

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal apresenta importância destacada para o crescimento da economia brasileira. Somente a atividade de base florestal gera um PIB de US\$ 21 bilhões anuais, equivalente a aproximadamente 4,0% do PIB total do país. Desse total, ao redor de US\$ 5,4 bilhões são exportados anualmente, gerando uma arrecadação de impostos superior a R\$ 2 bilhões (Leite, 2003).

Dados da Associação Mineira de Silvicultura (2004) estimam que o Brasil possui uma área de cerca de 5 milhões de hectares de reflorestamento. Desse total, aproximadamente 2 milhões de hectares são de *Pinus* sp L., dos quais 46%, ou cerca de 920 mil hectares, são da espécie *Pinus taeda* L. Somente no Sul do Brasil, os dados apontam para cerca de 1.060.000 ha plantados com *Pinus* sp L. para fins industriais (Hoeflich et al., 1997). As áreas reflorestadas visam atender ao consumo da indústria para fabricação de produtos de base florestal, como serrados, portas, janelas, painéis, caixas, chapas, compensados, papel e celulose (Associação Mineira de Silvicultura, 2004). Projeções sobre o consumo de madeira indicam que, admitindo-se a taxa crescente no consumo de toras de *Pinus* sp L. procedentes de reflorestamentos nos últimos anos, haverá um equilíbrio entre disponibilidade e consumo desta espécie por volta do ano de 2015 (Hoeflich et al., 1997).

A diminuição gradativa das reservas naturais e o aumento do consumo dos produtos originários da madeira demonstram a necessidade do aumento das áreas a serem reflorestadas. A floresta plantada é o melhor meio de atender a demanda futura de madeira e assegurar a conservação das florestas remanescentes (Mattei, 2001).

Nos reflorestamentos atuais, os sistemas de produção de mudas tendem a ser cada vez mais tecnificados, atendendo principalmente aos grandes empreendimentos, nos quais tanto a geração quanto a transferência de tecnologia são rapidamente implementados pelas empresas (Mattei, 1993).

Para os reflorestadores, a escolha de mudas com alta qualidade, produzidas em viveiros, permite maior controle sobre a qualidade do material propagado, dimensões da planta e também da época de plantio no campo, fatores que influem diretamente na sobrevivência das plantas após o transplântio (Finger et al., 2003). Os viveiros de maior porte utilizam tubetes para a produção de mudas, visando facilitar o manejo no viveiro e o transporte das plantas. Na fase de produção das mudas devem ser tomados cuidados visando evitar deformações nas raízes secundárias e danos no sistema radicular (Mattei, 1994), os quais podem comprometer o crescimento futuro da planta após o seu transplântio e, assim, a produtividade e a estabilidade das árvores a campo (Carneiro, 1995).

Interferir no crescimento e desenvolvimento das raízes de mudas de *Pinus taeda* L. produzidas em tubetes é possível com uso da poda química, utilizando substâncias à base de cobre aplicadas no interior dos tubetes, e através do tratamento da parte aérea das mudas com ethefon (ácido 2-cloroetilfosfônico). As substâncias químicas a base de cobre agem na planta como inibidores do crescimento radicular, e o ethefon estimula a produção endógena do hormônio etileno, redutor de crescimento de raízes (Johnson, 1996). A prática de poda química é bastante utilizada na Áustria, Sul da África e em algumas regiões da América do Sul e da América do Norte, apesar da falta de informação a cerca dos seus efeitos sobre as principais espécies florestais (Tejero e Pérez, 2001).

O presente trabalho foi conduzido visando avaliar o comportamento morfológico das raízes de mudas de *Pinus taeda* L. produzidas em tubetes após a poda química utilizando sulfato de cobre, oxiclureto de cobre e ethefon.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O *Pinus taeda* L.

Segundo Suassuna (1997), o *Pinus taeda* L., chamado popularmente de pinheiro americano, é uma gimnosperma da classe *Coniferopsida*, ordem *Coniferae*, família *Pinaceae*. É uma planta lenhosa, em geral arborescente, pode atingir grandes alturas e possui um tronco retilíneo que sustenta a copa. Suas folhas são aciculadas (em forma de agulhas) e espiraladas. Cada megasporófilo ou escama carpelar transporta dois óvulos e é protegido por uma folha estéril, a escama de cobertura. Esta escama não se desenvolve após a fecundação e é incorporada à base da escama carpelar que cresce e torna-se lenhosa. Os cones ou estróbilos femininos são formados por numerosos macrosporófilos pequenos e sustentados por escamas protetoras externas. As sementes são muitas vezes aladas e as alas formam-se a partir de uma porção da escama carpelar. As flores masculinas da espécie *Pinus* sp L. são densos estróbilos alongados, chamados microsporófilos e transportam dois sacos polínicos, os microsporângios. A fecundação dessa gimnosperma ocorre por sinfogamia, ou seja, através do tubo resultante da germinação do microsporo que parte da câmara polínica e alcança a oosfera através do tecido megasporângio (núcleo), lançando os núcleos espermáticos (Suassuna 1997).

A espécie *Pinus taeda* L. foi introduzida no Brasil em 1948 pelo Serviço Florestal do Estado de São Paulo, atualmente Instituto Florestal do Estado de São Paulo, que importou as coníferas exóticas da região sudeste dos Estados Unidos com objetivo de fomentar programas florestais nesse Estado (Shimizu, 2005), disseminando-se inicialmente para os Estados do Sul e posteriormente todo o país.

2.2. A produção de mudas de *Pinus taeda* L. em tubetes

A produção de mudas do gênero *Pinus* em tubetes atende perfeitamente as necessidades do manejo de produção, mas deixa a desejar no que se refere à qualidade morfológica do sistema radicular. Trabalhos desenvolvidos comparando o sistema radicular de *Pinus taeda* L. produzido em tubetes com a semeadura direta a campo, demonstram os efeitos negativos da produção em tubetes. Os resultados mostraram que o sistema radicular das plantas originadas de semeadura direta apresenta raízes secundárias bem distribuídas horizontalmente (nos quatro quadrantes) e sem deformações, enquanto mudas produzidas em tubetes apresentam raízes secundárias com distribuição horizontal deficiente (distribuídas em apenas dois quadrantes) e uma série de deformações morfológicas, que podem comprometer o crescimento futuro da árvore (Mattei, 1994).

A morfologia e performance das raízes são vitais para o pegamento das muda e para seu desenvolvimento após o transplantio. Segundo Mattei (1994), o desenvolvimento inicial das mudas e a sobrevivência no campo são parâmetros comumente usados para verificar a qualidade das plantas após o transplantio e são dependentes de um sistema radicular bem formado. A interferência do viveirista no controle dos fatores negativos que levam ao crescimento desuniforme das raízes das mudas produzidas em tubetes pode possibilitar o crescimento e a produção de mudas de melhor qualidade (Johnson, 1996).

2.3 Sistema radicular

Em plantas gimnospermas como o *Pinus*, o sistema radicular é denominado axial ou pivotante, formado por uma raiz primária principal (axial), que se origina ainda no embrião. A partir da raiz primária originam-se as raízes secundárias ou laterais (Omar, 2005). Na região apical da raiz principal encontram-se três zonas de atividade: meristemática, de alongação e de maturação. Na zona meristemática as células dividem-se formando o tecido radicular funcional e a coifa. Alguns

milímetros acima da zona meristemática encontram-se presente a zona de alongação celular. Entre a zona meristemática e a de alongação encontra-se a região de rápida divisão celular e conseqüente crescimento longitudinal da raiz principal. O desenvolvimento do sistema radicular depende da atividade meristemática do sistema radicular e da produção de meristemas de raízes secundárias. Pequenos grupos de células do periciclo se dividem e crescem através do córtex e da epiderme da raiz principal, dando origem às raízes secundárias. O término das divisões celulares na região de alongação da raiz estimula o desenvolvimento de meristemas de raízes secundárias (Taiz e Zeiger, 1998). A zona de maturação é a porção que primeiramente emite pêlos radiculares, aumentando substancialmente a área de absorção de água e solutos pelo sistema radicular. Nas plantas vasculares, o sistema radicular é uma estrutura primária especializada em absorção, fixação e produção de hormônios vegetais (Lopes, 1999).

2.4. Poda química de raízes de mudas

Algumas práticas culturais podem ser aplicadas em viveiros de produção de mudas para melhorar a qualidade da planta, sobretudo do sistema radicular. A poda química de raízes é uma destas práticas, usada pelos EUA desde 1960, com substâncias a base de prata, cobalto, sódio e cobre, sendo este último elemento o mais eficiente (Ticknor apud Barajas-Rodriguez et al., 2004). As substâncias químicas a base de cobre agem na planta como inibidores do crescimento radicular (Johnson, 1996). Além destes compostos, o tratamento da parte aérea das mudas com ethefon (ácido 2-cloroetilfosfônico) estimula a produção endógena do hormônio etileno, redutor de crescimento de raízes (Taiz e Zeiger, 1998).

2.4.1. Poda química com produtos a base de cobre

A poda química de raízes de mudas utilizando substâncias à base de cobre é feita impregnando (com pintura) o interior dos tubetes, permitindo assim o contato físico das raízes das mudas com o elemento durante seu crescimento. O composto químico deve permanecer na zona de aplicação durante o crescimento da planta no recipiente. A prática inibe o crescimento longitudinal das raízes secundárias, ao tocarem as paredes internas dos tubetes impregnados com cobre, estimulando o desenvolvimento dos meristemas das raízes secundárias presentes no eixo radicular, que iniciam o desenvolvimento de novas raízes secundárias ou laterais. Segundo Landis (1990), quando as raízes da planta entram em contato com esta barreira química (cobre) cessam seu crescimento e suberizam-se. Desta forma geram-se novas raízes secundárias. As pontas possivelmente são podadas quando alcançam as paredes tratadas do recipiente, o que resulta em um sistema radicular mais fibroso, ramificado e uniformemente distribuído através do recipiente.

Dumroese e Wenny (1997) avaliaram o crescimento de mudas de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws produzidas em sacos de polipropileno após a poda química das raízes, utilizando substância à base de cobre. Segundo estes autores, mudas não tratadas com o hidróxido de cobre (7,1% de cobre) apresentaram raízes secundárias retorcidas, enquanto o tratamento a base de cobre promoveu estímulo na formação de raízes secundárias fibrosas e bem distribuídas. Foi observado também que o desenvolvimento de raízes fibrosas tem uma ação positiva nas situações de déficit hídrico para a muda, não somente no viveiro, mas também no campo, enquanto a formação de raízes retorcidas tem correlação negativa com o desenvolvimento da muda após seu plantio definitivo. Segundo Wenny et al. apud Landis (1990), os recipientes tratados com cobre estimulam o desenvolvimento de maior número de raízes secundárias novas nas zonas média e superior dos recipientes, o que promove melhor estabilidade da planta após o transplante.

Segundo Pezzutti (1998), mudas de *Eucalyptus globulus* subsp. *Maidenii* (F. Mueller) Kirkpatrick produzidas em tubetes tratados por imersão em uma mistura de oxiclreto de cobre (588g),

tinta látex comum (2,2kg) e água (7,4 L), apresentaram menor crescimento do sistema radicular, com redução na desuniformidade de crescimento inicial. As mudas sem poda química apresentaram raízes principais e secundárias excessivamente longas e dirigidas no sentido vertical do tubete, enquanto o tratamento com cobre reduziu o crescimento das raízes secundárias.

Barajas-Rodriguez et al. (2004), em estudos desenvolvidos em viveiro, testando a poda química de raízes em mudas de *Pinus greggii* Engelm. com uso de carbonato de cobre (12%) no revestimento interno de sacos de polipropileno, observaram que a morfologia das mudas foi favorecida. A poda química aumentou a proporção de raízes finas com relação ao número de raízes grossas e tornou o sistema radicular mais fibroso. Os efeitos positivos obtidos com a poda química de raiz no desenvolvimento e estrutura do sistema radicular das plantas foram mantidos até três anos após o estabelecimento a campo.

Dunn et al. (1997), testando poda química de raízes em mudas de *Eucalyptus argophloia* Blakely, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Acácia holosericea* A. Cunn. ex. G. Don, feita pintando internamente os tubetes com uma mistura de tinta a base de água e carbonato de cobre, na dose de 50g L⁻¹, observaram um menor crescimento de raízes secundárias no sentido vertical do recipiente e ausência de deformidades no sistema radicular, em mudas com 3 e 6 meses de idade. Em novas avaliações, efetuadas 24 meses após o transplante os autores observaram que não houve efeito negativo do tratamento com cobre sobre altura da parte aérea, diâmetro basal e desenvolvimento das mudas.

McDonald et al. e Romero et al. apud Landis (1990), testando carbonato de cobre aplicado na pintura interna de tubetes em mudas de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws, observaram que a substância controlou o crescimento do sistema radicular e aumentou significativamente o número de raízes secundárias.

2.4.2. Poda química com ethefon

O ethefon (ácido 2-cloroetilfosfônico) é uma substância fisiologicamente ativa e um dos compostos mais utilizados na agricultura para estimular a produção endógena de etileno pelas plantas (Taiz e Zeiger, 1998).

O etileno é um hormônio gasoso ($C_2=H_4$), regulador de vários processos fisiológicos do desenvolvimento vegetal, como a diferenciação, expansão celular e maturação (Kader, Smalle e Van der Straeten apud Nascimento, 2000). O hormônio pode ser produzido em quase todas as partes dos vegetais superiores, entre eles gimnospermas, como o *Pinus*. O etileno produzido difunde-se facilmente como gás através dos espaços intercelulares para o exterior dos tecidos. Devido à alta taxa de difusão, é muito difícil aplicá-lo sob a forma de gás a campo. O composto ethefon, quando aplicado na forma líquida em tecidos de plantas, é rapidamente absorvido e transportado para o interior do vegetal, liberando lentamente o hormônio etileno por meio de reação química (Taiz e Zeiger, 1998).

O ethefon ocasiona a poda química de raízes, quando aplicado na parte aérea das mudas. Os tecidos das raízes de mudas tratadas com ethefon apresentam reduzido crescimento primário (elongação) e aumento no crescimento secundário, levando ao seu engrossamento (Livingston apud Johnson, 1996). Segundo Watson apud Johnson (1996), a poda química de raiz de *Pinus resinosa* Ait. com ethefon conferiu maior rusticidade às raízes das mudas. As avaliações demonstraram que o ethefon melhorou a resistência das mudas a danos de altas temperaturas e estiagem a campo (Maynard e Livingston apud Johnson, 1996).

Livingston apud Johnson (1996), obtiveram resultados positivos na poda química com ethefon de raízes em mudas de *Picea mariana* Mill. (80 e 120 mg i.a. L^{-1}) e *Pinus resinosa* Ait. (50 e 75 mg i.a. L^{-1}). Em *Pinus sylvestris* L. o autor sugere a utilização de concentrações de ethefon da ordem de 75 e 150 mg i.a. L^{-1} , visando promover a poda química de raízes.

Kaska et al. (1999) observaram que em raízes de *Pinus sylvestris* L. tratadas com ethefon em concentração de 10mM, apresentaram extensa ramificação das raízes secundárias, com a primeira divisão radicular ocorrendo três dias após o tratamento.

2.4.3. Poda química com produtos inibidores do transporte de auxina

Auxina é um hormônio promotor de crescimento em plantas, responsável por processos fisiológicos de desenvolvimento como alongamento do caule, dominância apical e formação de raízes (Taiz e Zeiger, 1998). Compostos sintéticos podem agir nas plantas como inibidores do transporte de auxinas, impedindo o crescimento do sistema radicular. Entre os compostos mais conhecidos está o ácido 2,3,5-triidobenzóico (TIBA), que bloqueia o transporte de auxina na planta, impedindo a ação da auxina na promoção do crescimento radicular (Taiz e Zeiger, 1998).

Experimentos conduzidos com sementes de *Pinus sylvestris* L., germinadas e enraizadas em meio de cultura contendo TIBA na concentração de 2mM, mostraram extensa ramificação de raízes secundárias curtas, 5-9 dias após o tratamento (Kaska et al., 1999). Em *Pinus sylvestris* L. e *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws, a combinação de 10mM de ethefon e 2mM de TIBA também induziu a ramificação de raízes secundárias. Estes resultados apontam para a possibilidade de utilização do TIBA visando inibir a ação da auxina nas raízes, e, assim restringir o crescimento longitudinal e estimular ramificações de raízes secundárias.

2.5. Atributos utilizados na avaliação da qualidade de mudas

A escolha entre transplantar ou não um lote de mudas produzidas em viveiro depende da qualidade das mesmas.

A qualidade das mudas florestais pode ser avaliada através de atributos morfológicos e fisiológicos. Os atributos morfológicos mais importantes na classificação de qualidade de mudas

florestais são altura e massa seca da parte aérea, diâmetro do coleto e massa seca do sistema radicular. Entretanto nenhum atributo deve ser usado como critério único para determinar qualidade de muda, pois há dependência entre os atributos mencionados (Omar, 2005).

O padrão de qualidade da muda, determinado pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD), utilizado no presente trabalho, considera a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa da muda e pondera os resultados de vários atributos morfológicos importantes empregados na avaliação da qualidade das mesmas (Fonseca et al. apud Fonseca e Cruz et al., 2004). O IQD foi utilizado por Roller (1976) para diferenciar mudas quanto à qualidade. Ritchie apud Thompson (1985), após adotar o IQD para avaliar a qualidade de mudas, obteve sucesso no transplântio de mudas de *Pseudotsuga meliziesii* var. glauca (Beissn.) Franco selecionadas de diferentes lotes.

3. OBJETIVOS

O presente trabalho foi conduzido visando avaliar os efeitos de dose do sulfato de cobre, oxiclreto de cobre e do ethefon no desenvolvimento morfológico das raízes de mudas de *Pinus taeda* L. produzidas em tubetes. As mudas foram avaliadas aos oito meses de idade, através da quantificação de massa seca de raízes (principais e secundárias) e da parte aérea, diâmetro do coleto, altura das mudas, distribuição de raízes secundárias ao longo da raiz primária, bem como pela determinação do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e das relações altura/diâmetro do coleto, altura/massa seca de parte aérea e massa seca de parte aérea/massa seca do sistema radicular. Após análises morfológicas, foi efetuada análise química de cobre nos tecidos vegetais das mudas e no substrato contido nos tubetes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local de instalação do experimento

O experimento foi instalado no viveiro de produção de mudas da Empresa Florestadora Koeche, no município de Lages, Planalto Serrano do Estado de Santa Catarina, com coordenadas geográficas de 27° 49' de latitude sul e 50° 40' de longitude oeste, e temperaturas médias máximas e mínimas de 20°C e 16°C, respectivamente. A precipitação média anual é de 1.200-1.900mm e o clima é o "Cfb", segundo a classificação de Köeppen, caracterizado como sendo temperado com verão fresco (Lemos, 1973).

4.2. Preparo dos tubetes para produção das mudas

As mudas de *Pinus taeda* L. foram produzidas em tubetes de polipropileno com dimensões de 12cm de altura, 3cm de diâmetro, 6 frisos internos e orifício inferior de 1cm de diâmetro.

Os tratamentos a base de cobre foram feitos através da imersão dos tubetes em uma mistura de partes iguais de água e tinta látex comum, contendo sulfato de cobre ou oxiclreto de cobre (Figura 1). O oxiclreto de cobre (Reconil 350[®], contendo 35% de cobre) foi diluído nas concentrações de 30, 60, 90 e 120g L⁻¹ de solução (tinta + água). O sulfato de cobre (Calda Bordalesa Cupro-dimy[®], contendo 20% de cobre) foi diluído nas concentrações de 60, 120, 180 e 240g L⁻¹ de solução (tinta + água). Ambos, oxiclreto de cobre e sulfato de cobre apresentaram concentrações do elemento cobre correspondentes a 12, 24, 36 e 48g L⁻¹ de solução (tinta + água). No tratamento controle, os tubetes

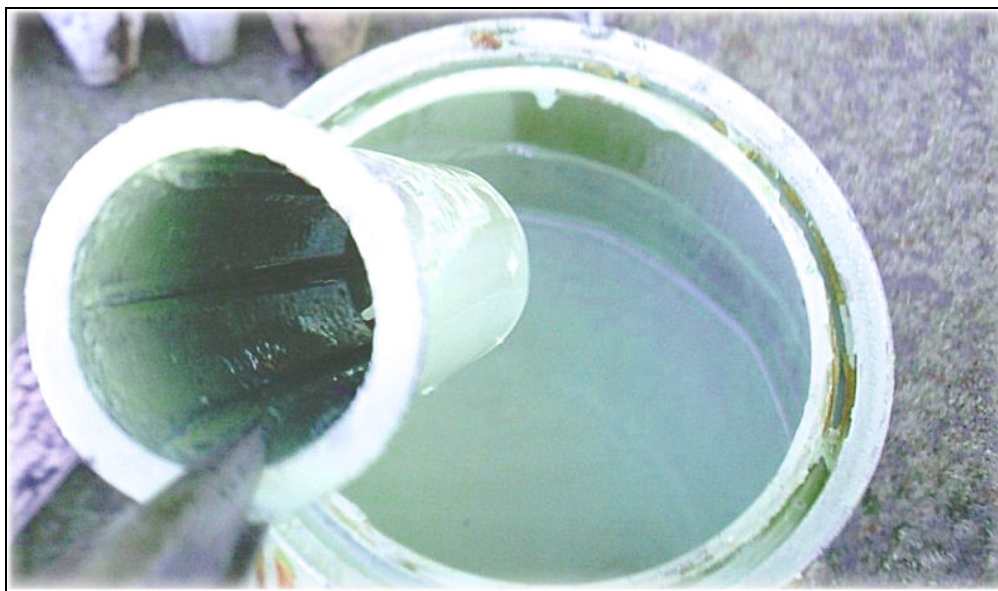


FIGURA 1. Tratamento interno dos tubetes com mistura de partes iguais de produto contendo cobre, água e tinta látex comum.

FIGURE 1: Container internal treatment with a mixture of equal portions of copper containing product, water and latex paint.

foram pintados internamente utilizando apenas tinta látex e água. Os tubetes tratados com cobre foram colocados para escorrimento e secagem natural. Posteriormente foram preenchidos com substrato comercial composto por vermiculita e resíduos de acículas. A semeadura foi efetuada na segunda quinzena de setembro de 2004, com sementes clonais de *Pinus taeda* L., em número de 1 a 3 sementes/tubete, fornecidas pela empresa Klabin.

Nos tratamentos com ethefon, a semeadura foi efetuada em tubetes não pintados, e as mudas receberam pulverizações com o produto quando atingiram 10 a 15 cm de altura. Foram utilizadas as concentrações de 0, 50, 75, 100 e 125 mg (i.a.) L⁻¹. Antes das pulverizações com ethefon as mudas foram distanciadas dos blocos experimentais já tratados com sulfato de cobre e oxiclreto de cobre. O produto foi pulverizado, nas diferentes doses, até o ponto de completo molhamento foliar.

4.3. Instalação do experimento

Os tubetes correspondentes aos diferentes tratamentos foram dispostos ao acaso em bandeja quadrada gradeada com 961 orifícios e 30cm de altura. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso com cinco repetições, cada repetição correspondendo a 30 tubetes. Cada bandeja de grade consistiu em um bloco com os diferentes tratamentos (Figura 2), e, na fase de repicagem cerca de 40 dias após a sementeira, foi mantido um orifício vago entre os tubetes na grade. As bandejas foram dispostas aleatoriamente em um dos canteiros (Figura 3), e as mudas foram manejadas de acordo com o sistema de produção do viveiro comercial, com adubações de NPK, irrigação por aspersão e pulverizações de fungicidas, herbicidas e inseticidas.



FIGURA 2. Grade contendo os tubetes tratados.

FIGURE 2. Grid with treated containers.



FIGURA 3. Vista geral dos canteiros de mudas.

FIGURE 3. General view of seedlings benches.

4.4. Avaliações

As avaliações iniciaram oito meses após a instalação do experimento, utilizando seis mudas centrais de cada tratamento, quando foram avaliadas altura de parte aérea, diâmetro do coleto, massa seca de parte aérea, de raízes secundárias ou laterais, de raízes principais, número de raízes secundárias nas porções inferior, mediana e superior dos tubetes e teores de cobre nos tecidos das mudas e no substrato. A altura de parte aérea (cm) foi medida com régua graduada. O diâmetro do coleto da muda foi tomado com paquímetro digital, com precisão de 0,01mm, e, posteriormente, as raízes foram separadas da parte aérea. Todo o material vegetal identificado foi secado em estufa de circulação forçada a 60°C, durante 72 horas, para a quantificação da matéria seca com o auxílio de uma balança digital. Após a secagem do sistema radicular, as raízes secundárias foram separadas das principais, para a determinação em separado do número de raízes secundárias nas três porções do tubete e da matéria seca destes dois tecidos radiculares.

Após as análises morfológicas foi efetuada análise química de cobre nos tecidos vegetais das mudas e no substrato contido nos tubetes, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Para o tecido vegetal foi utilizada a digestão úmida nitroperclórica para obtenção dos extratos. A parte aérea e o sistema radicular das mudas foram moídos em almofariz, e amostras de aproximadamente 0,5g dos tecidos colocadas em tubos para digestão, seguido da adição de 1mL de ácido perclórico (HClO₄) e 6mL de ácido nítrico (HNO₃). Após digestão a 180°C durante 14 horas, foi feita a leitura da concentração de cobre (mg kg⁻¹ de massa seca) em espectrofotômetro de absorção atômica. As amostras de substrato foram passadas em peneira com malha de 2 mm e secas em estufa de circulação forçada a 60° C durante 5 dias. As amostras foram então tratadas com solução extratora de HCl (0,1 M) na proporção de 1:1 (1mL de HCl para 1g de substrato), durante uma noite. A determinação do teor de cobre (mg dm⁻³) foi feita em espectrofotômetro de absorção.

A qualidade da muda produzida foi determinada através do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), um atributo que calcula a razão raiz/parte aérea (Dickson et al. apud Fonseca e Cruz, 2004). O IQD faz uso de atributos morfológicos capazes de predizer o potencial de sobrevivência e de estabelecimento das mudas no campo (Carneiro apud Fonseca, 2002). O IQD foi calculado através da equação:

$$\text{IQD} = \frac{\text{Massa seca total (g)}}{[(\text{altura (cm)} / \text{diâmetro do coleto (mm)}) + ((\text{massa seca da parte aérea (g)} / \text{massa seca da raiz (g)})]}$$

Foram avaliadas ainda as relações altura/diâmetro do coleto, altura/massa seca de parte aérea e massa seca de parte aérea/massa seca do sistema radicular.

4.5. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise estatística através do programa SAS (SAS Institute Inc., 1999). O efeito de doses de tratamentos sobre os atributos de crescimento e de concentração de cobre avaliados foi analisado através de contrastes ortogonais polinomiais (linear e quadrático) ao nível de 5%, 1% e 0,1% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Tratamentos com cobre

Considerando as fontes de cobre testadas, apenas o sulfato de cobre ocasionou poda no sistema radicular, avaliado em mudas com oito meses de idade. Houve efeito linear ($P < 0,05$) do incremento de dose de sulfato de cobre sobre a redução de diâmetro do coleto, altura da parte aérea e massa seca de parte aérea, e efeito quadrático ($P < 0,05$) para a redução de massa seca da parte aérea e do sistema radicular, houve efeito linear ($P < 0,001$) para redução da massa seca do sistema radicular e de raízes secundárias (Tabela 1). As mudas submetidas ao tratamento com sulfato de cobre apresentaram redução visível no sistema radicular com o incremento na dose (Figura 4).

Arduini et al. (1995), testando sulfato de cobre em mudas de *Pinus pinaster* Ait. e *Pinus pinea* L., observaram que a aplicação de 1mM de sulfato de cobre inibiu a elongação radicular com 3 dias de tratamento e promoveu a formação de raízes secundárias curtas, enquanto a dose de 5mM de sulfato de cobre inibiu completamente o crescimento das raízes. Os autores concluíram que a elongação celular é mais sensível ao cobre que a divisão celular. Dumroese e Wenny (1997) encontraram resultados semelhantes quando conduziram experimentos de poda química de raiz com mudas de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws produzidas em recipientes plásticos de polipropileno tratados com hidróxido de cobre na concentração de 7,1% de cobre, obtendo redução significativa na matéria seca e no volume de raízes. Os autores observaram uma elevada relação raiz/parte aérea, uma maior uniformidade de distribuição de raízes por todo o sistema radicular e concluíram que o tratamento com cobre viabiliza melhoria na qualidade morfológica das mudas.

TABELA 1: Atributos de crescimento analisados em mudas de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química da raiz com sulfato de cobre e oxiclureto de cobre.

TABLE 1: Growth attributes analyzed in *Pinus taeda* L. seedlings submitted to roots pruning with copper sulphate and copper oxychlorate.

Dose de produto (g L ⁻¹)	Diâmetro do coleto (mm)	Altura de parte aérea (cm)	Massa seca do sistema radicular (g)	Massa seca da parte aérea (g)	Massa seca da raiz primária (g)	Massa seca de raízes secundárias (g)
Sulfato de cobre						
0	3,7	31,8	0,5	1,6	0,1	0,4
60	3,3	26,3	0,3	1,3	0,1	0,3
120	3,3	28,6	0,3	1,1	0,1	0,3
180	3,3	28,5	0,3	1,3	0,1	0,3
240	3,2	27,6	0,2	1,2	0,1	0,2
Linear	*	*	***	*	ns	***
Quadrát.	ns	Ns	*	*	ns	ns
C.V. (%)	20,5	20,3	60,8	48,8	64,9	54,9
Oxiclureto de cobre						
0	3,7	31,8	0,5	1,6	0,1	0,4
30	3,9	32,5	0,5	1,8	0,1	0,4
60	3,7	31,1	0,4	1,5	0,1	0,4
90	3,9	32,1	0,6	2,0	0,1	0,4
120	3,8	30,9	0,5	1,6	0,1	0,4
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadr.	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	13,8	11,4	38,6	31,3	56,3	38,2

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; *** = significativo a 0,1%.



FIGURA 4. Sistema radicular de mudas de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química com sulfato de cobre.

FIGURE 4. Roots of *Pinus taeda* L. seedlings submitted to roots pruning with cupper sulphate.

O incremento nas doses oxiclóreto de cobre não apresentou efeito significativo ($P < 0,001$) de poda no sistema radicular (Tabela 1). Foi possível observar a formação de densa massa de raízes 8 meses após o tratamento, mesmo nas maiores doses do produto (Figura 5).

Dadas as diferenças dos resultados de efeito de poda química entre sulfato de cobre e oxiclóreto de cobre foi analisado a concentração de cobre no substrato e nos tecidos vegetais das mudas.

Não foi detectada a presença de cobre nos tecidos da parte aérea das mudas em nenhum tratamento. Tais observações corroboram o trabalho de Landis (1990), o qual relata que, quando as raízes da planta entram em contato com o cobre cessam seu crescimento e suberizam-se, reduzindo drasticamente a absorção e transporte de cobre para a parte aérea. Contudo, o incremento nas doses de sulfato de cobre e de oxiclóreto de cobre ocasionaram aumento linear ($P < 0,001$) na concentração de



FIGURA 5. Sistema radicular de mudas de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química com oxiclureto de cobre.

FIGURE 5. Roots of *Pinus taeda* L. seedlings submitted to roots pruning with cupper oxychlorate.

cobre presente no substrato e efeito linear e quadrático ($P < 0,001$) no aumento da concentração de cobre presente nos tecidos do sistema radicular (Tabela 2).

Observou-se uma grande diferença nas concentrações de cobre nos substratos ao compararmos sulfato de cobre e oxiclureto de cobre (Tabela 2).

Observações efetuadas na fase de preparo da mistura de oxiclureto de cobre com tinta e água demonstraram facilidade na dissolução do produto, apesar de sua baixa solubilidade em água (menor do que 10mg/L a 20-25°C), o mesmo ocorrendo com o sulfato de cobre, que apresenta elevada solubilidade em água (230,5g/L a 20-25°C) (Dores e De-Lamonica-Freire, 2001). As baixas concentrações de cobre no substrato dos tubetes tratados com oxiclureto de cobre podem ser resultado da lixiviação do elemento, devido a baixa interação do produto com a tinta látex. A baixa interação

TABELA 2: Concentração de cobre no substrato e nas raízes de mudas de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química com sulfato de cobre e oxiclureto de cobre.

TABLE 2: Copper concentration in the substrate and in the root tissues of *Pinus taeda* L. seedlings submitted to chemical root pruning with copper sulphate and copper oxychlorate.

Dose de produto (g L⁻¹)	Cobre no substrato (mg dm⁻³)	Cobre nas raízes (mg kg⁻¹)
Sulfato de cobre		
0	0,7	0,0
60	31,6	14,4
120	40,2	25,4
180	70,4	18,2
240	99,9	20,8
Linear	***	***
Quadrática	ns	**
C.V. (%)	72,9	66,7
Oxiclureto de cobre		
0	0,7	0,0
30	21,7	9,6
60	24,0	20,0
90	36,5	8,8
120	42,0	12,2
Linear	***	***
Quadrática	Ns	***
C.V. (%)	65,1	74,5

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; ***= significativo a 0,1%.

pode ter sido dificultada devido a falta de aceptores compatíveis de elétrons (aprisionadores de ligantes) do elemento cobre na mistura do oxiclureto de cobre com a tinta látex, como discutido por Mendham et al., 2005.

No caso do sulfato de cobre, ao proceder-se a sua mistura com tinta látex e água, observou-se a formação de uma pasta firme e homogênea. A mistura do sulfato de cobre cuja fonte foi calda

bordalesa contendo cálcio, com a tinta látex e água, proporcionam formação de uma pasta de sulfato de cálcio (gesso). Isto pode ter permitido a formação de uma mistura densa, com maior interação entre a tinta e o sulfato de cobre, disponibilizando gradualmente maiores teores solúveis de cobre no interior dos tubetes, reduzindo assim a lixiviação do elemento.

A presença de cobre nos tecidos das raízes das mudas tratadas com sulfato de cobre e oxiclreto de cobre (Tabela 2) demonstram que houve contato dos sistemas radiculares com o elemento presente nos tubetes tratados. Entretanto, mesmo estando presente nos tecidos do sistema radicular, o tratamento com oxiclreto de cobre não apresentou efeito significativo de poda das raízes (Tabela 1). Possivelmente, na fase de contato das raízes com as paredes internas dos tubetes, as quantidades de oxiclreto de cobre presentes não foram suficientes para causar efeito de poda química.

O aumento nas doses de sulfato de cobre não afetou ($P < 0,001$) o número de raízes quantificadas nas três porções analisadas do sistema radicular (Tabela 3). No entanto, houve efeito linear ($P < 0,001$) do incremento de dose de oxiclreto de cobre sobre o aumento no número de raízes secundárias presentes nas porções superior e média das raízes (Tabela 3), demonstrando que o tratamento estimulou aumento dessas raízes, praticamente dobrando seu número em porções consideradas vitais para a absorção de água e nutrientes do solo após o transplântio. Segundo Taiz e Zeiger (1998), a maior emissão de pêlos radiculares, responsáveis pelo aumento da superfície de absorção de água e solutos do solo, ocorre em regiões maduras das raízes, correspondentes às porções superior e média do sistema radicular.

No presente trabalho, observações visuais do sistema radicular de plantas tratadas com as doses mais elevadas de sulfato de cobre e oxiclreto de cobre mostraram um bronzeamento das pontas das raízes secundárias. Segundo Arboleda et al. (2002), os ápices de raízes de *Pachyra insignis* Swartz e *Andira inermis* Wright, plantas lenhosas ornamentais submetidas à poda química com hidróxido de cobre com 7,1% de cobre, apresentaram uma cor escurecida, entre o marrom e o negro, refletindo a ocorrência de sintoma de leve toxicidade por efeito do cobre.

TABELA 3: Número de raízes secundárias em diferentes porções do sistema radicular em mudas de *Pinus taeda* L. tratadas com sulfato de cobre e oxiclureto de cobre.

TABLE 3: Number of secondary roots in different portions of the root system in *Pinus taeda* L. seedlings treated with copper sulphate and copper oxychlorate.

Dose de produto (g L ⁻¹)	Número de raízes		
	Porção superior	Porção média	Porção inferior
Sulfato de cobre			
0	14,2	7,8	6,4
60	16,2	7,9	6,0
120	15,3	9,7	6,1
180	17,3	10,3	7,9
240	16,5	7,5	6,2
Linear	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	ns
C.V. (%)	30,9	44,1	55,4
Oxicloreto de cobre			
0	14,2	7,8	6,4
30	18,8	12,2	9,0
60	16,3	11,8	7,8
90	21,3	19,0	7,9
120	20,9	15,0	7,2
Linear	**	***	ns
Quadrática	ns	ns	ns
C.V. (%)	31,5	52,2	52,0

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; *** = significativo a 0,1%.

O aumento na dose de sulfato de cobre reduziu significativamente o IQD ($P < 0,01$), o mesmo não ocorrendo com o oxiclureto de cobre (Tabela 4). Todos os tratamentos a base de cobre apresentaram valores de IQD menores que o índice mínimo (0,2) preconizado por Dickson (1960), e citado por Hunt (1990), como indicador de alta qualidade de mudas para transplântio. Entretanto,

TABELA 4. Índice de Qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *Pinus taeda* L. tratadas com diferentes doses de sulfato de cobre, oxiclureto de cobre.

TABLE 4: Dickson quality index (DQI) in *Pinus taeda* L. seedlings treated with different doses of cupper sulphate, cupper oxychlorate.

Dose de produto (g L⁻¹)	IQD
Sulfato de cobre	
0	0,1
60	0,1
120	0,1
180	0,1
240	0,0
Linear	**
Quadrática	ns
C.V. (%)	54,1
Oxiclureto de cobre	
0	0,1
30	0,1
60	0,1
90	0,1
120	0,1
Linear	ns
Quadrática	ns
C.V. (%)	35,6

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; ***= significativo a 0,1%.

observa-se que para o cálculo de IQD são considerados atributos morfológicos que expressam a robustez da muda, entre eles a massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicular (Fonseca et al. apud Fonseca e Cruz et al., 2004), atributos dependentes do crescimento das raízes, principal órgão de ação do cobre na poda química. A redução no desenvolvimento do sistema radicular das mudas submetidas a doses crescentes de sulfato de cobre (Tabela 1) resultou em redução do IQD. O

mesmo não ocorreu com o oxiclreto de cobre, que não ocasionou redução significativa no crescimento das mudas, especialmente das raízes (Tabela 1), com o incremento nas doses.

O IQD foi desenvolvido com base em estudos do comportamento de mudas de *Picea glauca* Moench e *Pinus monticola* Dougl ex. D. Don (Dickson et al. apud Fonseca e Cruz et al., 2004). Hunt (1990) sugere um valor mínimo de 0,2 para o IQD como indicador de qualidade de mudas de *Pseudotsuga meliziesii* e *Picea abies* Karst. produzidas em recipientes, sendo que quanto maior for o valor desse indicador melhor será o padrão de qualidade da muda e melhores condições de resistência da mesma após o transplântio (Gomes apud Fonseca e Cruz et al., 2004).

Atributos morfológicos são utilizados como parâmetros na previsão da qualidade e desempenho das mudas após o transplântio. A classificação da altura da parte aérea e diâmetro do coleto, por exemplo, é uma prática em viveiros que permite separar lotes quanto a qualidade das mudas (Thompson, 1985). A qualidade da muda pode ser definida por meio da relação entre alguns atributos morfológicos com possíveis previsões sobre a performance da muda após o transplântio, capacidade de sobrevivência e crescimento inicial da planta. Entretanto, experimentos relatando uma relação entre atributos de crescimento, tais como tamanho de muda, diâmetro do coleto e massa seca com a sobrevivência e a performance a campo podem ser contraditórios (Thompson, 1985), e não devem ser tomadas como padrão único para a classificação de qualidade de lotes de mudas.

Os resultados de avaliação de alguns atributos morfológicos das mudas de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química com sulfato de cobre e oxiclreto de cobre são apresentados na Tabela 5.

A relação entre massa seca da parte aérea e de raiz não foi afetada ($P < 0,001$) pelo incremento nas doses de sulfato de cobre e oxiclreto de cobre (Tabela 5). A relação altura de parte aérea e diâmetro do coleto não foi afetada pelo o incremento nas doses de sulfato de cobre, mas reduziu (segundo modelo quadrático) ($P < 0,05$) com o incremento nas doses de oxiclreto de cobre, enquanto a relação entre altura e massa seca de parte aérea não foi afetada com o incremento nas doses de oxiclreto de cobre, mas reduziu (segundo modelo quadrático) ($P < 0,05$) com o incremento nas doses de sulfato de cobre (Tabela 5).

TABELA 5. Atributos morfológicos em mudas de *Pinus taeda* L. tratadas com diferentes doses de sulfato de cobre e oxiclureto de cobre.

TABLE 5. Morphologic attributes in *Pinus taeda* L. seedlings treated with different doses of cupper sulphate and cupper oxychlorate.

Dose de produto (g L⁻¹)	Altura /Diâmetro do coleto (cm/mm)	Altura/Massa seca de parte aérea (cm/g)	Massa seca da parte aérea /Massa seca do sistema radicular (g/g)
Sulfato de cobre			
0	8,6	22,2	3,1
60	7,9	28,5	3,6
120	8,6	31,0	3,6
180	8,5	25,6	4,4
240	8,4	36,5	5,6
Linear	ns	ns	ns
Quadrática	ns	*	ns
C.V. (%)	17,1	63,9	59,6
Oxiclureto de cobre			
0	8,6	19,9	3,2
30	8,4	19,7	3,1
60	8,4	21,2	5,9
90	8,1	15,9	4,0
120	8,1	20,3	3,4
Linear	ns	ns	ns
Quadrática	*	ns	ns
C.V. (%)	13,3	31,3	109,7

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; ***= significativo a 0,1%.

Segundo Carneiro apud Fonseca et al., 2002, para *Pinus taeda* L., valores da relação altura de parte aérea e diâmetro do coleto entre 5,4-8,1 são ideais para expressar a capacidade das mudas de sobreviverem após o transplântio. Os valores obtidos para esta relação nos diferentes tratamentos com

sulfato de cobre e oxiclóreto de cobre estão um pouco superiores ao limite máximo estabelecido por este autor.

Segundo Armson e Sadreika apud Thompson (1985), pela avaliação morfológica da altura das mudas, pode-se observar a área de transpiração e a capacidade fotossintética da planta, que possui alta correlação com a altura da muda. Parece haver boa correlação entre altura da muda e crescimento inicial, mas há imprecisão nas conclusões sobre a sobrevivência das mudas a campo (Pawsey, Anstey, Mullin e Svaton apud Thompson, 1985). Em *Pinus resinosa* Ait., mudas com altura inicial de 7, 11 e 15cm, após 12 anos de crescimento, resultaram em árvores com 299, 311 e 366cm de altura, respectivamente, apesar destas diferenças em altura não serem significativas (Curtis apud Thompson, 1985). Os autores não observaram uma relação direta entre sobrevivência das plantas após o transplântio e a altura inicial das mudas. No presente trabalho, a altura das mudas reduziu significativamente com o aumento da dose de sulfato de cobre (Tabela 1). A performance da muda a campo, com relação ao aumento do crescimento inicial após o transplântio, pode ser dependente da altura das mudas, diferente da sua sobrevivência, que não é linearmente relacionada a altura (Thompson, 1985).

A relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz das mudas não foram afetados pelo aumento nas doses de sulfato de cobre e oxiclóreto de cobre (Tabela 5). Observa-se que as relações alcançaram valores superiores ao índice 2,0 citado por Brissette (1984) como ideal. A relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz é considerada um índice eficiente e seguro para expressar padrão de qualidade de muda (Parvainen apud Fonseca et al., 2002). A muda de qualidade deveria ter uma baixa razão entre massa seca de parte aérea e de raiz para assegurar a sobrevivência da muda a campo (Thompson, 1985). Experimentos desenvolvidos nos EUA com *Pinus taeda* L. demonstraram razão massa seca de parte aérea e raiz variando de 5,5 em outubro para 3,8 em janeiro, e finalmente para 2,8 em março (Garner e Dierauf apud Thompson, 1985). Isso reflete a variação que ocorre na razão proposta devido ao peso seco da raiz aumentar à custa do peso seco da parte aérea, conforme a estação climática corrente (Thompson, 1985).

Segundo Wenny et al. (1988), o sistema radicular das mudas submetidas a poda química com carbonato de cobre diferiu daquele de mudas produzidas pelo sistema convencional (em bandejas ou tubetes plásticos, por exemplo), nos primeiros 2-5 anos após o plantio definitivo. O tratamento das mudas com carbonato de cobre promoveu maior número de raízes na porção superior do sistema radicular, maior número e melhor distribuição radial de raízes secundárias nos quatro quadrantes do sistema radicular e maior diâmetro das raízes secundárias (medidas as cinco maiores raízes). Todavia, segundo estes autores, a alteração do sistema radicular de árvores originadas de mudas podadas com diferentes doses de carbonato de cobre apresentou pouco efeito sobre o estabelecimento inicial e crescimento a campo, comparativamente a mudas produzidas sem poda química. O tratamento de mudas de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws var. *ponderosa* com carbonato de cobre não interferiu no desenvolvimento inicial das plantas, quantificado em termos de altura e diâmetro do coleto 2 a 3 anos após o plantio, mas ocasionou leve aumento na sobrevivência das planta. Trabalhos conduzidos com *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws, *Pinus monticola* Dougl. ex D. Don e *Pseudotsuga meliziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco, também não mostraram diferenças significativas sobre o crescimento no campo das mudas tratadas com carbonato de cobre. Parece não haver efeito negativo sobre o crescimento e desenvolvimento das árvores originadas de mudas submetidas à poda química, mesmo com alterações do sistema radicular e, conseqüentemente, reduções na altura da parte aérea.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que o incremento nas doses de sulfato de cobre promoveu redução na massa seca total do sistema radicular, especialmente através da inibição do desenvolvimento de raízes secundárias. As mudas que receberam tratamento com as doses mais altas de sulfato de cobre apresentaram também reduzido crescimento da parte aérea, demonstrando claramente que sintoma de toxidez por cobre (Figura 6). Por outro lado, o incremento nas doses de oxiclreto de cobre não causou redução na massa seca total do sistema radicular, mas promoveu aumento no número de raízes secundárias, concentradas especialmente nas porções mediana e superior das mudas. O oxiclreto de cobre, mesmo nas doses mais elevadas, não ocasionou redução no crescimento da parte aérea, indicando que não houve toxidez pelo cobre (Figura 6). Portanto, apesar

do efeito promotor do sulfato de cobre na poda química do sistema radicular, o produto reduziu significativamente a emissão de raízes laterais, o mesmo não ocorrendo com o oxiclureto de cobre. Desta forma, o incremento nas doses de oxiclureto de cobre parece apresentar um efeito positivo maior em relação ao sulfato de cobre, já que um sistema radicular com maior número de raízes secundária curtas é desejável visando estabelecimento das mudas a campo.

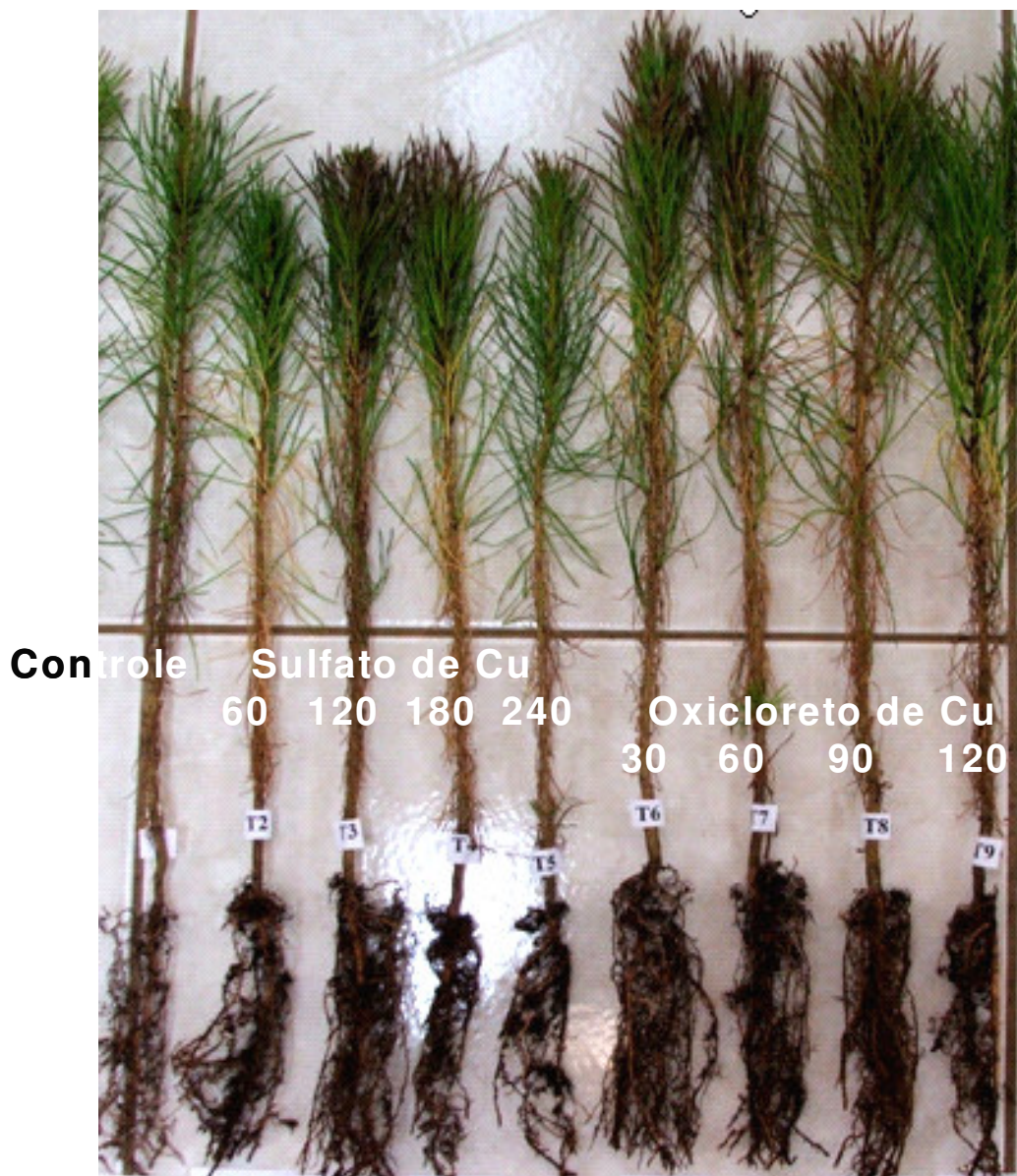


FIGURA 6. Mudras de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química com sulfato de cobre e oxiclureto de cobre.

FIGURE 6. *Pinus taeda* L. seedlings submitted to roots pruning with copper sulphate and copper oxychlorate.

5.2. Tratamento com ethefon

O incremento nas doses de ethefon aplicados na parte aérea nas mudas, visando a liberação de etileno, não foi efetivo na poda química de raízes. O incremento nas doses de ethefon ocasionou aumento significativo (efeito linear) ($P < 0,05$) no acúmulo de matéria seca de raiz primária (Tabela 6). Não houve efeito de dose do produto sobre os demais atributos analisados ($P < 0,001$) (Tabela 6). Foi observada uma densa massa de raízes, com raízes secundárias bastante entrelaçadas, mesmo nas doses mais elevadas de ethefon (Figura 7).

Foram efetuadas análises quantitativas do número de raízes secundárias das mudas tratadas com ethefon nas porções superior, média e inferior do sistema radicular (Tabela 7). O incremento nas doses de ethefon ocasionou aumento linear ($P < 0,01$) no número de raízes secundárias presentes na porção média, e aumento com efeito quadrático ($P < 0,05$) do número de raízes na porção inferior do sistema radicular (Tabela 7). Segundo Taiz e Zeiger (1998), a primeira e maior emissão de pêlos radiculares, responsáveis pelo aumento da superfície de absorção de água e solutos do solo, ocorre em regiões maduras das raízes, correspondentes às porções superior e média do sistema radicular.

O aumento na dose de ethefon não afetou o IQD ($P < 0,001$) (Tabela 8), bem como as relações entre os atributos morfológicos avaliados nas mudas de *Pinus taeda* L. (Tabela 9).

Os resultados obtidos com o ethefon mostram claramente que o aumento nas doses do produto não ocasionou poda química do sistema radicular, bem como não afetou os demais atributos de crescimento avaliados. Houve efeito do aumento nas doses do produto apenas no incremento de raízes secundárias na porção mediana do sistema radicular.

TABELA 6: Atributos de crescimento analisados em mudas de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química da raiz com ethefon.

TABLE 6: Growth attributes analyzed in *Pinus taeda* L. seedlings submitted to roots pruning with ethefon.

Dose de ethefon (mg i.a. L ⁻¹)	Diâmetro do coleto (mm)	Altura de parte aérea (cm)	Massa seca do sistema radicular (g)	Massa seca da parte aérea (g)	Massa seca da raiz primária (g)	Massa seca de raízes secundárias (g)
0	4,0	31,9	0,7	1,9	0,1	0,5
50	4,0	32,8	0,7	2,0	0,1	0,6
75	3,7	31,7	0,6	1,8	0,1	0,5
100	4,1	32,1	0,6	2,1	0,1	0,5
125	3,9	31,7	0,7	2,0	0,1	0,5
Linear	ns	ns	ns	ns	*	ns
Quadrática	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	14,3	10,8	29,9	27,5	58,6	28,8

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; ***= significativo a 0,1%.

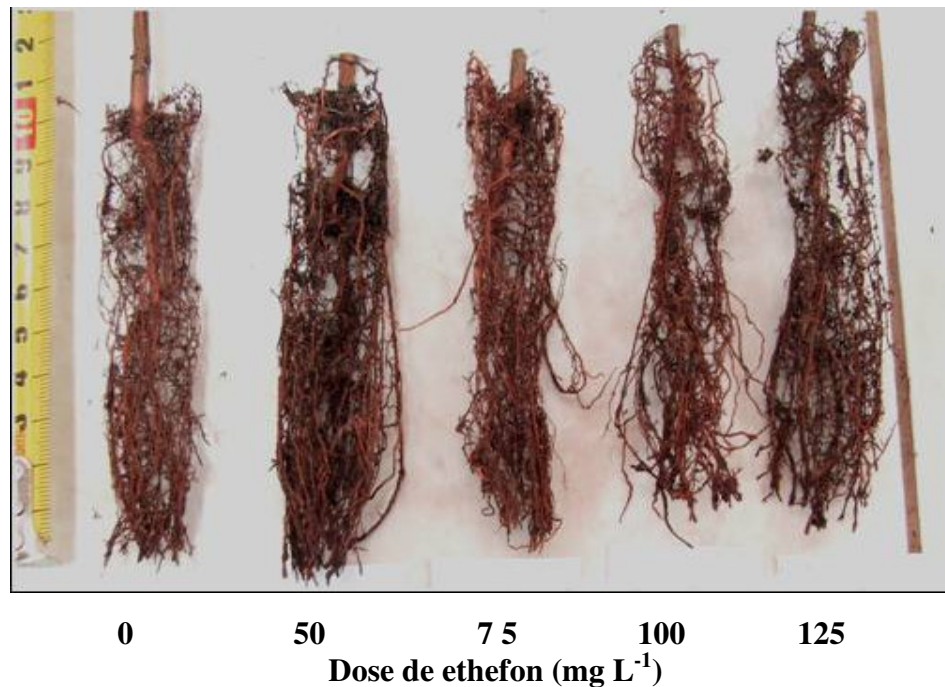


FIGURA 7. Sistema radicular de mudas de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química com ethefon.

FIGURE 7. Roots of *Pinus taeda* L. seedlings submitted to chemical root pruning with ethefon.

TABELA 7: Número de raízes secundárias em diferentes porções do sistema radicular em mudas de *Pinus taeda* L. tratadas com ethefon.

TABLE 7: Number of secondary roots in different portions of the root system in *Pinus taeda* L. seedlings treated with ethefon.

Dose de ethefon (mg i.a. L ⁻¹)	Número de raízes secundárias		
	Porção Superior	Porção Média	Porção Inferior
0	17,7	8,0	5,3
50	18,9	10,4	9,1
75	16,6	11,0	8,8
100	18,5	9,3	7,1
125	15,2	14,7	7,2
Linear	ns	**	ns
Quadrática	ns	Ns	*
C.V. (%)	26,8	44,6	42,6

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; ***= significativo a 0,1%.

TABELA 8: Índice de Qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *Pinus taeda* L. tratadas com diferentes doses de ethefon.

TABLE 8: Dickson Quality index (DQI) in *Pinus taeda* L. seedlings treated with different doses of ethefon.

Dose de ethefon (mg i.a. L ⁻¹)	IQD
0	0,1
50	0,1
75	0,1
100	0,1
125	0,1
Linear	ns
Quadrática	ns
C.V. (%)	32,1

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; ***= significativo a 0,1%.

TABELA 9. Atributos morfológicos em mudas de *Pinus taeda* L. tratadas com diferentes doses de ethefon.

TABLE 9. Morphologic attributes in *Pinus taeda* L. seedlings treated with different doses of ethefon.

Dose de ethefon (mg i.a. L ⁻¹)	Altura (cm)/Diâmetro do coleto (mm)	Altura (cm)/Massa seca de parte aérea (g)	Massa seca de parte aérea (g)/Massa seca do sistema radicular (g)
0	7,9	17,1	2,7
50	8,1	16,5	2,8
75	8,7	19,2	3,1
100	7,7	16,8	3,2
125	8,1	16,7	2,9
Linear	ns	ns	ns
Quadrática	ns	ns	Ns
C.V. (%)	16,7	32,4	25,9

Efeito linear e/ou quadrático de doses de produtos analisado através de contrastes ortogonais polinomiais: ns = não significativo; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; ***= significativo a 0,1%.

Segundo Taiz e Zeiger (1998) as principais etapas de ação do etileno envolvem a ligação deste à um receptor específico na célula (proteínas receptoras), seguido pela ativação de transdução de sinal ou alteração do padrão de expressão gênica, induzindo uma resposta celular. Na planta, essa resposta celular causa a expansão lateral de células radiculares e, conseqüente, inibição do alongamento da raiz. Na planta o etileno é biologicamente ativo em pequenas concentrações, normalmente menores de 1 mL L⁻¹ (Taiz e Zeiger, 1998). Possivelmente, a produção do etileno não foi estimulada na planta devido à falhas na absorção e/ou translocação do ethefon aplicado via pulverização, sem a presença de espalhante adesivo, ou devido à falta de resposta inerente da espécie *Pinus taeda* L. ao etileno liberado nas doses mais elevadas de ethefon.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, a pesquisa florestal envolvendo trabalhos com uso de poda química de raízes de mudas florestais é recente, não havendo registros do uso desta prática pelos viveiristas ou empresas florestadoras. A tecnologia da poda química é executada com base em experimentos desenvolvidos em outros países, principalmente na América do Norte, onde a produção de mudas envolve a poda química realizada em tubetes, sacos plásticos ou tecidos para a cobertura e revestimento dos recipientes. Esses recipientes são impregnados com cobre durante a confecção pela indústria. A poda química adotada em alguns países é vista como uma tecnologia eficiente e comumente usada pelas empresas do setor.

O presente trabalho inclui uma ampla revisão bibliográfica, obtida de trabalhos desenvolvidos em outros países, onde identificamos grande variação nas metodologias utilizadas, nos teores de cobre testados e suas diferentes fontes, conforme a região em questão. De forma idêntica, o uso do ethefon na poda química é sugerido, entretanto sem consenso com relação a doses e efeitos.

Testamos na poda química de raízes de mudas o efeito de dose de duas fontes de cobre e o ethefon, produtos de fácil acesso, avaliando não somente atributos morfológicos, mas também a qualidade das mudas de *Pinus taeda* L. submetidas aos tratamentos.

As avaliações permitiram concluir que o tratamento com oxiclureto de cobre teve efeito positivo no aumento do número de raízes secundárias ao longo do eixo da raiz primária, e não causou redução na massa seca de raízes, comumente obtido com a poda química. O tratamento com sulfato de cobre apresentou reduções significativas em todos os atributos morfológicos analisados demonstrando claro efeito de toxidez por cobre, causado provavelmente pela interação da calda bordalesa fonte de

sulfato de cobre com o cálcio contido na mistura com a tinta, acentuando o nível do elemento cobre nos tubetes.

Sugere-se para novos estudos de poda química de raízes de mudas de *Pinus taeda* com ethefon o uso de espalhante adesivo em mais de uma pulverização nas plantas, visto que os dados obtidos no experimento não coincidem com os resultados apresentados na revisão bibliográfica. Com respeito aos tratamentos com cobre, o uso do cobre elementar pode ser avaliado, podendo-se isolar os efeitos deste elemento. Adicionalmente, novas fontes de cobre merecem ser testadas visando avaliar diferentes interações e respostas das mudas a esses produtos, além de identificar produtos que sejam de fácil acesso aos viveiristas ou produtores rurais do setor florestal.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com esse trabalho permitem concluir que:

1. Considerando as fontes de cobre testadas, o aumento nas doses de sulfato de cobre promoveu aumento na concentração do elemento presente no substrato e nos tecidos do sistema radicular das mudas, em relação ao oxiclreto de cobre;
2. O incremento nas doses de sulfato de cobre ocasionou redução na massa seca total do sistema radicular e da parte aérea, no Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e na emissão de raízes secundárias, como resultado da toxidez por cobre;
3. O incremento nas doses de oxiclreto de cobre não causou redução na massa seca total do sistema radicular e da parte aérea e no IQD, indicando que não houve toxidez pelo cobre, e promoveu aumento no número de raízes secundárias, concentradas especialmente nas porções mediana e superior;
4. O oxiclreto de cobre apresenta vantagens em relação ao sulfato de cobre, já que um sistema radicular com maior número de raízes secundárias curtas é desejável visando estabelecimento das mudas a campo;
5. O incremento nas doses de ethefon não afetou o acúmulo de massa seca do sistema radicular e da parte aérea, o IQD e a emissão de raízes secundárias das mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDUINI, I.; GODBOLD, D.L.; ONNIS, A. Influence of copper on root growth morphology of *Pinus pinea* L. and *Pinus pinaster* ait seedlings. Dipartimento di Agronomia e Gestione dell Agro - Ecosistema, Università di Pisa, Italy. **Tree Physiology**. Canadá, n. 6, p.411-415, 1995.
- ARBOLEDA, M.E.; BAUTISTA, D.; MOGOLLÓN, N. Efecto del hidróxido de cobre sobre el crecimiento de las especies arbóreas *Pachyrhynchus insignes* y *Andira inermis* em condiciones de vivero. **Bioagro**. v.14, n.2, p.65-70, 2002.
- BARAJAS-RODRÍGUEZ, J.E.; ALDRETE, A.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J.J.; LÓPEZ-UPTON, J. La poda química em vivero incrementa la densidad de raíces em árboles jóvenes de *Pinus greggii*. **Agrociencia**. v.38, p.545-553, 2004.
- CARNEIRO, J.G. de A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba, Editora Folha de Viçosa. 1995, 451p.
- DORES, E.F.G de C.; DE-LAMONICA-FREIRE, E.M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: Águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso - Análise Preliminar. **Química Nova**, v.24, n.1, p.27-36, 2001.
- DUMROESE, R.K.; WENNY, D.L. An assessment of *Ponderosa pine* seedlings grown in copper-coated polybags. **Tree Planters' Notes**. v. 48, n. 3/4, p.60-64, 1997.
- DUNN, G.M.; HULTH, J.R.; LEWTY, M.J. Coating nursery containers with copper carbonate improves root morphology of five native Australian tree species used in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**. v.37, n.2, p.143-153, 1997.

FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; GARLET, A.; ELEOTÉRIO, J.R.; BERGER, R. Estabelecimento de povoamentos de *Pinus elliottii* E. pela semeadura direta a campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n.1, p. 107-113, 2003.

FONSECA, É de P.; VALÉRI, S.V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N.A.N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**. Viçosa MG, v. 26, n. 4, 2002.

FONSECA E CRUZ, C.A.; NOGUEIRA DE PAIVA, H.; GOMES, K.C.O.; GUERRERO, C.R.A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tebebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**. n.66, p.100-107, 2004.

HOEFLICH, V.A.; SCHAITZA, E.G.; COUTO, A.J.; OLOVEIRA, E.B.. Cadeia produtiva de *Pinus* na região sul do Brasil: um diagnóstico preliminar. **Comunicado Técnico**. Colombo, EMBRAPA-CNPF, n.19, p.1-6,1997.

JOHNSON, F. The use of chemicals to control root growth in container stock: a literature review. **OMNR, Northeast Science & Technology**. 1996, 20p.

KASKA, D.D.; MYLLYLA, R.; COOPER, J.B. Auxin transport inhibitors act through ethylene to regulate dichotomous branching of lateral root meristems in pine. Department of molecular, cellular and developmental biology, University of Califórnia, Santa Bárbara, USA. **New Phytologist**. v.142, n.1, p.49-58, 1999.

LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; McDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. The container tree nursery manual. Containers and growing media. Chapter 1 - Containers: Types and Functions. U.S. Department of Agriculture. **Forest Service**. Washington, DC. v. 2, p.31-32, 1990.

LEITE, N. B. A questão florestal e o desenvolvimento. O setor florestal no Brasil. In: Seminário. Rio de Janeiro.2003.

LEMOS, R. C. et al. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de Santa Catarina**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria e Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul – SUDESUL. v.1, 1973.

LOPES, S. **Fundamentos da Biologia Moderna**. 1 edição. São Paulo. Editora Saraiva. 1999.

MATTEI, V.L. **Comparação entre semeadura direta e plantio de mudas produzidas em tubetes na implantação de povoamento de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação do Curso Engenharia Florestal, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1993.

MATTEI, V.L. Deformações radiculares em plantas de *Pinus taeda* L. produzidas em tubetes quando comparadas com plantas originadas por semeadura direta. **Ciência Floresta**. Santa Maria, v. 4, n.1, p.9-21, 1994.

MATTEI, V.L. Protetores físicos para semeadura direta de *Pinus elliottii* E. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 31, n.5, p.775-780, 2001.

MENDHAM, J.; DENNEY, R.C.; BARNES, J.D.; THOMAS M.J.K. **VOGEL: Análise química quantitativa**. 6 edição. 488 p. Editora LTC, São Paulo, 2002.

NASCIMENTO, W. M. Envolvimento do etileno na germinação de sementes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Londrina, v. 12, Ed. Especial. 2000.

OMAR, D. **Indicadores de qualidade de mudas. Capítulo III**. Dourados, 2005. Universidade Federal de Santa Maria, Curso de Agronomia, Santa Maria, p.1-4, 2005.

PEZZUTTI, R.V. **Formação de mudas de *Eucalyptus globulus* em função da fertilização NPK, do modelo de tubete e da poda química de raiz**. 1998, 72p. Dissertação – Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1998.

SHIMIZU, J.Y. **Pinus na silvicultura brasileira**, Portal Ambiente Brasil, 2005. Disponível em:<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal>>. Acesso em: 17/10/2005.

SUASSUNA, J. **A cultura do *Pinus*: uma perspectiva e uma preocupação**. Fundação Joaquim Nabuco. 1997. Disponível em:< <http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/pinus.html>>. Acesso em 25/10/2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2 ed. **Sunderland: Sinauer Associates, Inc., Publishers**, 1998. 793 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia URGS, Porto Alegre, p.103-105, 1995.

TEJERO, J. R.; PÉREZ, I. **Estúdio sobre el repicado químico em plantas de vivero de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)**. Efectos em la morfologia de la raiz. Departamento de Ciências Florestales. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva. Campus Universitario de la Rábida. Palos de la Frontera. Huelva, p.1-9, 2001.

THOMPSON, B. E. Seedling morphological evaluation. Research Associate, Silvicultural Research, **International Paper Company**, Corporate Research Center, P.O. Tuxedo Park, New York, p.65-68 1985.

WENNY, D.L.; LIU, Y.; OSBORNE, H.L. First year field growth of chemically root pruned containerized seedlings. **New Forests**. v. 2, n. 2, p.111-118, 1988.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **O complexo florestal industrial (CFI) em Minas Gerais**. Caracterização, dimensionamento e importância. Estudo Setorial, 41p. Belo Horizonte, Out/2004. Disponível em:<www.showsite.com.br//silviminas/html/index.asp?Metodo=ExibirDet&Prod=55&Grupo=4&SubGrupo=19>. Acesso em: 08/09/2005.