



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbge](http://www.ufpe.br/rbge)



## Tolerância do *Pinus taeda* inoculado com fungos ectomicorrizicos (fECM), sob diferentes concentrações de cobre

Roger Francisco Ferreira de Campos<sup>1</sup>, Leyza Paloschi de Oliveira<sup>2</sup>, Bianca Schweitzer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP) e Mestrando pelo programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC) – [roger@uniarp.edu.br](mailto:roger@uniarp.edu.br); <sup>2</sup> Professora da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP) e Doutoranda pelo programa de pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual de Santa Catarina, Brasil - [leyza@uniarp.edu.br](mailto:leyza@uniarp.edu.br); <sup>3</sup>DSC Química, pesquisadora da EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Estação Experimental de Caçador - [biancaschweitzer@epagri.sc.gov.br](mailto:biancaschweitzer@epagri.sc.gov.br).

Artigo recebido em 22/11/2016 e aceito em 24/02/2015

### RESUMO

Uma das principais economias da região do meio oeste catarinense é o reflorestamento do *Pinus sp.*, com as perspectiva de melhor produção florestal muitas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para melhor sobrevivência dessa espécie, tanto em viveiro como a campos. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a interação de isolados de fungos ectomicorrizicos como *Pinus taeda* sob diferentes concentrações de cobre. As mudas de *Pinus taeda* foram inoculadas com os fungos ectomicorrizicos USFC-36 (*Cenococcum geophilum* Fr.), USFC-72 (*Rhizopogon sp.*) e USFC-113 (*Suillus cothurnatus* Sing.) e foram testadas quanto a tolerância do cobre junto com a testemunha em condições de viveiro, foi avaliado o crescimento, diâmetro, altura, taxa de mortalidade e micorrização das mudas. Conclui-se que os fECM auxiliam as mudas em relação altura, diâmetro, diminuição na taxa de sobrevivência das mudas. Assim, esse estudo visa a utilização de fECM associado com *Pinus sp.* em áreas contaminadas com metais pesados.

Palavras-chave: *Pinus Taeda*. Fungos Ectomicorrizicos. Cobre.

## Tolerance of the *Pinus taeda* inoculated with ectomycorrhizic fung (fECM), under different copper concentrations

### ABSTRACT

One of the main economies of the midwestern region of Santa Catarina is the reforestation of *Pinus sp.*, with the perspective of better forest production, many technologies have been developed to improve the survival of this species, both in nursery and in fields. Therefore, the objective of this work was to evaluate the interaction of ectomycorrhizal fungi isolates such as *Pinus taeda* under different concentrations of copper. The seedlings of *Pinus taeda* were inoculated with the ectomycorrhizal fungi USFC-36 (*Cenococcum geophilum* Fr.), USFC-72 (*Rhizopogon sp.*) And USFC-113 (*Suillus cothurnatus* Sing.) and were tested for copper tolerance along with control, the growth, diameter, height, mortality rate and mycorrhization of the seedlings were evaluated. It is concluded that the Fecm aid the seedlings in relation to height, diameter, and decrease in the survival rate of seedlings. Thus, this study aims at the use of fECM associated with *Pinus sp.* in areas contaminated with heavy metals.

Keywords: *Pinus Taeda*. Ectomycorrhizal fungi. Copper

### Introdução

O *Pinus sp.* é valorizado como uma das principais espécies de reflorestamento por possuir uma fibra longa, ideal para produção de papel, extração de resina, produção de madeira serrada, madeira laminada, chapas e outros (EMBRAPA, 2007).

Na região sul do Brasil são estimados uma geração correspondente a 1.284,50 hectares de *Pinus sp.* plantados, na busca de suprir a necessidade de todos os segmentos industriais da região (BRDE, 2003)

Os fungos ectomicorrizicos (fECM) desenvolvem-se associados às raízes da espécie *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.* formando micorrizas e são em sua maioria basidiomicetos e ascomicetos, que, pela ocorrência generalizada em florestas de plantas hospedeiras e pelos efeitos sobre estas, tornam-se componentes importantes dos ecossistemas naturais dos reflorestamentos (Smith e Read, 2008). Existe uma diversidade de fungos basidiomicetos que formam associações ectomicorrizicas com as essências florestais como

o *Pinus taeda* no município de Caçador/SC (Freire et al., 2012).

A espécie *Pinus sp.* é dependente da associação micorrízica para uma melhor sobrevivência e crescimento em diferentes condições quanto em viveiro e a campo., devido os fungos ectomicorrizicos produzem substâncias que inibem o crescimento de patógenos, protegendo as plantas contra doenças (Smith e Read, 2008).

As micorrizas, também podem apresentar benefícios relacionados ao tratamento e recuperação de solo, algumas dessas micorrizas efetuam a quebra dos íons de metais no interior de suas células ou exsudatos, assim retiram os contaminantes do solo e impede sua absorção pelas raízes contribuindo para a biorremediação (Bertolazi et al., 2010).

O uso biotecnológico da inoculação controlada em plantas permite a sobrevivência das mudas em locais contaminados por metais pesados (Turnau et al., 1996). Os níveis tóxicos de metais no solo podem ser de ordem natural ou induzida por atividades humanas como mineração, silvicultura, Indústria e outros. Os metais na forma de íons solúveis, são absorvidos pelas plantas e inibem o crescimento das raízes, diminuem a integridade das membranas e alteram o funcionamento normal das enzimas (Krupa e Kozdrój, 2004).

O cobre em altas concentrações pode diminuir a atividade microbiana, alterando a densidade de fungos e bactérias no solo e o desenvolvimento vegetal da parte aérea, radicular e das alturas das plantas (Antoniolli et al., 2010). Os impactos ambientais ocasionados pelos metais pesados não devem ser determinados somente pela sua concentração e densidade total, mas sim pela sua disponibilidade que é determinada na sua mobilidade no solo (Bisinoti et al., 2004), onde o efeito da toxicidade dos metais em plantas e microorganismos depende muitas vezes de sua concentração ou do seu papel nos processos bioquímicos (Hall, 2002).

Segundo Souza et al., (2006) considerando as condições edafo-climáticas, as aptidões agro-silvo-pastoril e a escassez de recursos financeiros, torna as micorrizas como uma tecnologia de grande potencial no Brasil, no entanto, é necessário pesquisas da aplicação biotecnológicas dos inoculantes ectomicorrizicos. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento, diâmetro, altura, taxa de mortalidade e micorrização das mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos e induzida a diferentes concentrações de cobre.

## Material e métodos

As culturas dos inoculos fúngicos ectomicorrizicos (fECM) foram obtidas junto à coleção de culturas de fungos ectomicorrizicos do Laboratório de Ectomicorrizas da Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC (Tabela 1).

Neste estudo foi utilizado Sulfato de Cobre (CuSO<sub>4</sub>) nas concentrações de 0, 1,5, 3, 6 e 24 mg, com os inoculantes fúngicos USFC-36, UFSC-Rh72, UFSC-Su103. O substrato para crescimento das plantas foi constituído de uma mistura de turfa e vermiculita na proporção de 4:1 (v/v), onde foi distribuído proporcionalmente em sacos de 5L, submetendo-se, em seguida, a um ciclo de autoclavagem (120 °C por 60 min) no laboratório de microbiologia da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe - UNIARP. Após secagem, o substrato foi encaminhado para o viveiro da ADAMI S/A, onde foi adicionado o inoculante encapsulado na forma de alginato de cálcio, sendo eles misturados vigorosamente com 7,5 g de adubo Osmocote Mini Prill (5 m).

O substrato foi distribuído proporcionalmente em recipientes cônicos de PVC (Tubetes), com 60 mL de capacidade, que foram empregados como recipiente do cultivo das mudas de *Pinus taeda*. Os recipientes foram previamente desinfetados por imersão numa solução de hipoclorito de sódio 1%, durante 12 horas e enxaguados várias vezes em água destilada. Para realizar o teste de tolerância sob as concentrações de cobre foram utilizados três fungos e uma testemunha. Cada fungo ectomicorrizico recebeu 5 concentrações de cobre, e para cada concentração de cobre foram usados 77 tubetes, compondo um total de 1540 tubetes no experimento. Após a adição dos metais, cada tubete recebeu uma semente de *Pinus taeda* provenientes de segunda geração do reflorestamento da empresa ADAMI S/A localizada no município de Caçador-SC, com quebra de dormência e não pré-germinada.

Os substratos semeados foram irrigados com água destilada diariamente com o processo automático de irrigação da empresa ADAMI S/A e mantidas durante cinco meses em viveiro. Durante o experimento, foram monitorados o crescimento e a aparência da parte aérea das plantas e ao término do período experimental a campo, foi feita a avaliação da altura e do diâmetro, micorrização e sobrevivência das mudas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa ASSISTAT versão 7.7 beta (Silva e Azevedo, 2009).

Isolado	Espécie	Hospedeiro	Procedência
USFC-36	<i>Cenococcum geophilum</i> Fr.	<i>Fagus sylvatica</i>	Champenoux - França
UFSC-Rh72	<i>Rhizopogon</i> sp.	<i>Pinus taeda</i>	Três Barras - SC
UFSC-Su103	<i>Suillus cothurnatus</i> Sing.	<i>Pinus elliotti</i>	Florianópolis - SC

Tabela 1. Características dos fungos ectomicorrizicos utilizados provenientes do Laboratório de Ectomicorrizas da UFSC.

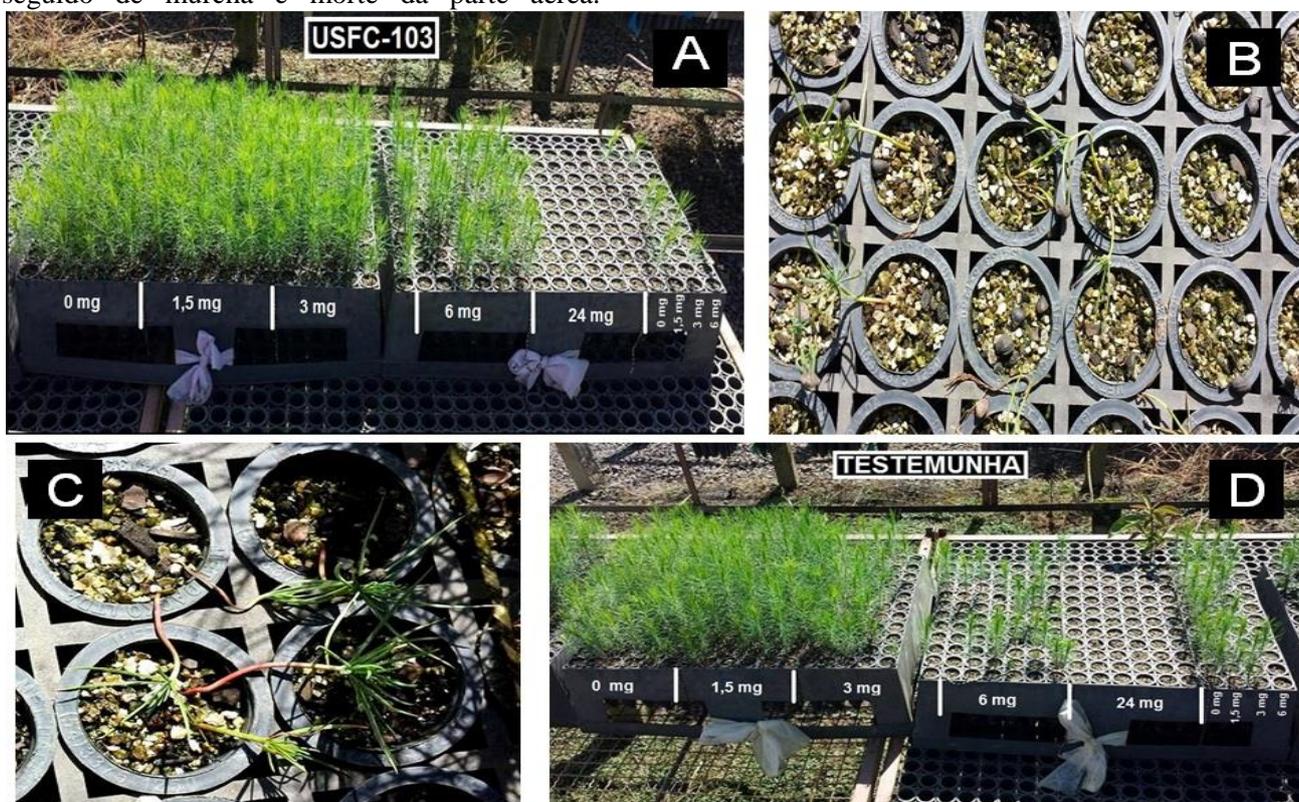
### Resultados e discussão

A figura 1 mostra os aspectos observados de germinação e desenvolvimento das mudas de *Pinus taeda* associado com fungos ectomicorrizicos sob diferentes concentrações de cobre. Os tubetes que receberam 24 mg de cobre não apresentaram crescimento em substrato. As sementes germina com esta quantidade de Cu aplicado (Figura 2A e 2D), mas quando atingiram entre 4 a 5 cm de altura, as mudas apresentaram características de tombamento, perda de pigmentação no caule e, subsequentemente, a planta não se desenvolveu (Figura 2B e 2C).

Segundo Junior et al., (2006) o tombamento das mudas de *Pinus sp.* decorre do desenvolvimento rápido das lesões no colo, seguido de murcha e morte da parte aérea.

Sintomas fitotóxicos como escurecimento e paralização radicular, murchamento, necrose, encurtamento de raízes secundárias, anormalidade na epiderme foram verificados em estudos de tolerância de cobre com 0.02, 0.2, 2, 20, 200 ppm em mudas de *Pinus sp.* de estágio inicial (Andrade et al., 1976).

Figura 1. apresenta o aspecto da germinação e desenvolvimento do *Pinus taeda* com inoculos de fungos ectomicorrizicos em viveiro e sem inoculos, sob diversas concentrações de cobre (A, B, C e D); crescimento da planta em 120 dias, USFC-103 (A); crescimento da planta em 120 dias, Testemunha (D); tombamento das mudas em concentrações de 24 mg/tubete (B e C).



**Figura 1.** Aspecto da germinação e desenvolvimento do *Pinus taeda* com inoculos de fungos ectomicorrizicos em viveiro e sem inoculos, sob diversas concentrações de cobre (A, B, C e D); crescimento da planta em 120 dias, USFC-103 (A); crescimento da planta em 120 dias, Testemunha (D); tombamento das mudas em dose de 24 mg/tubetes (B e C).

Na Tabela 2 é apresentada a taxa de sobrevivência do *Pinus taeda* sob diferentes concentrações de cobre, onde pode ser observado um crescimento da taxa de mortalidade conforme o aumento das concentrações de cobre. As mudas do

tratamento que não sofreram inoculação de fungos ectomicorrizicos, foram se mostraram mais sensíveis a concentrações elevadas do cobre quando comparadas com as mudas que sofreram inoculação de fungos ectomicorrizicos.

ANÁLISE DA SOBREVIVÊNCIA DAS MUDAS					
Isolado/Concentração	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	Media
USFC-36	65	66	62	51	<b>61 a</b>
UFSC-Rh72	61	59	52	41	<b>53,25 a</b>
UFSC-Su103	63	75	55	43	<b>59 a</b>
Testemunha	59	58	39	28	<b>46 a</b>
<b>Média*</b>	<b>62 A</b>	<b>64,5 A</b>	<b>52 AB</b>	<b>40,75 B</b>	

Tabela 2. Análise de sobrevivência de mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos sob diferentes concentrações de cobre.\*Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

As plantas que não sofreram inoculação dos fungos ectomicorrizicos, apresentaram taxa de sobrevivência menor do que as mudas que sofreram inoculação (Tabela 3.). Essas características já foram observadas em outros trabalhos, mudas de *Eucalyptus dunnii* que não sofreram inoculação de fungos ectomicorrizicos quando submetidas a estresse pelos metais pesados (Targhetta et al., 2008). Os pesquisadores observaram que a associação mutualística entre os fECM e o *Eucalyptus dunnii*. proporciona maior tolerância na sobrevivência quando a espécie é submetida a diferentes concentrações de cobre.

O fungo ectomicorrizico USFC-103 apresentou maior sobrevivência na concentração de 1,5 mg de cobre do que nas demais concentrações avaliadas, inclusive quando comparado com a testemunha (Tabela 3.). O fungo ectomicorrizico USFC-36 apresentou maior sobrevivência nas concentrações de 3 mg e 6 mg de cobre, quando comparado aos demais fungos (Tabela 2), e também apresentou taxa de sobrevivência maior que a testemunha em todas as concentrações de cobre aplicadas.

O fECM USFC-72 apresentou o menor número na sobrevivência em todas as concentrações de cobre aplicadas, quando comparado com os demais fungos analisador. Porém ainda apresentou taxa de sobrevivência superior a obtida para a testemunha (tabela 2), corroborando assim com a eficiência da micorrização na sobrevivência das mudas de *Pinus taeda*. A taxa de mortalidade do *Pinus taeda* aumenta conforme o aumento das concentrações de cobre (Cu) (Figura1). Mudas do tratamento testemunha que não sofreram inoculação de fungos ectomicorrizicos, se mostraram mais sensíveis à

adição de cobre quando comparadas com as mudas que sofreram inoculação de fungos ectomicorrizicos (Figura 1D).

A associação apresentada pelos fungos ectomicorrizicos associado com o *Pinus taeda*, aumentou a tolerância à aplicação de cobre em altas concentrações, apresentando média de sobrevivência de 18,8% maior dos isolados quando comparados a testemunha. Silva et al., (2011) observou que o fungo ectomicorrizico *Pisolithus microcarpus* inoculado em mudas de *Canafístula* com presença de 150 mg/kg de cobre, auxiliou na sobrevivência com 46% das mudas em solos contaminado com cobre. Segundo Smith e Read (1997) a *rede de hartig* dos fECM possui como capacidade a imobilização dos metais pesados pelo manto fúngico, sendo uma característica para explicar a quebra dos íons pela fitoestimulação.

Nesse estudo, observou-se que a altura das mudas de *Pinus taeda* aumenta na menor concentração de cobre adicionado, mas conforme a concentração aumenta a tolerância das mudas diminui. Plantas do tratamento testemunha foram mais sensíveis ao aumento das concentrações do cobre (Tabela 2) do que as mudas que sofreram inoculação. Segundo Andreazza et al., (2004) a inoculação do *Pisolithus sp.* em mudas de *Pinus elliotii* em áreas degradadas, obteve crescimento de 2,35 cm de altura superior as mudas que não receberam inoculação (Testemunha).

A Tabela 3. mostra a análise do tamanho das mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos sob diferentes concentrações de cobre.

ANÁLISE DO TAMANHO DAS MUDAS					
Isolado/Concentração	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	Média
USFC-36	27,27	36,64	27,36	23,14	<b>28,60 a</b>
UFSC-Rh72	23,45	27,45	24,45	19,82	<b>23,79 a</b>
UFSC-Su103	26,27	31,09	23,90	18,91	<b>25,04 a</b>
Testemunha	22,27	25,82	20,82	16,45	<b>21,34 a</b>
<b>Média*</b>	<b>24,82 AB</b>	<b>28,75 A</b>	<b>24,14 AB</b>	<b>19,58 B</b>	

Tabela 3. Análise do tamanho das mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos sob diferentes concentrações de cobre.\* Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

As mudas que sofreram inoculação do fungo ectomicorrizico UFSC-36 tiveram maior crescimento, sendo as que as plantas com a adição de 1,5mg de cobre apresentaram maior o crescimento, com 36,64 cm. As plantas que sofreram adição de 3mg de cobre não se distinguiram das plantas sem adição de Cu, apresentando crescimento de 27,36cm e 27,27cm respectivamente. Quando foi adicionado 6mg de Cu diminuiu o crescimento para 23,14cm e, finalmente, com a adição de 24mg de cobre não foi observado crescimentos nas plantas analisadas.

Observou-se que o inoculo ectomicorrizico UFSC-113 apresentou crescimento em todas as concentrações de Cobre adicionado (Tabela 3). O maior crescimento obtido foi com a adição de 1,5mg de Cu (27,45 cm) e com 24mg de cobre adicionados não foi observado crescimento das mudas. As plantas com o inoculo UFSC-72 tiveram o crescimento superior a testemunha em todas as doses de Cu aplicadas neste estudo. O fungo ectomicorrizico UFSC-113 foi inoculado, as mudas cresceram menos quanto comparadas aos outros fungos ectomicorrizicos, sendo o crescimento de (26,27 cm), (31,09 cm), (23,90 cm) e (18,91 cm) com a adição de 0, 1,5, 3 e 6mg de Cu respectivamente. No entanto, quando comparado com a testemunha o crescimento foi superior em todas as concentrações de cobre aplicado.

Os fungos ectomicorrizicos UFSC-36, UFSC-72 e UFSC-113 auxiliaram no desenvolvimento de da altura das mudas de *Pinus taeda*, em todas as concentrações de cobre analisadas quando comparado com a testemunha. As mudas inoculadas com os fungos ectomicorrizicos sob a concentração de 1,5mg de cobre obtiveram um maior crescimento quando comparadas com as mudas inoculadas sem adição de Cu, e com as mudas inoculadas com adição de 3 e 6mg de Cu, além da testemunha. Estes resultados corroboram com a conclusão de Filho e Krüger (1986) de que a inoculação de fungos ectomicorrizicos *Thelephora terrestris* em mudas de *Pinus caribaea*, proporciona o desenvolvimento na altura das mudas, entre um comparativo com mudas que não sofreram inoculação. Costa (2007) estudou a aplicação de resíduos de fabrica de papel em mudas de *Pinus taeda*, para fins da utilização dos resíduos, mostrando que a utilização de Neossolo as mudas apresentaram um declive da altura conforme as doses (0, 10, 20, 40, 80 t/ha), somente as mudas com substrato Cambissolo, com doses de 20 t/ha obtiveram um crescimento de 30% num comparativo com a testemunha.

Na Tabela 4. é observado a análise do diâmetro das mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos sob diferentes concentrações de cobre.

ANÁLISE DO DIÂMETRO DAS MUDAS					
Isolado/Concentração	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	Média
USFC-36	2,47	2,46	2,36	2,18	<b>2,37 a</b>
UFSC-Rh72	2,64	2,63	2,70	2,10	<b>2,52 a</b>
UFSC-Su103	2,93	2,74	2,51	2,12	<b>2,58 a</b>
Testemunha	2,31	2,46	2,36	2,10	<b>2,31 a</b>
<b>Média*</b>	<b>2,59 A</b>	<b>2,57 A</b>	<b>2,48 AB</b>	<b>2,13 B</b>	

Tabela 4. Análise do diâmetro das mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos sob diferentes concentrações de cobre. \* Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

As mudas que sofreram inoculação do fungo ectomicorrizico UFSC-Rh72 foram as únicas que apresentaram aumento do diâmetro com a adição de 1,5 mg e 3 mg de cobre, quando comparados com as mudas que não sofreram adição de cobre. Os fungos ectomicorrizico UFSC-36 e UFSC-Su103 apresentam uma diminuição no diâmetro conforme o aumento da concentração de cobre nas mudas de *Pinus taeda*. A Testemunha apresentou um aumento de diâmetro com adição de 1,5 e 3 mg de Cu, porém com a adição de 6 mg de cobre o diâmetro das mudas diminuiu.

As mudas que sofreram inoculação do fungo ectomicorrizico UFSC-36 apresentaram maior desenvolvimento de diâmetro com a adição

de 6mg de Cu quando comparado aos outros fungos avaliados. Somente os fungos ectomicorrizicos USFC-72 e UFSC-113 seguiram os parâmetros do diâmetro para plantio, segundo Ibanês et al., (2004) o diâmetro mínimo para a qualidade de um plantio de *Pinus sp.* está estabelecido entre 2,5 e 3 mm. Porém, para Pezzutti e Caldato (2011) o diâmetro do colo produzido em recipientes não influenciam na sobrevivência das mudas de *Pinus sp.* em campo.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na análise da micorrização da mudas de *Pinus Taeda* quando submetidos a diferentes inoculos fungicos e diferentes concentrações de cobre.

ANÁLISE DA MICORRIZAÇÃO					
Isolado/Concentração	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	Média
USFC-36	81,82	77,27	61,36	63,64	<b>71,02 a</b>
UFSC-Rh72	70,00	68,18	57,27	33,24	<b>57,17 a</b>
UFSC-Su103	66,36	66,82	54,55	40,91	<b>57,16 a</b>
Testemunha	15,91	33,64	25,00	15,91	<b>22,62 b</b>
<b>Média *</b>	<b>58.52 A</b>	<b>61.47 A</b>	<b>49.54 A</b>	<b>38,43 A</b>	

Tabela 5. Analise da micorrização das mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos sob diferentes concentrações de cobre. \* Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Como no desenvolvimento da parte aérea das mudas o cobre afetou a colonização das micorrizas, conforme dados apresentado na (Tabela 5), o aumento da concentração de cobre apresenta diminuição eficiência de micorrização nas raízes das mudas. As mudas que não sofreram inoculação dos fungos ectomicorrizicos apresentaram desenvolvimento de micorriza. Essa característica é devido ao viveiro apresentar fungos adaptados com *Thelephora sp.* e *Laccaria sp.* em seu ambiente. A infestação natural de *Thelephora terrestres* foi registrada em viveiros florestais com mudas de *Pinus elliottii* (Zak e Marx, 1964) e *Pinus strobus* (Fassi e Fontana, 1966). Muitos viveiros não possuem controle de infestação de fungos formadores de micorriza, mesmo que a interação da micorrização fornece benefícios para as mudas em viveiros (Tomazello-Filho e Krüger, 1986).

As mudas que sofreram inoculação do fungo ectomicorrizico UFSC-36 apresentaram maior valor de micorrização em todas as concentrações de cobre avaliadas quando comparadas as mudas que foram inoculadas com os fungos ectomicorrizicos USFC-72, USFC-113 e a testemunha. Os fungos ectomicorrizicos USFC-72 e UFSC-113 apresentam comportamento

semelhante com a adição de cobre referente à micorrização.

A inoculação do fungo ectomicorrizico *Pisolithus sp.* em mudas de *Pinus elliottii* obteve uma colonização de 60,53% de micorrizas em áreas degradadas (Andreazza, 2004). Estudos com o fungos ectomicorrizicos inoculados ao *Pinus elliottii* obtiveram uma micorrização de 37% com *Rhizopogon rubescens* e 45% com *Pisolithus sp.* (Silva et al., 2002). Essa variação de micorrização entre os fungos ectomicorrizicos e o *Pinus sp.* foram observadas com diferentes isolados (Marx et al., 1980).

Os fungos ectomicorrizicos são tolerantes aos metais pesados, porem em altas doses o cobre atua com agente fungicida em substrato. O declive de população de espécies variadas de fungos sobre doses de cobre em substrato de *Pinus elliottii* foram observadas (Silva, 2005). A diminuição dos fungos pode ser pelos efeitos diretos no processo de síntese protéica e da formação da membrana plasmática do fungo (Banu, 2006).

O isolamento do fungo ectomicorrizico *Paxillus involutus* em mudas de *Eucalipto sp.* com diferentes doses de fósforo, quando é induzido 4 mg/tubete de fósforo as mudas não apresentam

colonização das micorrizas, porém efeitos positivos foram detectados (Souza et al., 2004).

Os fungos ectomicorrizicos USFC-36, USFC-72 e USFC-113 auxiliaram as plantas no desenvolvimento do diâmetro, altura e no crescimento das mudas de *Pinus taeda* sob as concentrações de cobre. Devido os fungos ectomicorrizicos possuir a capacidade de quelar os íons dos metais pesados (Smith e Read, 1997). Essa característica da simbiose mutualística entre o fungo e o *Pinus sp.* é descrita como rizodegradação ou fitoestimulação (Andrade, 2007).

Os fungos ectomicorrizicos presente em substrato possui uma capacidade de biodegradação do cobre, associado ao mecanismo do processo de fitorremediação das plantas essa simbiose proporcionou melhores condições ao cobre, elemento potencialmente tóxicos. Segundo Brunner (2001) os fungos ectomicorrizicos apresentam grandes respostas com a toxicidade. Estudos comprovam os benefícios da interação dos fungos ectomicorrizicos com os metais pesados, embora os mecanismos dessa ação não sejam estabelecidos nesses estudos (Ray et al., 2005; Targhetta et al., 2008).

Assim com os fungos ectomicorrizicos sob as concentrações de cobre auxiliaram no desenvolvimento do *Pinus taeda*. As mudas sobre a doses de 1,5 mg/tubete inoculadas e não inoculadas apresentaram maior eficiência no desenvolvimento do diâmetro, altura e taxa de mortalidade das mudas de *Pinus taeda*. Segundo Will (1972) micronutrientes como o cobre são exigido em pequenas frações para o desenvolvimento do *Pinus sp.*

## Conclusões

Os A inoculação em mudas de *Pinus taeda* com inoculantes de fungos ectomicorrizicos USFC-36 (*Cenococcum geophilum* Fr.), USFC-72 (*Rhizopogon sp.*) e USFC-113 (*Suillus cothurnatus* Sing.) auxiliaram no crescimento das mudas em relação altura, diâmetro e na diminuição na taxa de mortalidade das mudas.

A colonização das ectomicorrizicas é prejudicada pelo aumento do teor de cobre no substrato de plantio e a eficiência dos inoculantes tende a ser maior nas menores concentrações de cobre aplicado, obtendo um potencial em todas a mudas inoculadas com o fungos ectomicorrizicos sobre a concentração de 1,5 mg/tubete.

Não houve sobrevivência de mudas quando foi aplicado 24 mg de cobre por tubete.

## Agradecimentos

Agradeço à empresa ADAMI S/A MADEIRAS, pela disponibilização da utilização do viveiro. À EPAGRI pela disponibilização do laboratório de Análise Química e a UFSC pela disponibilização dos inoculos fúngicos. Ao Programa de Bolsas Universitárias do Estado de Santa Catarina (UNIEDU) pelo fornecimento de bolsa para realização deste trabalho.

## Referências

- Andrade, J.C.M., Tavares, S.R.L., Muhler, F.C., 2007. Fitorremediação - O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental, São Paulo, Editora Oficina de Textos.
- Andrade, V. M., Lourenço, R. S., Muraoka, T., Malavolta, E., 1979 Estudo sobre a nutrição mineral do cafeeiro XXXI influência do cobre em substrato no crescimento e composição mineral do cafeeiro (COFFEA ARABICA L.) variedade mundo novo e Catuaí. Anais da E.S.A. "Luis de Queiroz", v.XXXIII.
- Andreazza, R., Baumgardt, J., Antonioli, Z.I., Pujol, S.B., 2004. Inoculação de Fungos Ectomicorrizicos em *Pinus elliotti* (Engelm) em áreas degradadas de São Francisco de Assis. In: FERTIBIO, 2004, Lages - SC. Avaliação das Conquistas: Base para Estratégias Futuras.
- Andreazza, R., Antonioli, Z.I., Silva, R.F.; Longhi, S.J., 2004. Produção de mudas de *Pinus elliottii* em solo arenoso inoculas com fungos ectomicorrizicos. Revista Ciência Florestal 14, 51-59.
- Antonioli, Z.I., Santos, L.C., Lupatini, M., Leal, L.T., Schirmer, G.K., Redin, M., 2010. Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, associação micorrizica e no cultivo de mudas *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Pinus elliottii* Engelm E *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. Revista Ciências Florestal 20, 419-428.
- BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL – BRDE, 2003. Reflorestamento da Região Sul do Brasil: Uma análise econômica, Porto Alegre: BRDE/DIOP/SUPLA/DEPRO
- Banu, N.A., Singh, B., Copeland, L., 2006. Influence of copper on soil microbial and biodiversity in some New South Wales soil, Australia. Australian Journal of Soil Research 42, 1-6.

- Bertolazi, A.A., Canton, G.C., Azevedo, I.G., Cruz, Z.M.A., Soares, J.M., Santos, W.O., Ramos, A.C., 2010. O papel das ectomicorrizas na biorremediação de metais pesados no solo. *Natureza on line* 8, 24-31.
- Bisinoti, M. C., Yeben, M.J. S., Gimenez, S.N., 2004. Avaliação da influência de metais pesados no sistema aquático da bacia hidrográfica da cidade de Londrina-PR. *Revista Analytica* 8., 26-27.
- Brunner, I., 2001. Ectomycorrhizas: their role in forest ecosystems under the impact of acidifying pollutants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 4, 13-27.
- Costa, C.N., Meurer, E.J., Bissani, C.A., Tedesco, M.J., 2007. Fracionamento de Cádmiu e Chumbo em solos. *Revista Ciência Rural* 37, 1323-1328.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007. Espécies de pinus mais plantadas no Brasil. Embrapa Florestas
- Freire, C.G., Campos, R.F.F., Oliveira, L.P., 2012. Levantamento de fungos ectomicorrízicos em floresta de *Pinus taeda* em Caçador – SC, *Revista IGNS* 1, 72-92.
- Fassi, B., Fontana, A., 1966. Researchesonectotrophic mycorrhizae of *Pinus strobes* in nurseries: 2–mycorrhizae of *Thelephora terrestris*, *Laccaria laccata* and *hebelomam esophaeum*. *Allionia* 12: 47-53.
- Hall, J.L., 2002. Cellular mecanismo for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of experimental Botany* 53, 1-11.
- Ibanês, C., Nuñez, P., Pezzutti, R., Rodrigues, F., 2004. Efectos de la roturación del suelo y fertilización con fósforo en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus taeda*, en suelos rojos del Noreste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Revista Bosque* 25, 69-76
- Junior, A.G., Paris, C., Auer, C.G., 2006. Fusariose em Mudas de *Pinus taeda*, *Bol. Pesq. Fl.* 52, 157-162.
- Krupa, P., Kozdrój, J., 2004. Accumulation of heavy metals by ectomycorrhizal fungi colonizing birch trees growing in an industrial desert soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 20, 427-430.
- Marx, D. H., 1980. fungus inoculations, a tool for improvising forestation practices. In: *Tropical Mycorrhizas Research* (P. Mikola). Oxford University Press. London. 13-71.
- Pezzutti, R.V., Caldato, S.L., 2011. Sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *Pinus taeda* com diferentes diâmetros de colo, *Revista Ciência Florestal* 21, 355-362.
- Ray, P., Tiwari, R., Reddy, U. G., Adholeya, A., 2005. Detectingthe heavy metal tolerance level in ectomycorrhizal fungi in vitro. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 21, 309-315.
- Rühling, A., Söderstrom, B., 1990. Changes in fruobody production of mycorrhizal and litter decomposing macromycetes in heavy metal polluted coniferous forests in North Sweden. *Water Air Pollution* 49, 375-387.
- Smith, S.E., Read, D.J., 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2. ed. London: Academic Press.
- Smith, S.E., Read, D.J., 2008. *Mycorrhizal symbiosis*, London: Academic Press.
- Silva, R.F., Antonioli, Z.I.; Lupatini, M., Trindade, L.L., 2011. Ectomicorrização em quatro espécies florestais nativas do Rio Grande do Sul e sua eficiência em solo contaminado por cobre. *Revista Ciência e Natura* 33, 95-109.
- Silva, F.A.S., Azevedo, C.A.V., 2009. Principal components analysis in the software assistatstatistical attendance. In: *World congress on computers in agriculture*, 7, Reno-NV\_USA: America Social Agriculture Biology Engineer,
- Silva, R.F.; Filho, G.N.; Oliveira, V.L., 2003. Produção de mudas de *Pinus Elliotti* Engelm. micorrizadas em solos arenoso, *Revista Ciência Florestal* 13, 57-65.
- Silva, S.; Siqueira, O.J.; Soares, C.R.F.S., 2006. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41, 1749-1757.
- Souza, L. A. B., Filho, G. N. S., Oliveira, V.L., 2004. Eficiência de fungos ectomicorrízicos na

absorção de fósforo e na promoção de crescimento de *eucalipto*. Pesquisa Agropecuária Brasileira 398, 349-355.

Souza, V.C., Silva, R.A., Cardoso, G.D., Barreto, A.F., 2006. Estudos sobre fungos micorrízicos. Rev. bras. eng. agríc. ambient. 10, 612-618.

Tarhetta, B.L.; Oliveira, V.L., Rossi, M.J., 2013. Tolerância de fungos ectomicorrízicos e plantas associadas a níveis tóxicos de metais. Revista Árvore 37, 825-833.

Tomazello, M., Krugner, T.L., 1982. Aspectos da associação micorrizica em *Pinus sp*. Série Técnica IPEF 3, 1-32.

Turnau, K., Kottke, I., Dexheimer, J., 1996. Toxic element filtering in *Rhizopogon roseolus*/*Pinus sylvestris* mycorrhizas collected from calamine dumps. Mycological Research 100, 16-22.

Will, G.M., 1972. Copper deficiency in radiate pine planted on sands at Mangawhai forest. New Zeland Journal of Forestry Science, Rorotua 2, 217-221.

Zak, B.; Mark, D.H., 1964. Isolation of mycorrhizal fungi from roots in individual slash pine. Forest science 10, 214-22.