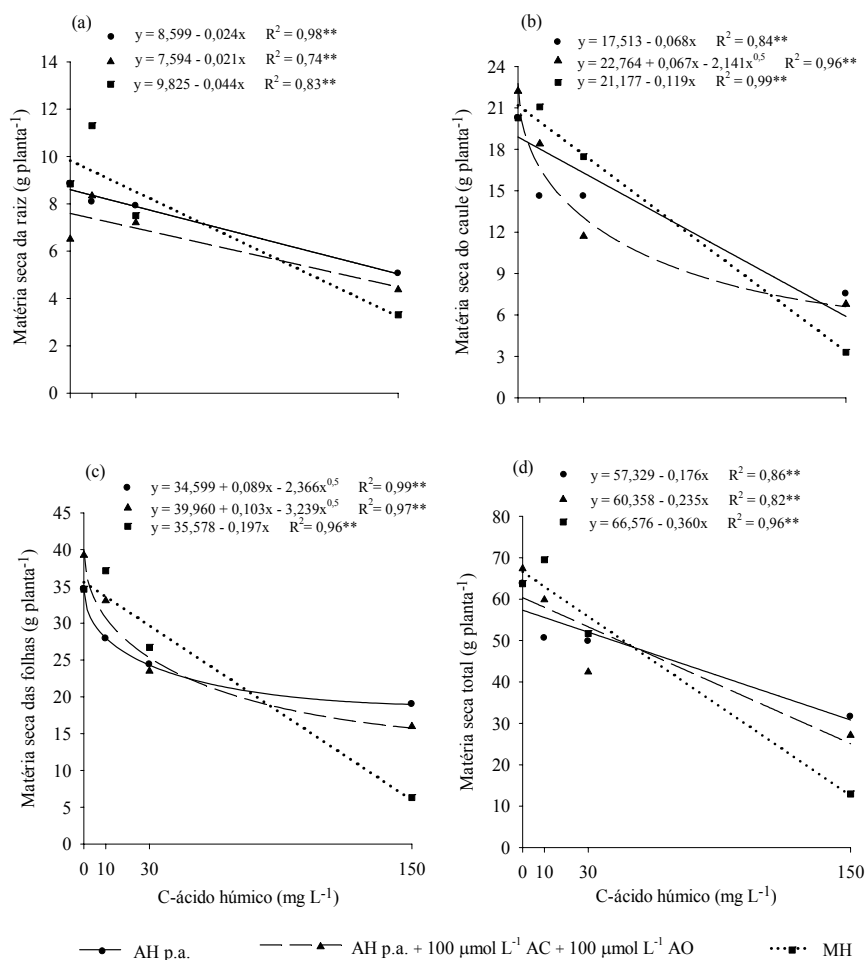


FIGURA 3 Matéria seca da raiz (a), caule (b), folhas (c) e total (d) de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva. AH p.a. = ácido húmico p.a.; MH = material húmico; AC = ácido cítrico, AO = ácido oxálico

Ressalta-se que ambas as fontes apresentam em sua composição elementos químicos que contribuem para aumentar a condutividade eletrolítica na solução. Assim, como era previsto, a adição de doses crescentes de C-ácido húmico em solução aumentou linearmente a condutividade, independentemente das fontes de ácidos húmicos testadas (Figura 4).

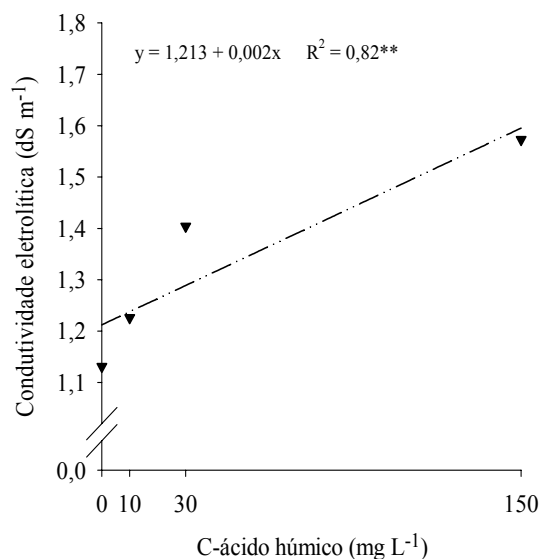


FIGURA 4 Condutividade eletrolítica na solução nutritiva, em função da aplicação de doses de C-ácido húmico.

Segundo Alfenas et al. (2004), na maioria dos viveiros, a condutividade eletrolítica da solução fertilizante é mantida na faixa de 1,5-2,0 dS m<sup>-1</sup>. Mas, os autores ressaltam que, em alguns viveiros, o valor gira em torno de 0,8 dS m<sup>-1</sup> no verão e de 1,8 a 2,0 dS m<sup>-1</sup> no inverno, pois a evapotranspiração e a atividade metabólica são mais baixas no inverno que no verão.

Com relação ao nível ótimo de condutividade eletrolítica em substratos para cultivos de plantas, Lopes et al. (2008) citam valores na faixa de 0,76-1,25 dS m<sup>-1</sup> na relação substrato:água de 1:2. Portanto, a faixa de variação de condutividade eletrolítica obtida na solução nutritiva (1,13-1,57 dS m<sup>-1</sup>) é superior aos valores recomendados, o que justifica, entre outros fatores condicionantes, os decréscimos em produção de matéria seca com o aumento das doses de C-ácido húmico.

As razões caule/folha e raiz/parte aérea também apresentaram resultados significativos para os efeitos das fontes, das doses de C-ácido húmico e da interação entre estes dois fatores (Quadro 3A).

O AH p.a., na presença ou não de ácidos cítrico e oxálico, apresentou ajuste do tipo linear, sendo notado decréscimo entre a relação de matéria seca do caule e das folhas. Para o MH, em função da maior produção da matéria seca do caule em relação à matéria seca das folhas na dose 30 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico, não foi possível um ajuste matemático do tipo linear, quadrático ou do tipo raiz quadrada aos valores obtidos (Figura 5a).

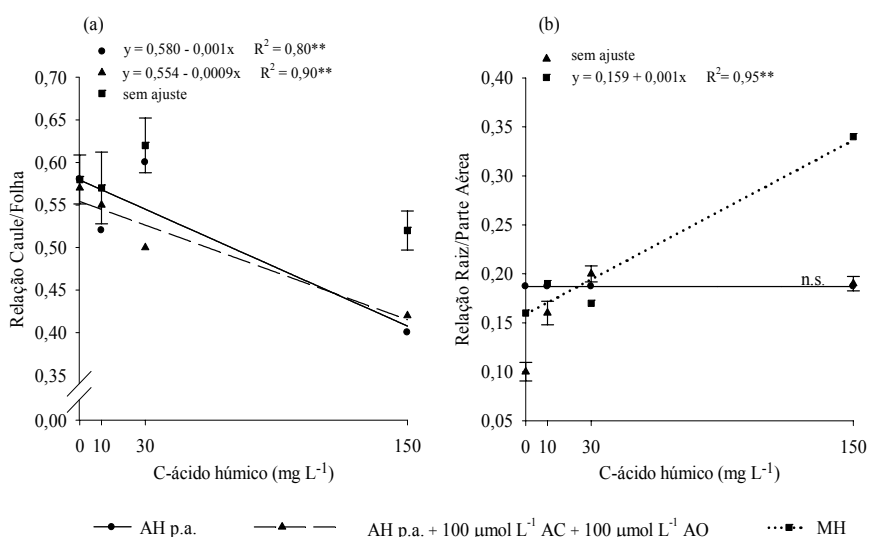


FIGURA 5 Razões caule/folha (a) e raiz/parte aérea (b) de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva. AH p.a. = ácido húmico p.a.; MH = material húmico; AC = ácido cítrico, AO = ácido oxálico, n.s. = não significativo.

As doses de C-ácido húmico do MH e do AH p.a. na presença de ácidos cítrico e oxálico proporcionaram efeitos significativos sobre a relação entre produção de matéria seca de raiz e parte aérea. Nota-se que, proporcionalmente,

as taxas de crescimento das raízes foram superiores em relação à da parte aérea, com o aumento das doses de C-ácido húmico do MH (Figura 5b). Provavelmente, a formação de um complexo de alta massa molar, ou a maior presença na solução de ligantes orgânicos, impediu ou dificultou a absorção de nutrientes pela plantas. Outra explicação está relacionada ao efeito de translocação, dado que a raiz absorve o nutriente em sua forma simples ou complexada, mas não é capaz de transferi-lo para a parte aérea.

O sistema radicular foi afetado pelas doses de C-ácido húmico do MH (Figura 6b). O volume ocupado pelas raízes, bem como o número de raízes finas, é maior na dose 10 que na dose de 150 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico, o que colaborou para os maiores acúmulos de nutrientes na matéria seca das folhas e do caule obtidos na menor dose de C-ácido húmico. Segundo Vilela & Anghinoni (1984) e Anghinoni & Meurer (1999), raízes mais finas resultam em maior capacidade de absorver nutrientes e a exploração de um grande volume de solo pelas raízes é importante, principalmente para a absorção dos nutrientes que se deslocam pelo mecanismo da difusão, valendo a ressalva de que, por se tratar de experimento com solução nutritiva, não houve restrição a esse processo de transporte de nutrientes.

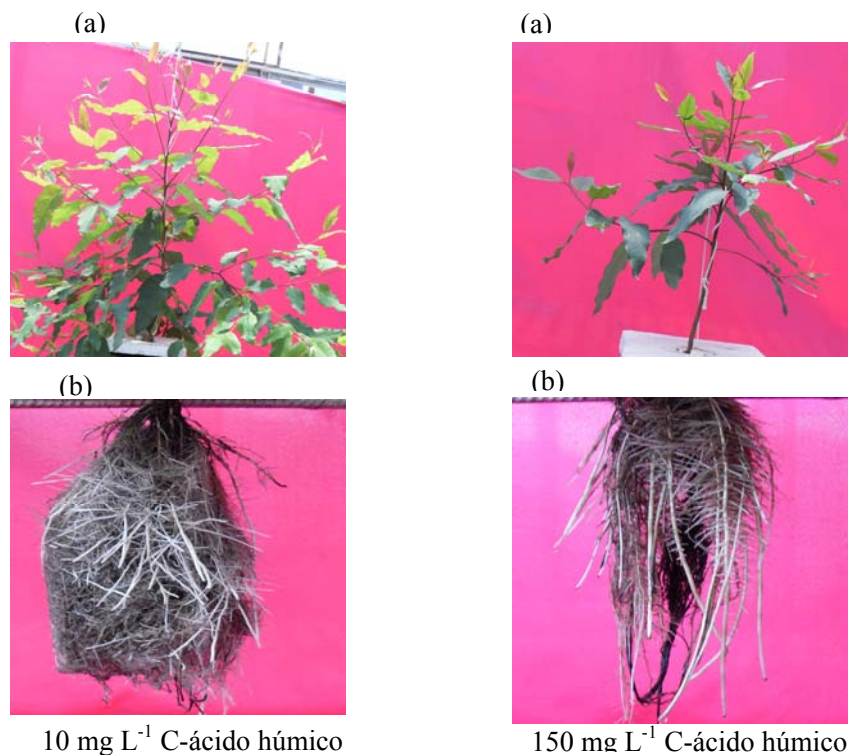


FIGURA 6 Aspectos da parte aérea (a) e de raízes (b) de mudas de eucalipto, após 55 dias de cultivo em solução nutritiva, em função da aplicação de 10 e 150 mg L<sup>-1</sup> de C-ácido húmico do MH.

Os resultados obtidos neste estudo estão de acordo com os de diversos trabalhos (Harper et al., 1995; Pinton et al., 1999; Silva et al., 1999) nos quais demonstrou-se que os ácidos húmicos afetam positivamente o crescimento de raízes, até determinada dose; a partir dessa dose, há uma efeito negativo sobre o desenvolvimento radicular. A explicação para este fato é que substâncias húmicas presentes na solução em doses mais elevadas disponibilizam mais ligantes que os íons metálicos presentes na solução para serem complexados e estes se tornam menos disponíveis para as raízes das plantas, inibindo o

desenvolvimento das mesmas (Rauthan & Schnitzer, 1981). De acordo com Chen & Avid (1990), concentrações acima de 1000 mg L<sup>-1</sup> C-SHs têm efeito nocivo sobre o desenvolvimento radicular.

Goenadi & Sudharama (1995), em experimento com cultura de tecidos visando à produção de mudas de espécies tropicais, testaram diversas doses de ácidos húmicos extraídos de solos orgânicos, tendo cada espécie respondido a uma dose ideal. Assim, as doses de 400, 40 e 300 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico promoveram o melhor crescimento radicular de *Gnetem gnemon*, *Elletaria cardamomum* e *Pogostemon cablin*, respectivamente.

Portanto, a resposta das plantas aos ácidos húmicos depende da variedade e espécie vegetal, do material utilizado como fonte de substâncias húmicas, das composições dos ácidos húmicos, da concentração de nutrientes e de SHs na solução nutritiva, bem como da carga de nutrientes agregada ao meio de cultivo pela fonte de ácido húmico utilizada.

#### **4.3 Acúmulo de macronutrientes**

O acúmulo de N e P na matéria seca da folha e do caule apresentou diferenças significativas para os efeitos das fontes de ácidos húmicos (exceto N na folha), das doses C-ácido húmico e da interação entre esses dois fatores (Quadros 4A e 5A).

O acúmulo de N e P nas folhas foi favorecido por baixas doses de C-ácido húmico do MH; além disso, a utilização deste material na dose 30 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico aumentou o acúmulo desses nutrientes no caule, no entanto, a partir desta dose, decréscimos acentuados foram observados (Figura 7a, b, c e d). Estes resultados corroboram, em parte, os obtidos por Ayuso et al. (1996) que verificaram que a absorção de N pela cevada foi estimulada em baixas doses e o estímulo à sua absorção diminuiu com o aumento das doses de C-ácido húmico. Em relação ao acúmulo de P, ocorreu o oposto ao notado para o N, tendo em



vista que a absorção foi favorecida com o aumento das doses de ácido húmico. Uma possível explicação para esse fato, segundo Raina & Goswami (1988), é a formação de fósforo-humatos, que são prontamente absorvidos pelas plantas.

O acúmulo máximo e mínimo de P no caule foram, respectivamente, de 39 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 30 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico do MH e de 15 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 0 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico do MH. Nota-se que, para o AH p.a., independentemente das doses de ácido húmico, na presença ou não de ácidos cítrico e oxálico, o acúmulo de P também foi 15 mg planta<sup>-1</sup> (Figura 7d). Provavelmente, com a utilização do MH, houve a formação de fósforo-humatos e/ou outros complexos e isso facilitou absorção de P pelas plantas.

O fato de baixas doses de C-ácido húmico do MH proporcionar um maior acúmulo de P, tanto nas folhas como no caule, em relação a todos os outros tratamentos testados, também está relacionado à concentração desse nutriente no MH, que apresenta quantidade relativamente maior de P (Tabela 1).

Embora Chen & Aviad (1990) tenham concluído que substâncias húmicas aumentam a absorção de P, é necessário verificar em quais condições experimentais (solo ou solução nutritiva) o estudo foi realizado, quais as fontes de substâncias húmicas testadas e, principalmente, a espécie vegetal utilizada.

A análise de regressão para os acúmulos de N e P revelou comportamento de decréscimo com a utilização do AH p.a. em doses crescentes de C-ácido húmico. Possivelmente, houve uma competição entre os íons e as substâncias húmicas, uma vez que esses nutrientes podem ter os mesmos mecanismos de transportadores (Albuzio et al., 1986). Outra explicação pode estar relacionada à massa molar dos complexos organo-P formados, uma vez que a absorção de P está condicionada ao desacoplamento do P do complexo e ou à entrada do complexo P-ácido húmico na célula da raiz.

O efeito das substâncias húmicas na absorção de íons parece ser mais ou menos seletivo e variável, em relação à sua concentração e ao pH. Geralmente,

as respostas para o incremento na absorção de cátions, na maioria dos casos, são positivas, enquanto as respostas referentes à redução da absorção dizem respeito aos ânions, precisamente para os cloretos e fosfatos (Canellas et al., 2005).

Entretanto, o fato de as substâncias húmicas poderem afetar a absorção de alguns elementos, por influenciar sua taxa de liberação do componente mineral do solo, não pode ser supervalorizado (Chen & Aviad, 1990). Com relação a isso, é razoável afirmar que a resposta de plantas cultivadas em solo é diferente daquelas cultivadas em solução nutritiva, na qual a maioria dos experimentos é realizada.

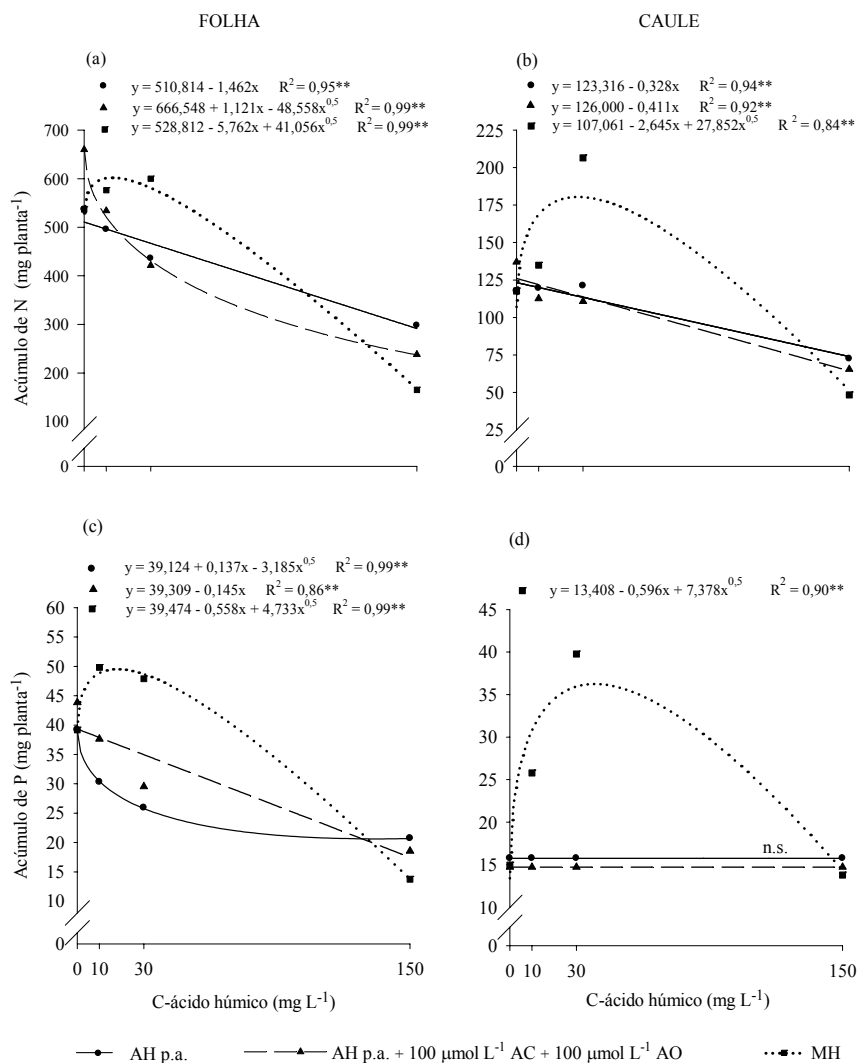


FIGURA 7 Acúmulo de N e P na matéria seca das folhas (a;c) e do caule (b;d) de mudas de eucalipto, em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva. AH p.a. = ácido húmico p.a.; MH = material húmico; AC = ácido cítrico, AO = ácido oxálico, n.s. = não significativo.

O acúmulo de K e Ca na folha e no caule foi influenciado significativamente pelas fontes de ácidos húmicos (exceto K no caule), pelas doses de C-ácido húmico e pela interação entre estes dois fatores (Quadros 4A e 5A).

Verificou-se que o acúmulo de K nas folhas e no caule diminuiu com o aumento das doses de C-ácido húmico (Figura 8a; b), diferentemente do que foi observado por Ayuso et al. (1996), que não verificaram diferenças entre as doses das substâncias húmicas originadas de diferentes fontes orgânicas (lodo de esgoto, composto orgânico, leonardita, turfa e ácidos húmicos comerciais) na absorção de K em solução nutritiva.

Nota-se que os macronutrientes N e P acumularam em maior quantidade nas folhas, em relação ao caule; o acúmulo de K foi similar nesses dois órgãos da planta (Figuras 7, 8a; b).

A análise de regressão para os acúmulos de Ca revelou comportamentos semelhantes entre os tratamentos AH p.a. e AH p.a. + 100  $\mu\text{mol L}^{-1}$  AC + 100  $\mu\text{mol L}^{-1}$  AO, que apresentaram um ajuste do tipo raiz quadrada, diminuindo os acúmulos de Ca nas folhas de 357 para 79  $\text{mg planta}^{-1}$ , respectivamente, na menor e na maior dose de C-ácido húmico do AH p.a. e de 403 para 70  $\text{mg planta}^{-1}$ , respectivamente, na menor e maior dose de C-ácido húmico do AH p.a. + 100  $\mu\text{mol L}^{-1}$  AC + 100  $\mu\text{mol L}^{-1}$  AO (Figura 8c).

Verifica-se, pelo gráfico da Figura 3a, que a produção de matéria seca da raiz diminuiu linearmente com o aumento das doses de C-ácido húmico. Portanto, o decréscimo obtido para o acúmulo de Ca nas folhas e no caule, independentemente das fontes de ácidos húmicos, se justifica pela menor proporção de raízes nas doses mais elevadas de C-ácido húmico, o que contribuiu para uma menor absorção de Ca, uma vez que este nutriente é absorvido na zona apical de raízes (Figura 8c; d).

Os resultados obtidos neste estudo estão de acordo aos obtidos por Gaur (1964) e Sanchez-Conde & Ortega (1968), citados por Chen & Aviad (1990), que relatam redução na absorção de Ca na presença de ácidos húmicos. Rosa et al. (2004) também verificaram que o acúmulo de Ca nos tecidos das plantas de aveia diminuiu com o aumento dos níveis de ácidos fúlvicos em solução nutritiva.

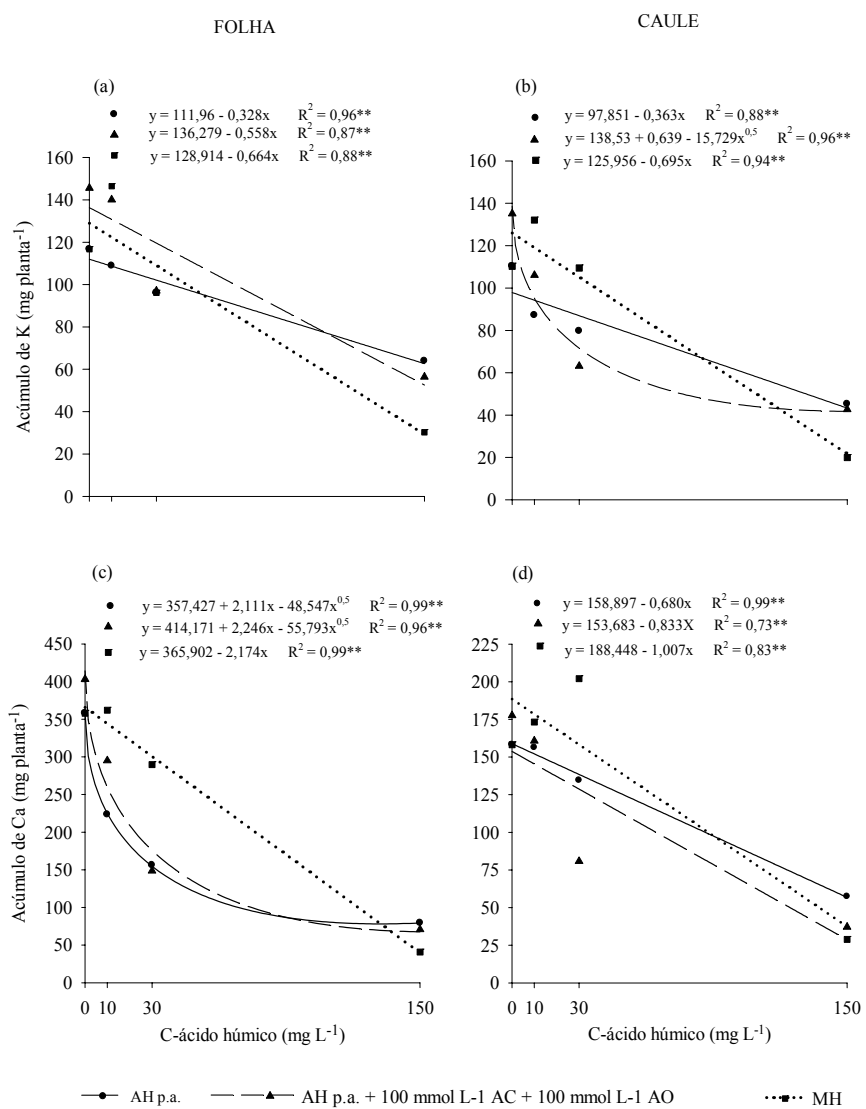


FIGURA 8 Acúmulo de K e Ca na matéria seca das folhas (a;c) e do caule (b;d) de mudas de eucalipto, em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva. AH p.a. = ácido húmico p.a.; MH = material húmico; AC = ácido cítrico, AO = ácido oxálico.

Os acúmulos de Mg e S na folha e no caule também apresentaram resultados significativos para os efeitos das fontes (exceto de S no caule), das

doses de C-ácido húmico e da interação entre estes dois fatores (Quadros 4A e 5A).

A análise de regressão para os acúmulos de Mg e S nas folhas e no caule revelou comportamento semelhante entre esses nutrientes na utilização do MH, que apresentaram ajuste linear (exceto Mg no caule), diminuindo o acúmulo em função do aumento das doses de C-ácido húmico. Para o acúmulo de Mg no caule, um aumento de 37% em relação à dose 0 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico do MH foi obtido com a utilização da dose de 30 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico (Figura 9).

O acúmulo de S na folha e no caule também diminuiu com o aumento das doses de C-ácido húmico. Notou-se, no caule, um decréscimo acentuado no acúmulo até a dose 30 mg L<sup>-1</sup> C-ácido húmico, na presença de ácidos orgânicos de baixa massa molar (Figura 9d). Segundo Chen et al. (1994), os grupamentos carboxílicos presentes nas substâncias húmicas são os maiores responsáveis pelas respostas obtidas com ácidos húmicos. Portanto, a redução no acúmulo de S no caule pode ser explicada pela competição entre o sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) e os grupos funcionais do íon carboxilato (COO<sup>-</sup>) e ou hidroxilas (OH<sup>-</sup>), presentes nos ácidos húmicos (Haynes et al., 1989) e adicionados na solução nutritiva.

Rosa et al. (2004) verificaram acréscimos de 51% no acúmulo de Mg na parte aérea da aveia no maior nível de ácido fúlvico adicionado na solução nutritiva (40 mg L<sup>-1</sup> C-AF), em relação ao controle.

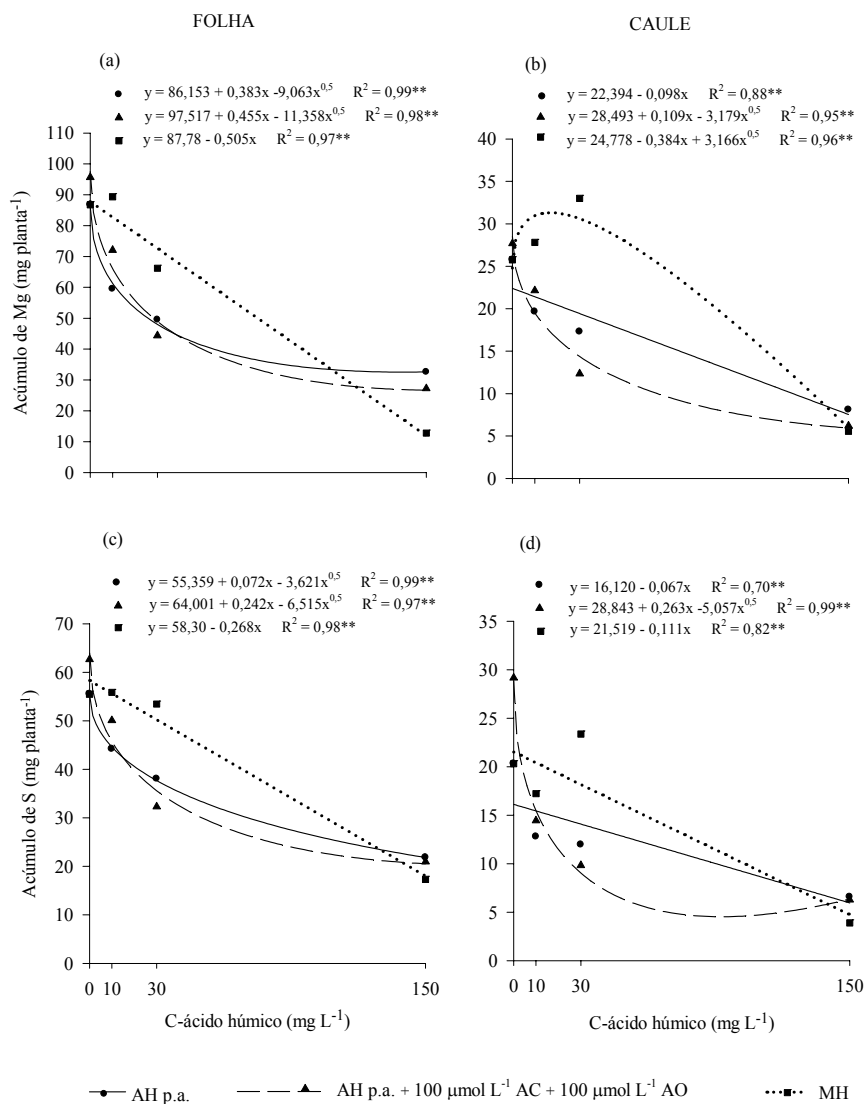


FIGURA 9 Acúmulo de Mg (a;b) e S (c;d) na matéria seca das folhas e do caule de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-AH em solução nutritiva. AH p.a. = ácido húmico p.a.; MH = material húmico; AC = ácido cítrico, AO = ácido oxálico.



#### 4.4 Acúmulo de micronutrientes

Os acúmulos de micronutrientes na matéria seca da folha e do caule sofreram efeitos das fontes de ácidos húmicos (exceto Zn no caule), da adição C-ácido húmico e da interação entre estes dois fatores (exceto Zn no caule) (Quadros 4A e 5A).

De maneira geral, o acúmulo dos micronutrientes na folha e no caule foi reduzido com o aumento das doses de C-ácido húmico (Figuras 10 e 11). Na folha, o acúmulo de Zn não foi favorecido, mesmo em doses menores, nos tratamentos AH p.a. e MH (Figura 10c). Segundo Vaughan & McDonald (1976), citados por Chen & Aviad (1990), a concentração abaixo de  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de ácido húmico não afetou a absorção de Zn, enquanto que concentração mais alta que essa inibiu a absorção desse elemento pela beterraba.

Embora o acúmulo de Zn tenha sido influenciado apenas pelas doses de C-ácido húmico, nota-se que os maiores valores de acúmulo para Zn e Fe na folha, e para Fe no caule, foram obtidos, respectivamente, na dose  $0 \text{ mg L}^{-1}$  C-AH p.a. +  $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  AC +  $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  AO e na dose  $10 \text{ mg L}^{-1}$  C-AH p.a. +  $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  AC +  $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  AO (Figura 10a; b; c; d). Este fato pode ser explicado pela alta concentração de Fe e Zn na fonte AH p.a. (Tabela 1) e, principalmente, pela presença concomitante dos ácidos orgânicos de baixa massa molar, influenciando sobremaneira o acúmulo desses nutrientes na matéria seca do caule e da folha.

Segundo Jones (1998), a capacidade dos ácidos orgânicos de formarem complexos com metais na solução depende do ácido orgânico envolvido (número e proximidade dos grupos carboxílicos), da concentração e do tipo de metal. Possivelmente, o Fe e o Zn foram preferencialmente complexados pelos grupamentos carboxílicos e isso facilitou a absorção pelas plantas. Com relação à eficiência de absorção de nutrientes, uma série de trabalhos já evidenciou o

aumento na absorção de Fe na presença dos mais diversos tipos e concentrações de substâncias húmicas (Chen & Aviad, 1990; Pinton et al., 1999).

A estabilidade das ligações é preponderante na disponibilidade dos íons metálicos adsorvidos/complexados a matéria orgânica, sendo a planta capaz de absorver complexos organo-metálicos de pequena massa molar (Marschner et al., 1986). O  $\text{Fe}^{3+}$  e o  $\text{Zn}^{2+}$ , segundo a ordem de afinidade de micronutrientes catiónicos por compostos orgânicos descrita por Irwing & Williams (1953), formam complexos estáveis com ligantes orgânicos (Canellas et al., 2008). Provavelmente, a formação de um complexo organometálico de pequena massa molar favoreceu a absorção desses nutrientes, sendo este o mecanismo utilizado pelas plantas.

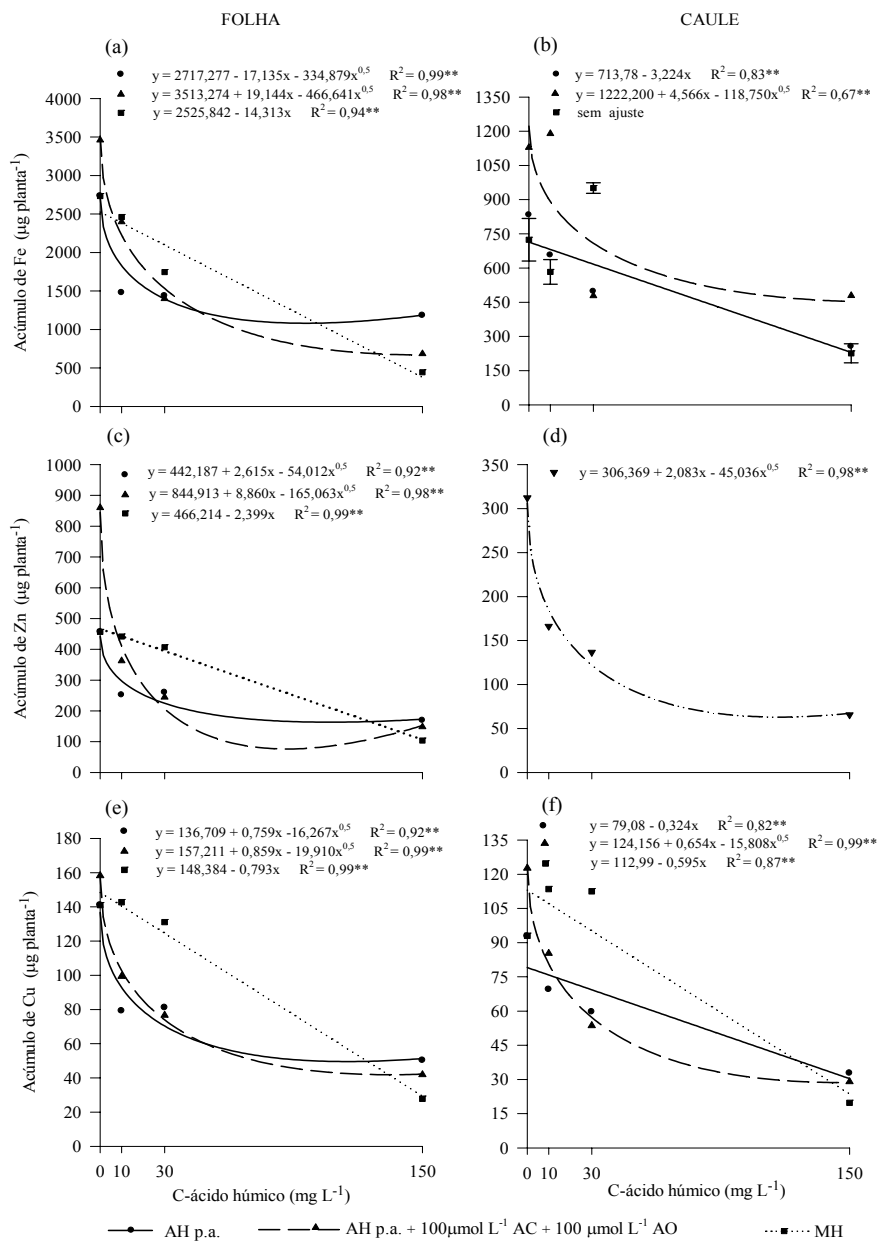


FIGURA 10 Acúmulo de Fe, Zn e Cu na matéria seca das folhas (a; c; e) e do caule (b; d; f) de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-AH em solução nutritiva. AH p.a. = ácido húmico p.a.; MH = material húmico; AC = ácido cítrico, AO = ácido oxálico.

O acúmulo de B na matéria seca das folhas e do caule foi favorecido com a utilização do MH em menores doses de C-ácido húmico, podendo isso ser explicado pela quantidade desse nutriente no MH, que apresenta concentração cerca de três vezes maior do que na outra fonte (Figura 11a; b).

Para o Mn, a fonte que proporcionou os maiores acúmulos desse nutriente, tanto nas folhas como no caule, foi o AH p.a., principalmente quando foram adicionados ácidos cítrico e oxálico (Figura 11c; d). Ressalta-se que o  $Mn^{2+}$  também forma complexos estáveis com ligantes orgânicos (Canellas et al., 2008), portanto, mecanismo semelhante ao proposto para  $Fe^{3+}$  e  $Zn^{2+}$  pode operar na absorção de Mn pelas plantas.

Diversos autores, citados por Chen & Aviad (1990), verificaram que a absorção de nutrientes catiônicos e aniônicos é favorecida quando raízes são colocadas em contato com concentrações apropriadas de substâncias húmicas. Para a maioria das culturas, a maior resposta das plantas para os ácidos húmicos e fúlvicos ocorre entre 10 e 300 mg L<sup>-1</sup> na solução do solo (Silva Filho & Silva, 2009). Supondo um teor médio de C nos ácidos húmicos de 55%, em geral, seria esperada uma resposta das plantas a doses de C-ácido húmico variando de 5,5 a 165 mg L<sup>-1</sup> na solução do solo.

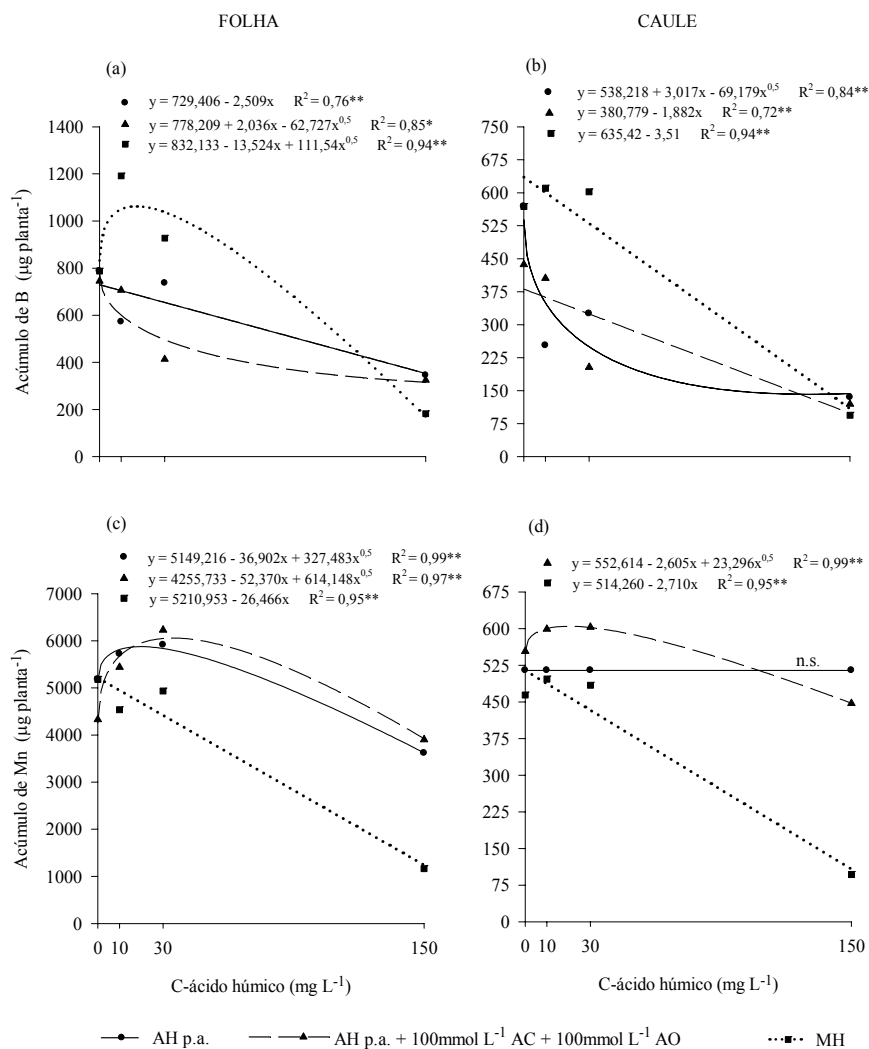


FIGURA 11 Acúmulo de B e Mn na matéria seca das folhas (a; c) e do caule (b; d) de mudas de eucalipto em resposta ao aumento de doses de C-ácido húmico em solução nutritiva. AH p.a. = ácido húmico p.a.; MH = material húmico; AC = ácido cítrico, AO = ácido oxálico, n.s. = não significativo.

Avaliando o efeito de substâncias húmicas extraídas de diversos resíduos orgânicos sobre o crescimento e a absorção de nutrientes em cevada, Ayuso et al. (1996) verificaram que a absorção de micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn) foi favorecida pela adição de substâncias húmicas, que tiveram um efeito semelhante, não importando sua origem. As doses mais baixas estimularam a absorção, sendo esse efeito reduzido com as doses mais altas (acima de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de C). Esse fato também foi observado por outros autores (Tan & Nopamornbodi, 1979; Chen et al., 1994), sendo explicado pela capacidade das substâncias húmicas em formar complexos com íons, diminuindo, neste caso, a sua disponibilidade para as plantas, possivelmente em razão da não entrada desses complexos de maior massa molar nas células.

De maneira geral, o aumento de C-ácido húmico em solução nutritiva diminuiu o acúmulo dos micronutrientes nas folhas e no caule, independentemente das fontes de ácidos húmicos utilizadas. Além disso, os valores de acúmulo dos micronutrientes foram menores no caule do que nas folhas, principalmente para o Mn, que tende a acumular-se no caule em quantidades cerca de dez vezes menores que nas folhas.

## 5 CONCLUSÕES

A aplicação de doses crescentes de C-ácido húmico resulta em decréscimo na produção de biomassa e no acúmulo de nutrientes pelas mudas de eucalipto.

Para o material húmico, que possui proporcionalmente maior disponibilidade de nutrientes que o ácido húmico p.a., os efeitos de diminuição do acúmulo de alguns nutrientes ocorrem em doses superiores às de ácido húmico p.a.

A adição dos ácidos cítrico e oxálico aumenta o acúmulo da maior parte dos nutrientes catiônicos, principalmente Fe, nas folhas e no caule, e Zn, nas folhas.

A utilização do material húmico em baixas doses de C-ácido húmico favorece o acúmulo de alguns nutrientes, como o P, N e B, mas isso não foi suficiente para aumentar a produção de matéria seca das mudas de eucalipto.

Os nutrientes são acumulados em maiores quantidades nas folhas, em relação ao caule, exceto o K, que apresenta acúmulo similar nesses dois órgãos da planta.

O material húmico afeta a relação matéria seca raiz: matéria seca parte aérea, sendo notadas elevadas taxas de crescimento das raízes em relação à parte aérea de eucalipto, para as maiores doses de C-ácido húmico.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADANI, F.; GENEVINI, P.; ZACCHEO, P. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.21, n.3, p.561-575, Sept. 1998.

ALBUZIO, A.; FERRARI, G.; NARDI, S. Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation in barley seedlings. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.66, n.4, p.731-736, 1986.

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 442p.

ALI, I.A.; KAFKAFI, U.; YAMAGUCHI, I.; SUGIMOTO, Y.; INANAGA, S. Growth, transpiration, root-born cytokinins and gibberelins, and nutrient compositional changes in sesame exposed to low root zone temperature under different rations of nitrate: ammonium supply. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.23, n.1, p.123-140, Jan. 2000.

ANGHINONI, I.; MEURER, E.J. Eficiência de absorção pelas raízes. In: FERNANDES, M.F.; TAVARES, E.D.; LEAL, M.L.S. **Desenvolvimento do sistema radicular**: metodologias e estudos de casos. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p.57-87.

AZEVEDO, A.D. de. **Avaliação das propriedades químicas, físicas e biológicas em solos de uma toposseqüência sob cobertura de eucalipto no Campus da UFRRJ**. 2007. 31f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

AYUSO, M.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; PASCUAL, J.A. Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. **Bioresource Technology**, Essex, v.57, n.3, p.251-257, May 1996.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas**: um procedimento simplificado e de baixo custo. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003. 14p. (EMBRAPA Solos. Comunicado técnico, 8).

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normas climatológicas**: 1960-1990. Brasília, DF: MA/SNI/DNMET, 1992. 84p.



BRUN, G. **Pouvoir complexant des matieres humiques effets sur l'alimentation minerale des vegetaux**. 1993. 139f. Thesis (Douctorat in Traitement des Matieres Premieres Vegetales)-Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse.

BUSANELLO, J.T.; CASTILHOS, R.M.V.; ROSA, C.M.; LEAL, O. dos A.; MARCOLIN, L.; SANTOS, N.L. Crescimento de mudas de alface sob níveis de substância húmica originada de resíduos agroindustriais compostados. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 7., 2005, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL, 2005. 1 CD-ROM.

CALIMAN, D.F.; PANETO, R.O.; AGUILAR, M.A.G.; FOLLI, F.B.; SOUZA, C.A.S.; SONEGHETI, S. Crescimento e fotossíntese de clones de cacau (*Theobroma cacao*) com resistência diferencial a *Verticillium dahliae* submetidos a diferentes doses de turfa líquida®. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 1., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. p.9-11.

CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, L.S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G. de A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metropole, 2008. p.45-63, 636p.

CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; MEDICE, L.O.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.R. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre o metabolismo e desenvolvimento das plantas. In: CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacases: UENF, 2005. p.224-243.

CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.R. Efeitos fisiológicos de substâncias húmicas: o estímulo das H<sup>+</sup>-ATPases. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.176-200.

CHEN, Y.; AVIAD, T. Effects of humic substances on plant growth. In: MACCARTHY, P. (Ed.). **Humic substances in soil and crop sciences: selected readings**. Chicago: CAB, 1990. p.161-187.

CHEN, Y.; CALPP, C.E.; MAGEN, H.T. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role organo-iron complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.50, n.7, p.1089-1095, Dec. 2004.

CHEN, Y.; MAGEN, H.; RIOV, J. Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. In: SENESI, N.; MIANO, T.M. (Ed.). **Humic substances in the global environment and implications on human health**. New York: Elsevier, 1994. p.427-443.

CLARK, R.B. Characterization of phosphates of intact maize roots. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Easton, v.23, n.3, p.458-460, May 1975.

EYHERAGUIBEL, B.; SILVESTRE, J.; MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. **Bioresource Technology**, Essex, v.99, n.10, p.4206-4212, July 2008.

FAÇANHA, A.R.; FAÇANHA, A.S.O.; OLIVARES, F.L.; GURIDI, F.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRÁZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M.; CANELLAS, L.P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.9, p.1301-1310, set. 2002.

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

FERNANDEZ-ESCOBAR, R.; BENLLOCH, M.; BARRANCO, D. Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. **Scientia Horticultural**, Amsterdam, v.66, n.3/4, p.191-200, Dec. 1996.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p.255-258.

FIORUCCI, A.R.; SOARES, M.H.F.B.; CAVALHEIRO, E.T.G. Ácidos orgânicos: dos primórdios da química experimental à sua presença em nosso cotidiano. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n.15, p.6-10, maio 2002.

FOX, T.R.; COMERFORD, N.B. Low molecular weight organic acids in selected forest soil of the southwestern USA. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.54, n.4, p.1139-1144, July/Aug. 1990.

GOENADI, D.H.; SUDHARAMA, I.M. Shoot initiation by humic acids of selected tropical crops grown in tissue culture. **Plant and Cell Reports**, Berlin, v.15, n.1/2, p.59-62, June 1995.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metropole, 2008. p.19-26, 636p.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v.43, p.189-202, 2005.

HARPER, S.M.; EDWAERDS, D.G.; KERVEN, G.L. Effects of organic acid fractions extracted from *Eucalyptus camaldulencis* leaves on root elongation of maize (*Zea mays*) in the presence and absence of aluminium. **Plant and Soil**, The Hague, v.17, n.1, p.189-192, Apr. 1995.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A.C. de; CARVALHO, F.I.F. de; BERTAN, I.; SILVA, J.A.G. da; SCHMIDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; MAIA, L.C.; FONSECA, D.A.R.; REIS, C.E.S. dos. Mecanismos associados à tolerância ao Al em plantas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.2, p.219-228, abr./jun. 2007.

HAYNES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L.; SWIFT, R.S. **Humic substances: in search of structure**. West Sussex: J.Wiley, 1989. v.2, 733p.

HUE, N.V.; CRADDODK, G.R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.28-34, 1986.

IRVING, H.M.N.H.; WILLIAMS, R.J.P. **The stability of transition-metal complexes**. Easton: Chemical Society, 1953. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Irving-Williams\\_series](http://en.wikipedia.org/wiki/Irving-Williams_series)>. Acesso em: 10 maio 2009.

JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere: a critical review. **Plant and Soil**, The Hague, v.205, n.1, p.25-44, Aug. 1998.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KÖPPEN, W. **Roteiro para classificação climática**. [S.l.: s.n.], 1970. 6p. Mimeografado.

LAICHE, A.J. Evaluation phosphorus fertilization and commercial biostimulants for producing cabbage. **HortTechnology**, Alexandria, v.5, n.4, p.298-300, Dec. 1991.

LOPES, J.L.W.; GUERRINI, I.A.; SAAD, J.C.C.; SILVA, M.R. Atibutos químicos e físicos de dois substratos para produção de mudas de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v.14, n.4, p.358-367, dez. 2008.

LÓPEZ, C.R. **Comportamiento de substâncias húmicas de diversos origin en la fisica de um suelo limo-arciloso y em la fisiologia del tomate**. 2002. 90p. Tesis (Doctora en Agronomia)-Universidad Autônoma Agrária “Antonio Narro” Buenavista, Saltillo.

MACKOWIAK, C.L.; GROSSL, P.R.; BUGBEE, B.G. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.1744-1750, Nov./Dec. 2001.

MAFIA, R.G.; ALFENAS, A.C.; SIQUEIRA, L.; FERREIRA, E.M.; LEITE, H.G.; CAVALAZZI, J.R.P. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.29, n.6, p.947-953, dez. 2005.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. New York: Academic, 1995. 889p.

MARSCHNER, H.; ROMHELD, V.; HORST, W.J.; MARTIN, P. Root-induced changes in the rhizosphere: importance for the mineral-nutrition of plants. **Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde**, Berlin, v.149, n.4, p.441-456, Dec. 1986.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1994. 406p.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.34, p.1527-1536, Aug. 2002.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.S. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, n.3, p.911-920, jun. 2008.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; NUNES, F.N.; GEBRIM, F.O. Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos afetado pelo tipo, dose e época de incorporação de adubos verdes ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, n.6, p.997-1006, dez. 2006.

PICCOLO, A.; NARDI, S.; CONCHERI, G. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. **Soil Biology Biochemistry**, Elmsford, v.24, n.4, p.373-380, 1992.

PINTON, R.; CESCO, S.; SANTI, S.; AGNOLON, F.; VARANINI, Z. Water-extractable humic substances enhanced iron deficiency responses by Fe-deficient cucumber plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.210, n.2, p.145-157, Mar. 1999.

PIRES, A.M.M. **Ácidos orgânicos da rizosfera: aspectos qualitativos e quantitativos e fitodisponibilidade de metais pesados originários de biossólidos**. 2003. 94p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RAINA, J.N.; GOSWAMI, K.P. Effect of fulvic acids on the growth and nutrient uptake by maize plant. **Soil Science Society of Indian Journal**, New Delhi, n.36, p.264-268, 1988.

RAUSA, R.; GIRARDI, E.; CALÉMMA, V. Humic acids from coal: production, characterization and utilization. In: SENESI, N.; MIANO, T.M. (Ed.). **Humic substances in the global environment and implications on human health**. Oxford: Elsevier, 1994. p.1225-1244.

RAUTHAN, B.S.; SCHNITZER, M. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.63, n.3, p.491-499, Oct. 1981.

ROSA, C.M.; CASTILHOS, R.M.V.; COSTA, P.F.P. Resposta da aveia (*Avena sativa* L.) a níveis de ácidos fúlvicos. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2004, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL, 2004. 1 CD-ROM.

SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. Chemical model structure for soil organic matter and soils. **Soil Science**, Baltimore, v.162, n.2, p.115-130, Apr. 1997.

SHARIF, M.; KHATTAK, R.A.; SARIR, M.S. Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.33, n.19/20, p.3567-3580, 2002.

SILVA FILHO, A.V.; SILVA, M.I.V. **Importância das substâncias húmicas para a agricultura**. Disponível em:  
□<http://www.emepa.org.br/anais/volume2/av209.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2009.

SILVA, R.M.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Crescimento da parte aérea e do sistema radicular do milho cultivado em solução nutritiva adicionada de substâncias húmicas. **Revista Brasileira de Agrocência**, Pelotas, v.5, n.2, p.101-110, maio/ago. 1999.

SILVA, R.M.; JABLONSKI, A.; TEIXEIRA, R.N.; VAHL, L.C. Produção de ácidos húmicos e fúlvicos a partir de diferentes matérias-primas orgânicas. **EGATEA: Revista Escola de Engenharia**, Porto Alegre, v.23, n.2, p.53-60, 1995.

STEVENSON, F.J. Organic acids in soil. In: McLAREN, A.D.; PETERSON, G.H. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Dekker, 1967. p.119-146.

TAN, K.H.; NOPAMORN BODI, V. Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays* L.). **Plant and Soil**, The Hague, v.51, n.2, p.283-287, Mar. 1979.

VAUGHAN, D.; MALCOM, R.E.; ORD, B.G. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In: VAUGHAN, D.; MALCOM, R.E. (Ed.). **Soil organic matter and biological activity**. Dordrecht: M.Nijhoff, 1985. p.77-108.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética de absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.1, p.91-96, jan./abr. 1984.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, New York, v.19, n.13, p.1467-1476, Dec. 1988.

## ANEXOS

QUADRO 1A Teores médios de macronutrientes na matéria seca da folha e do caule de mudas de eucalipto, em função dos tratamentos aplicados.

*Tratamento	Teor (g kg <sup>-1</sup> )					
	Matéria seca da folha					
	N	P	K	Ca	Mg	S
1	15,6	1,1	3,4	10,4	2,5	1,6
2	17,8	1,1	3,9	8,0	2,1	1,6
3	17,9	1,0	3,9	6,4	2,0	1,6
4	15,8	1,1	3,4	4,2	1,7	1,2
5	16,8	1,1	3,7	10,3	2,4	1,6
6	16,1	1,1	4,2	8,9	2,2	1,5
7	17,9	1,2	4,1	6,3	1,9	1,4
8	14,9	1,2	3,5	4,4	1,7	1,3
9	15,6	1,1	3,4	10,4	2,5	1,6
10	15,5	1,3	3,9	9,8	2,4	1,5
11	22,4	1,8	3,5	10,8	2,5	2,0
12	26,1	2,1	4,7	6,3	1,9	2,7

*Tratamento	Matéria seca do caule					
	N	P	K	Ca	Mg	S
1	5,8	0,7	5,4	7,8	1,3	1,0
2	8,2	1,2	5,6	10,7	1,3	0,9
3	8,3	1,2	5,4	9,2	1,2	0,8
4	9,6	1,8	5,6	7,6	1,1	0,9
5	6,2	0,6	6,1	8,0	1,2	1,3
6	6,1	0,9	5,8	8,7	1,2	0,8
7	9,5	1,4	5,4	6,9	1,1	0,8
8	9,7	1,9	6,3	5,5	0,9	0,9
9	5,84	0,7	5,41	7,8	1,3	1,0
10	6,4	1,2	6,2	8,2	1,4	0,8
11	11,8	2,3	6,3	11,5	2,3	1,3
12	14,7	4,2	6,1	8,7	1,6	1,2

\*Vide Tabela 2 (página 15).



QUADRO 2A Teores médios de micronutrientes na matéria seca da folha e do caule de mudas de eucalipto, em função dos tratamentos aplicados.

*Tratamento	Teor (mg kg <sup>-1</sup> )				
	Matéria seca da folha				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	23,1	4,1	79,0	151,2	13,2
2	20,6	2,9	53,7	206,3	9,2
3	24,6	3,3	58,9	224,5	10,7
4	18,0	2,7	62,1	189,8	9,0
5	19,9	4,0	88,3	137,4	21,9
6	24,7	3,0	72,5	165,4	10,9
7	17,6	3,2	59,5	265,7	10,4
8	17,8	2,6	42,8	244,2	9,3
9	23,1	4,1	79,0	151,2	13,2
10	32,0	3,8	66,2	122,4	11,9
11	32,4	4,9	65,4	184,4	15,3
12	28,9	4,4	70,3	184,7	16,4

*Tratamento	Matéria seca do caule				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	28,0	4,6	40,7	22,9	19,0
2	17,5	4,7	44,9	34,3	9,7
3	22,0	4,0	34,2	37,4	9,7
4	17,8	4,3	33,8	73,4	10,9
5	19,7	5,5	50,7	25,0	9,2
6	22,0	4,6	64,6	25,8	9,3
7	17,4	4,5	40,7	40,5	8,0
8	17,3	4,3	70,3	88,3	11,1
9	28,0	4,6	40,7	22,9	19,0
10	29,0	5,4	27,6	23,5	8,9
11	34,5	6,4	56,5	27,7	10,0
12	28,6	6,0	68,6	29,5	10,9

\*Vide Tabela 2 (página 15).

QUADRO 3A Resumo da ANOVA para a condutividade eletrolítica, atributos de crescimento e produção de matéria seca de mudas de eucalipto.

Variáveis	G.L.	Valor de Fc	P≤
Diâmetro			C.V. = 5,27
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	4,92	0,01
Doses (D)	3	106,99	0,01
AH × D	6	12,29	0,01
Altura			C.V. = 5,17
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	6,61	0,01
Doses (D)	3	206,47	0,01
AH × D	6	13,67	0,01
Matéria seca de raiz			C.V. = 11,26
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	6,26	0,01
Doses (D)	3	61,61	0,01
AH × D	6	6,72	0,01
Matéria seca de caule			C.V. = 9,97
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	2,24	N.S.
Doses (D)	3	174,30	0,01
AH × D	6	10,77	0,01
Matéria seca de folhas			C.V. = 6,73
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	3,24	N.S.
Doses (D)	3	271,35	0,01
AH × D	6	21,82	0,01
Matéria seca total			C.V. = 9,33
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	0,041	N.S.
Doses (D)	3	143,30	0,01
AH × D	6	10,08	0,01
Relação matéria seca de raiz/parte aérea			C.V. = 10,25
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	22,48	0,01
Doses (D)	3	41,95	0,01
AH × D	6	18,58	0,01
Relação matéria seca de caule/folha			C.V. = 6,40
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	14,02	0,01
Doses (D)	3	29,72	0,01
AH × D	6	4,56	0,05

“...cont...”

QUADRO 3A, Cont.

Condutividade eletrolítica			C.V. = 5,48
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	0,98	N.S.
Doses (D)	3	64,51	0,01
AH × D	6	0,13	N.S.

N.S. = não significativo

QUADRO 4A Resumo da ANAVA para os acúmulos de macro e micronutrientes nas folhas de eucalipto.

Variáveis	G.L.	Valor de Fc	P≤
Acúmulo de N			C.V. = 6,46
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	2,99	N.S.
Doses (D)	3	244,73	0,01
AH × D	6	22,95	0,01
Acúmulo de P			C.V. = 8,22
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	30,91	0,01
Doses (D)	3	136,72	0,01
AH × D	6	24,46	0,01
Acúmulo de K			C.V. = 8,79
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	8,46	0,01
Doses (D)	3	159,02	0,01
AH × D	6	9,77	0,01
Acúmulo de Ca			C.V. = 1,28
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	15,01	0,01
Doses (D)	3	232,22	0,01
AH × D	6	12,77	0,01
Acúmulo de Mg			C.V. = 5,55
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	12,18	0,01
Doses (D)	3	642,44	0,01
AH × D	6	39,42	0,01
Acúmulo de S			C.V. = 9,52
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	6,26	0,01
Doses (D)	3	147,77	0,01
AH × D	6	8,79	0,01
Acúmulo de B			C.V. = 3,42
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	21,67	0,01
Doses (D)	3	72,78	0,01
AH × D	6	17,26	0,01

“...cont...”

QUADRO 4A, Cont.

Acúmulo de Cu			C.V. = 8,81
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	22,62	0,01
Doses (D)	3	236,46	0,01
AH × D	6	22,22	0,01
Acúmulo de Fe			C.V. = 6,54
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	15,94	0,01
Doses (D)	3	535,95	0,01
AH × D	6	39,66	0,01
Acúmulo de Mn			C.V. = 10,19
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	21,01	0,01
Doses (D)	3	60,21	0,01
AH × D	6	7,69	0,01
Acúmulo de Zn			C.V. = 9,02
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	9,91	0,01
Doses (D)	3	71,85	0,01
AH × D	6	13,38	0,01

N.S. = não significativo

QUADRO 5A Resumo da ANAVA para os acúmulos de macro e micronutrientes no caule de eucalipto.

Variáveis	G.L.	Valor de Fc	P≤
Acúmulo de N			C.V. = 7,31
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	22,75	0,01
Doses (D)	3	169,26	0,01
AH × D	6	38,33	0,01
Acúmulo de P			C.V. = 11,46
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	65,87	0,01
Doses (D)	3	55,19	0,01
AH × D	6	25,96	0,01
Acúmulo de K			C.V. = 12,35
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	3,99	N.S.
Doses (D)	3	106,33	0,01
AH × D	6	11,39	0,01
Acúmulo de Ca			C.V. = 16,47
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	4,82	0,05
Doses (D)	3	70,21	0,01
AH × D	6	7,77	0,01

“...cont...”

QUADRO 5A, cont.

Acúmulo de Mg			C.V. = 12,43
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	42,11	0,01
Doses (D)	3	118,82	0,01
AH × D	6	28,23	0,01
Acúmulo de S			C.V. = 22,78
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	2,97	N.S.
Doses (D)	3	42,00	0,01
AH × D	6	6,73	0,01
Acúmulo de B			C.V. = 14,23
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	41,38	0,01
Doses (D)	3	103,73	0,01
AH × D	6	16,75	0,01
Acúmulo de Cu			C.V. = 12,70
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	11,07	0,01
Doses (D)	3	117,12	0,01
AH × D	6	16,47	0,01
Acúmulo de Fe			C.V. = 15,46
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	18,58	0,01
Doses (D)	3	57,23	0,01
AH × D	6	15,69	0,01
Acúmulo de Mn			C.V. = 9,40
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	36,46	0,01
Doses (D)	3	6,97	0,01
AH × D	6	28,58	0,01
Acúmulo de Zn			C.V. = 31,76
Fonte de ácidos húmicos (AH)	2	4,07	N.S.
Doses (D)	3	33,12	0,01
AH × D	6	2,77	N.S.

N.S. = não significativo