

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DO SOLO**

**PRISCYLLA PFLEGER**

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM CAMBISSOLO SOB  
VEGETAÇÃO NATURAL E PLANTIOS DE PINUS EM  
DIFERENTES IDADES**

**LAGES, SC  
2013**



**PRISCYLLA PFLEGER**

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM CAMBISSOLO SOB  
VEGETAÇÃO NATURAL E PLANTIOS DE PINUS EM  
DIFERENTES IDADES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Manejo do Solo.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol

**LAGES, SC  
2013**

P531s Pflieger, Priscylla  
Substâncias húmicas em cambissolo sob vegetação  
natural e plantios de pinus em diferentes idades  
/ PriscyllaPflieger.-2013.  
64p. : il. ; 21 cm

Orientador: Paulo Cezar Cassol

Bibliografia: p. 59-64

Dissertação (mestrado) - Universidade do  
Estado de

Santa Catarina, Centro de Ciências

Agroveteinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Manejo do Solo, Lages, 2013.

1. Fracionamento. 2. Ácidos húmicos.

3.Reflorestamento. 4. Seqüestro de carbono.

I. Pflieger, Priscylla. II. Cassol, Paulo  
Cezar.III.Universidade do Estado de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Manejo do  
Solo. IV. Título

**PRISCYLLA PFLEGER**

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM CAMBISSOLO SOB  
VEGETAÇÃO NATURAL E PLANTIOS DE PINUS EM  
DIFERENTES IDADES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Manejo do Solo.

**Banca Examinadora**

Orientador:

\_\_\_\_\_  
Dr. Paulo Cezar Cassol  
UDESC, Lages (SC)

Co-orientador:

\_\_\_\_\_  
Dr. Álvaro Luis Mafra  
UDESC, Lages (SC)

Membro:

\_\_\_\_\_  
Dra. Analu Mantovani  
UNOESC, Campos Novos (SC)

**Lages, 28 de Agosto de 2013**



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida.

A toda minha família, em especial ao meu pai pelo incentivo em seguir o caminho acadêmico e à minha mãe e irmão por toda compreensão e força que me deram durante todas as etapas por que passei.

Aos meus amigos por compreenderem e entenderem a minha ausência em tantos encontros e por toda diversão e descontração proporcionados nos momentos de estresse.

À “irmã” de mestrado Leandra, Bárbara, Dreyce, Rafaela e demais colegas de laboratório pelo apoio e ajuda nos momentos de necessidade e aperto durante a realização das análises.

Ao orientador professor Dr. Paulo Cezar Cassol pelo companheirismo, por toda paciência, tempo e disposição dedicados e conhecimentos repassados para realização deste trabalho.

À Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC pela oportunidade da realização de um curso de graduação e pós-graduação com ensino gratuito e de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.



## RESUMO

O crescimento da exploração madeireira em uma taxa mais alta que a renovação das florestas naturais motivou a expansão dos plantios florestais com espécies exóticas de alto desempenho, alterando a paisagem natural e diversas características do solo. Devido à grande área ocupada com reflorestamentos de pinus no estado de Santa Catarina, considera-se necessário avaliar o impacto dessa cultura no estoque de carbono orgânico do solo, especialmente com relação às frações das substâncias húmicas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações na quantidade e proporção das substâncias húmicas da matéria orgânica em solo representativo do Planalto Catarinense devido à substituição da vegetação natural por povoamentos de *Pinus taeda*. Foram avaliadas quatro situações de uso em áreas localizadas no município de Ponte Alta, sendo uma de campo natural e três plantios de *Pinus taeda* com idades de 5, 16 e 21 anos em segunda rotação, em solo classificado como Cambissolo Húmico distrófico. Amostras de solo compostas por sete subamostras foram coletadas em sete pontos amostrais dentro de cada área nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm de profundidade. Os teores de carbono das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo foram determinados através de fracionamento químico resultante da solubilização em meios ácido e básico. Os teores e proporções das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo variaram significativamente em função da situação de uso e profundidade analisados, evidenciando maiores quantidades na camada superficial e seu aumento com a idade do pinus. Em geral, os maiores valores de C nas frações e camadas avaliadas foram observados no P21 e os menores no P05.

**Palavras-chave:** fracionamento, ácidos húmicos, reflorestamento, seqüestro de carbono.



## ABSTRACT

The growing of the wood exploration on a bigger rate than the forests renew motivated the expansion of forest cropping with exotic species of high develop, changing the natural landscape and many other soil characteristics. Due to the great area occupied with *Pinus sp.* plantations on Santa Catarina state, it is considered necessary to evaluate the impact of this kind of crop on soil organic carbon stock, specially related to fractions from humic substances. On this context, this work aims to evaluate the changes on humic substances quantity and proportion of organic matter on representative soil from highlands in Santa Catarina state due to replacement of natural vegetation by *Pinus taeda* stands. Four situations of soil use on areas located in Ponte Alta town were evaluated, being one of natural grasslands and tree of *Pinus taeda* forests with 5, 16 and 21 years old on second rotation, on soil classified as Humic Dystrucept. Soil samples composed by seven subsamples were collected on seven points inside every area on 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm layers. The carbon level of humic substances from soil organic matter were determinated by chemical fractionating resulted from acid and basic solubilization. The humic substances levels and proportions of soil organic matter changed significantly by the function of situation soil use and depth analyzed, showing more quantity on the surface layer and its increasing with pinus age. In general, the highest levels of C on fractions and layers evaluated were observed on P21 and the lowest on P05.

**Key-words:** fractionating, humic acids, reforest, carbon sequestration.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Coordenadas geográficas e características das situações de uso das áreas amostradas em Cambissolo Húmico no município de Ponte Alta, SC. (Adaptado de Fachini, 2012). ..... 33
- Tabela 2** – Significância estatística da análise de variância das frações químicas (ÁF – ácidos fúlvicos; ÁH – ácidos húmicos; HUM – humina) e teor total das substâncias húmicas (SOMA) para área, camada e interação área\*camada a um nível de 5% de significância. .... 41
- Tabela 3** – Teores médios de Carbono total na camada 0-40 cm por fração química das substâncias húmicas (ÁF – ácidos fúlvicos; ÁH – ácidos húmicos; HUM – humina) e teor total das substâncias húmicas (SOMA) em quatro situações de uso do solo em Cambissolo Húmico. .... 43
- Tabela 4** – Teores médios de Carbono dos 4 tipos de usos nas frações de substâncias húmicas (ÁF – ácidos fúlvicos; ÁH – ácidos húmicos; HUM – humina) e teor total das substâncias húmicas (SOMA) em camadas até 40 cm de profundidade de Cambissolo Húmico. .... 45
- Tabela 5** – Relações entre substâncias húmicas, AH (ácidos húmicos)/AF (ácidos fúlvicos) e EA (elementos solúveis em álcali = AF+AH)/HUM (humina), por camada de Cambissolo Húmico em cada tipo de uso (CN – Campo Natural; P05 – Pinus 5 anos; P16 – Pinus 16 anos; P21 – Pinus 21 anos). ..... 56



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Mapa de localização geográfica do município de Ponte Alta no Planalto Catarinense. Fonte: adaptado de IBGE (2013). ..... 32
- Figura 2** – Desenho esquemático dos pontos de coletas realizadas em cada uma das áreas amostradas (adaptado de Fachini, 2012). ..... 35
- Figura 3** – Gráfico de distribuição dos teores de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas substâncias húmicas ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM), em áreas de Campo Natural (CN), Pinus 5 anos (P05), Pinus 16 anos (P16) e Pinus 21 anos (P21) em cinco camadas até a profundidade de 40 cm de Cambissolo Húmico. Letras minúsculas comparam teores das frações e maiúsculas os teores totais das substâncias húmicas entre as áreas dentro de cada camada a 5% de significância. .... 50
- Figura 4** – Teores de carbono orgânico nas frações das substâncias húmicas ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), humina (HUM) e substâncias não-húmicas (SNH) em Cambissolo Húmico de áreas sob uso com Campo Natural (CN), Pinus 5 anos (P05), Pinus 16 anos (P16) e Pinus 21 anos (P21) (gráfico A) e proporção dessas frações químicas com relação ao carbono orgânico total (COT) do solo (gráfico B) na camada 0-40 cm. .... 53



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	Aspectos gerais sobre áreas florestais e aporte de carbono .....	21
2.2	Frações químicas e processo de evolução da MOS .....	26
2.3	Mobilidade do carbono no perfil do solo .....	28
<b>3</b>	<b>MATERIAL E METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
3.1	Localização e descrição das áreas de estudo .....	31
3.2	Processo de amostragem .....	34
3.3	Metodologia de análise das amostras .....	35
3.4	Análise estatística .....	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização, as florestas têm sido utilizadas desde sua produção principal de madeira para construção civil e lenha, até seus produtos secundários, folhas, frutos e sementes. Com o crescimento populacional evoluindo em uma taxa mais alta que do crescimento das florestas, o recurso madeira foi ficando cada vez mais escasso, reduzindo as florestas naturais e alterando a paisagem natural. O desenvolvimento de tecnologias, aprimoramento das técnicas de silvicultura, manejo do solo e de uso da madeira foram fundamentais na implantação de novas florestas para esta produção. Não somente a necessidade de madeira, mas também de maior produção de alimentos levou a substituição de áreas naturais por agricultura.

No Brasil as espécies florestais mais abundantes destinadas a reflorestamentos para produção de madeira e outros fins, como celulose e papel, são o eucalipto e pinus devido à facilidade dessas espécies em adaptar-se aos diversos ambientes. No sul do Brasil o pinus é a espécie mais abundante, principalmente nos estados de Santa Catarina e Paraná, com milhares de hectares plantados.

A redução de florestas e alteração das paisagens naturais causou alta influência na qualidade do solo e seu aporte de carbono. Com o corte das árvores, a queima e exposição do

solo devido às práticas de manejo e exploração das áreas, este elemento é liberado para a atmosfera na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) contribuindo para o aquecimento global causado, principalmente, pelo aumento da concentração deste gás na atmosfera. O solo é o maior reservatório de carbono na biosfera terrestre e com a alteração das áreas naturais têm-se modificações importantes, principalmente com relação à qualidade e quantidade de matéria orgânica. A matéria orgânica exerce grandes funções como proteção física e química do solo, além de ser a principal fonte para o desenvolvimento da biota. Os reflorestamentos com espécies florestais podem contribuir significativamente com o aporte deste elemento no solo desde a deposição de grandes quantidades de serapilheira na superfície, até a morte de raízes desenvolvidas em grandes profundidades.

A grande área destinada a reflorestamentos de pinus no estado de Santa Catarina evidencia a importância no estudo do impacto que essas modificações causam no solo com relação às frações químicas da matéria orgânica, visando entender melhor o processo de humificação da mesma perante a substituição de áreas naturais por plantios homogêneos de pinus.

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar as alterações na quantidade e qualidade das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo, no Planalto Catarinense, pela interferência antrópica devido à substituição de áreas naturais por povoamentos de *Pinus taeda*. Mais especificamente, o trabalho visou quantificar os teores de carbono nas frações químicas de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina das

substâncias húmicas de áreas de campo natural e povoamentos de pinus com diferentes idades em segunda rotação em cinco camadas do perfil até a profundidade total de 40 centímetros em Cambissolo Húmico distrófico. Avaliar ainda possíveis diferenças com relação à proporção das substâncias húmicas, entre as áreas estudadas e no perfil do solo, e o potencial de seqüestro de carbono dessas áreas.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos gerais sobre áreas florestais e aporte de carbono

Ruddiman (2005) relatou que cerca de oito mil anos atrás, os humanos começaram a modificar o clima e as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera começaram a aumentar. No entanto, mais terras foram convertidas em lavouras desde 1945 do que nos séculos XVIII e XIX juntos, e agora cerca de um quarto (24%) da superfície terrestre do planeta foi transformado em sistemas de cultivo.

A evolução da conservação do solo e da água por meio do manejo ocorreu de forma a viabilizar a agricultura brasileira, dando sustentabilidade aos sistemas de produção agrosilvipastoris. Mas, somente a partir do início deste século, técnicos e agricultores se deram conta de que, além de minimizar o impacto ambiental da agricultura, mitigando as perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica, estariam também contribuindo para o seqüestro de carbono e reduzindo a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs) (Prado et al., 2010).

A produção de informações e conhecimento sobre os recursos florestais nunca foi tão necessária para dosar, de forma equilibrada, a formulação de políticas que incidem sobre regiões, biomas e, muitas vezes, sobre todo o país, influenciando os

padrões de uso da terra. No caso do Brasil, a situação merece ainda maior atenção, uma vez que cerca de 60% de seu extenso território ainda são cobertos por florestas. No entanto, também é fato conhecido que, nos últimos anos, maior atenção tem sido dada à perda de florestas, o desmatamento, pela perda de biodiversidade e pelo aumento de emissões de gases do efeito estufa que causa (Vibrans et al., 2012).

A distribuição de carbono orgânico, nos perfis dos solos, varia bastante a nível global, com menores quantidades armazenadas na superfície dos solos tropicais do que nos solos florestais de latitudes menores (Oliveira, 2010). Em torno de 6 milhões de hectares (ha) do território brasileiro são atualmente ocupados por florestas plantadas e além dessa área, em torno de 1,8 milhões de ha estão plantados com espécies de pinus (Almeida et al., 2012). O estado de Santa Catarina conta com aproximadamente 7% de sua área plantada de pinus que foram principalmente estabelecidos em áreas originalmente sob pastagem.

A silvicultura do gênero *Pinus* no sul do Brasil tem seu ponto inicial marcado pelo advento do incentivo fiscal, uma diretriz estratégica dos anos 60 e 70 para o desenvolvimento do país (Vasques, 2007). O rápido crescimento nas últimas décadas exigiu um maior e mais intenso uso das florestas e de seus produtos, tornando-os escassos e pouco disponíveis no mercado, principalmente no que tange à qualidade. Essa crescente demanda está forçando um uso mais intensivo do solo com o objetivo de aumentar a disponibilidade de produtos de

origem florestal e outros. No entanto, tem-se que considerar que o solo não é apenas um suporte físico para o crescimento das plantas e armazenamento de umidade e nutrientes. O solo é um sistema dinâmico que abriga uma multiplicidade de organismos com características e funções diferentes, os quais proporcionam o equilíbrio ambiental indispensável para o desenvolvimento de todos os seres vivos (Afubra, 1999).

Do ponto de vista edáfico, as alterações no uso da terra têm estreita relação com a dinâmica da matéria orgânica e com o ciclo biogeoquímico dos elementos, modificando a capacidade produtiva desses ambientes, naturalmente ligados a condições de solos ácidos e intemperizados (Mafra et al., 2008). Nos ambientes tropicais e subtropicais de ocorrência natural da Mata Atlântica há predominância de solos altamente intemperizados, e a matéria orgânica do solo (MOS) tem papel fundamental na sua fertilidade (Miranda et al., 2007). Em geral, a função mais importante da matéria orgânica é a reserva de nitrogênio e outros nutrientes necessários para o crescimento das plantas e, por consequência, para a população humana. Outras funções que poderiam ser citadas são: formação de agregados estáveis e proteção da superfície do solo; manutenção das amplas funções biológicas, incluindo a imobilização e liberação de nutrientes; capacidade de troca de cátions; e estocagem de carbono terrestre (Machado, 2001).

Avaliando o efeito de diferentes sistemas de manejo no carbono total e atributos químicos do solo, Neto et al. (2009) concluíram que maiores teores de C do solo proporcionaram

maior CTC potencial mostrando a importância da MOS como condicionador de cargas em solos de clima tropical.

O reflorestamento de áreas degradadas com árvores exóticas tem sido uma estratégia ultimamente usada para aumentar qualidade do solo, promover o seqüestro de carbono e simultaneamente produzir um retorno econômico (Dick et al., 2011). E o cultivo de florestas, principalmente nas regiões tropicais, tem sido apontado como meio eficiente no seqüestro de C em razão da acumulação deste na madeira e aumento do estoque no solo (Pulrolnik et al., 2009). Dessa forma, há crescente interesse no estudo do comportamento dos solos quanto à sua capacidade de armazenar carbono e nutrientes, em resposta às diversas condições de manejo adotadas. A avaliação dessas mudanças auxiliaria a compreensão das alterações no ambiente advindas do reflorestamento, contribuindo para o planejamento do manejo florestal (Mafra et al., 2008).

Porém, para que os solos sob florestas realmente tenham incremento em carbono com o passar das sucessivas rotações, boas práticas silviculturais e de manejo devem ser adotadas. Dentre essas, se podem citar práticas já comprovadamente eficientes, como cultivo mínimo, adubação segundo recomendação de análise de solo ou tecido vegetal, manutenção de cobertura vegetal, viva ou morta sobre o solo, não-remoção dos resíduos de desramas e desbastes, colheita somente da fração madeira até um diâmetro mínimo aproveitável, não uso da queima de resíduos (Brun, 2008). O uso e manejo do solo podem afetar as frações lábeis e humificadas da matéria orgânica, mas

a magnitude destas alterações é pouco conhecida em ambientes subtropicais (Bayer et al., 2002). A contribuição de cultivos de rotações e culturas de cobertura no aumento do seqüestro de Carbono em ambientes tropicais e subtropicais ainda não é bem documentada, pois o principal foco tem sido o efeito de práticas de manejo (Campos et al., 2011). Passos et al. (2007) afirmam que as práticas de cultivo aumentam a oxidação da MO pela quebra dos agregados do solo, expondo novas superfícies ao ataque de microrganismos.

A matéria orgânica dos solos pode ser alterada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado, sendo um dos atributos mais sensíveis a transformações desencadeadas pelo manejo (Barreto et al., 2008). A taxa de acumulação do carbono orgânico no solo depende além do sistema de preparo e manejo do mesmo, da sua textura e estrutura e da precipitação pluvial e temperatura (Ebeling et al., 2011). Em contraste aos trópicos, é de interesse notar que nas altas altitudes dos Alpes, onde a temperatura anual está abaixo de 0°C, a atividade microbiana é baixa e a superfície dos solos contém de 20 a 30% de matéria orgânica em relação a vegetação esparsa (Jenny, 1994).

A serapilheira é a característica mais distintiva de um solo florestal e contribui consideravelmente para as suas propriedades físicas e químicas. A camada de matéria orgânica em decomposição que se encontra sobre a superfície do solo mineral, com sua microflora característica e com sua fauna constituem a dinâmica do ambiente florestal e representa o

critério mais importante na distinção entre solos ocupados com florestas ou com culturas agrícolas. Grande parte dos restos vegetais e animais juntando-se com os produtos de excreção misturam-se gradualmente com o solo mineral e, em interação com as partes subterrâneas das plantas, formam a fração orgânica do solo (Afubra, 1999). Além do estoque de C de todo o solo, os compartimentos químicos da MOS podem também servir como bons indicadores de impacto de reflorestamentos na dinâmica da MOS (Almeida et al., 2012).

## 2.2 Frações químicas e processo de evolução da MOS

A matéria orgânica do solo e dos resíduos, do ponto de vista estritamente teórico, pode ser dividida em dois grandes compartimentos: um, composto pela fração não-humificada, e outro, compartimento formado pelas substâncias humificadas (Canellas et al., 2001).

De acordo com Silva & Mendonça (2007), a matéria orgânica viva corresponde ao material orgânico associado às células de organismos vivos que se encontra temporariamente imobilizado (dreno), mas que apresenta potencial de mineralização (fonte). A matéria orgânica viva raramente ultrapassa 4% do COT do solo e pode ser subdividida em três compartimentos: raízes (5-10%), macrorganismos ou fauna do solo (15-30%) e microrganismos (60-80%). Apesar de representar baixo percentual da matéria orgânica, essa fração é

muito importante no processo de transformação dos compostos orgânicos do solo.

A matéria orgânica morta contribui, em média, com 98% do C em formas orgânicas (C orgânico) total (COT) do solo, podendo ser subdividida em matéria macrororgânica (3-20%) e húmus. O húmus é um compartimento que consiste de substâncias húmicas (70%) e não-húmicas (30%) (Silva & Mendonça, 2007).

A evolução da MOS compreende as transformações ocorridas desde a incorporação da matéria orgânica fresca até a formação de frações humificadas mais estáveis (huminas). Essas transformações foram separadas conceitualmente em dois processos básicos: degradação ou mineralização e a humificação. A mineralização da matéria orgânica constitui a fase de perdas ocorridas durante a decomposição dos compostos orgânicos. A humificação pode desenvolver-se a partir de três vias principais, denominadas, em função das suas características, via de herança, via de insolubilização e via de neo-síntese microbiana (Guerra et al., 2008).

A matéria orgânica humificada do solo é composta por diferentes frações, separadas de acordo com sua solubilidade. De modo geral, é aceito a distribuição das frações humificadas em três categorias: as huminas (H) que representam a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo, e por isso insolúvel; os ácidos fúlvicos (AF), que apresentam grande quantidade de grupamentos funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio ácido como básico, e os ácidos húmicos

(AH), insolúveis em meio fortemente ácido, pois, com a protonação dos grupamentos funcionais ocorre o colapso da estrutura e precipitação das macromoléculas (Canellas et al., 2001).

Os ácidos fúlvicos são compostos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular; são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. Os ácidos húmicos são os compostos mais estudados e apresentam pouca solubilidade na acidez normalmente encontrada em solos tropicais, responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais. A humina, apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do C humificado do solo (Benites et al., 2003; Barreto et al., 2008)

### 2.3 Mobilidade do carbono no perfil do solo

Existe também a avaliação das relações entre as frações químicas da MOS, onde de acordo com Benites et al. (2003) a relação AH/AF indica a mobilidade do carbono no solo. Em geral os solos mais arenosos apresentam maiores relações AH/AF indicando a perda seletiva da fração mais solúvel (AF) e a relação EA(elementos solúveis em álcali)/HUM indica iluviação de matéria orgânica. Basicamente, o comportamento das substâncias húmicas no perfil do solo está de acordo com a

movimentação da solução no perfil, pois dependem da solubilidade das mesmas na solução.

Fontana et al. (2010) afirmam que as informações obtidas a partir da análise da distribuição das frações húmicas podem contribuir para os estudos pedológicos, podendo ser utilizadas como atributo diagnóstico ou propriedade diferencial. Sua utilização tem por base a análise da distribuição dessas frações ao longo do perfil de solo, sendo esta condicionada por sua mobilidade e também pela maior ou menor interação das frações com a matriz mineral. A maior mobilidade e, ou, estabilidade dessas frações influencia na diferenciação dos horizontes, com reflexos em suas propriedades físicas e químicas.

As conseqüências da substituição do ecossistema natural de campo por reflorestamentos de pinus são informações praticamente inexistentes, mas de grande interesse tendo em vista a participação dinâmica da matéria orgânica em inúmeros processos no solo (Guedes, 2005). Os resultados a partir de estudos em mudança do uso do solo são freqüentemente conflitantes e a magnitude do impacto na qualidade e quantidade da MOS parecem depender do tipo de solo, idade da plantação, espécies florestais, localização geográfica e clima, entre outros fatores (Almeida et al., 2012).



### 3 MATERIAL E METODOLOGIA

#### 3.1 Localização e descrição das áreas de estudo

As áreas localizam-se no município de Ponte Alta no planalto sul do estado de Santa Catarina (Figura 1). O município possui área total de 568,96 km<sup>2</sup>. A altitude varia de 950 a 1000m e o clima segundo a classificação de Köppen é Cfb, mesotérmico úmido com verões amenos. A temperatura média anual é de 16°C com precipitação pluviométrica anual de 1400 mm.

Foram selecionadas quatro áreas para realização do estudo com o cuidado de obter similaridade de tipo e classificação de solo. Neste caso o solo analisado é classificado como Cambissolo Húmico distrófico. Uma das áreas é de campo natural, tomada como testemunha, e as três outras áreas com idades diferenciadas de plantios de *Pinus taeda*, sendo elas de 5 anos, 16 anos e 21 anos, todas em segunda rotação. A Tabela 1 apresentada abaixo descreve as características dessas áreas quando amostradas.

A madeira proveniente destes reflorestamentos teve como destino a produção de celulose. Devido a sua finalidade, os povoamentos não foram submetidos a podas nem desbastes sendo realizado o corte raso aos 17 anos com a manutenção dos resíduos vegetais (galhos e acículas).



**Tabela 1.** Coordenadas geográficas e características das situações de uso das áreas amostradas em Cambissolo Húmico no município de Ponte Alta, SC. (Adaptado de Fachini, 2012).

Situação de uso	Coordenadas	Características
Campo Natural (CN)	27°29'09,02"S 50°19'21,69"O	Área originalmente sob floresta em situação de campo pastejado por bovinos há cerca de 20 anos. Além do pastejo, recebe roçada anualmente. Estoque de COT na serapilheira: 0,61 Mg.ha <sup>-1</sup> .
Pinus 5 anos (P05)	27°29'05,43"S 50°17'57,14"O	Árvores com 5 anos, em segunda rotação, tendo o plantio anterior um ciclo de 28 anos. O plantio teve preparo por meio de ripagem com trator de esteira com haste de 40 cm de profundidade e conjunto de dois discos acoplados. Estoque de COT na serapilheira: 6,40 Mg.ha <sup>-1</sup> .

---

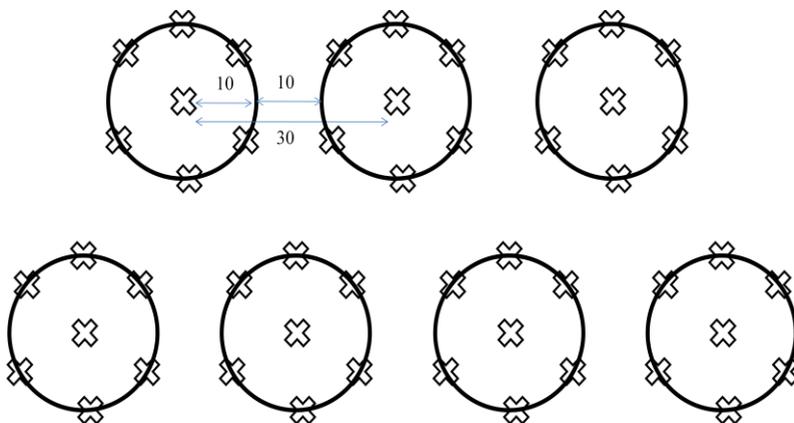
Pinus 16 anos (P16)	27°24'53,64''S 50°10'08,27''O	Árvores com 16 anos, em segunda rotação, tendo o plantio anterior um ciclo de 28 anos. O plantio teve preparo por meio de ripagem com trator de esteira com haste de 40 cm de profundidade e conjunto de dois discos acoplados. Estoque de COT na serapilheira: 15,05 Mg.ha <sup>-1</sup> .
Pinus 21 anos (P21)	27°23'38,94''S 50°11'32,76''O	Árvores com 21 anos, segunda rotação, tendo o plantio anterior um ciclo de 28 anos. O plantio teve preparo por meio de ripagem com trator de esteira com haste de 40 cm de profundidade e conjunto de dois discos acoplados. Estoque de COT na serapilheira: 18,70 Mg.ha <sup>-1</sup> .

---

### 3.2 Processo de amostragem

A amostragem de solo foi realizada no ano de 2010 na área de pinus com 5 anos de idade e em 2011 nas três áreas

restantes. Com auxílio de um trado do tipo holandês foram coletadas amostras de solo de sete pontos amostrais dentro de cada área, representados pelos círculos na Figura 2. Cada ponto amostral foi composto por sete subamostras representadas pelos X distanciados por 10 metros. As profundidades amostradas foram de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm. As subamostras das camadas de mesma profundidade foram unidas formando uma amostra apenas.



**Figura 2.** Desenho esquemático dos pontos de coletas realizadas em cada uma das áreas amostradas (adaptado de Fachini, 2012).

### 3.3 Metodologia de análise das amostras

Foram determinados os teores de carbono nas três frações químicas da matéria orgânica do solo, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina. Para isto utilizou-se a metodologia

proposta por Benites et al. (2003), com algumas modificações, de fracionamento químico da MOS via solubilização em meio ácido/básico. Em tubos falcon de 50ml foram pesados 2g de solo e adicionados 10ml de solução NaOH 0,1M. Agitou-se manualmente por alguns segundos e posteriormente deixou-se em repouso por 24h. Após o período de descanso, as amostras já apresentavam um precipitado ao fundo do tubo. Essas amostras foram então centrifugadas a 3500 RPM (2964g) por 1 hora, diferentemente dos 5000g por 30 minutos indicados na metodologia devido à velocidade máxima do equipamento ser 3500RPM.

Após a centrifugação retirou-se a alíquota sobrenadante com cuidado, para não perder o precipitado, e armazenou-se em copo plástico devidamente identificado. Foram adicionados mais 10ml de solução NaOH 0,1M nas amostras e agitadas manualmente até o desprendimento total do precipitado do fundo do tubo. Deixou-se então em repouso novamente por 1 hora. As amostras foram centrifugadas uma segunda vez após o repouso e a nova alíquota sobrenadante adicionada à alíquota previamente reservada. O mais rápido possível corrigiu-se o pH para  $1 \pm 0,1$  com solução  $H_2SO_4$  a 20% e deixou-se as amostras em repouso novamente por pelo menos 18 horas, visando a precipitação da fração não solúvel em solução ácida. O precipitado restante nos tubos falcon foram devidamente armazenados e representam a fração insolúvel da MOS, a humina.

Após o período de 18 horas de repouso, observou-se diferenciação na coloração das frações onde a mais clara era a fração ácidos fúlvicos (AF) e a mais escura (precipitada) era a fração ácidos húmicos(AH). Este último repouso facilita a filtragem das amostras que caracteriza então a separação das duas primeiras frações. Para a filtragem foi utilizado aparelho de filtragem de acrílico com suporte para filtro de fibra de celulose 0,45µm e bomba de vácuo para agilizar o processo. Completou-se as amostras filtradas com água destilada até 50ml e ao final do procedimento, cada amostra possuiu 3 tubos falcon, um para cada fração correspondente das substâncias húmicas da MOS.

A quantificação do carbono em cada fração foi realizada após o fracionamento. Para os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos foram transferidos uma alíquota de 5ml para tubos de digestão e de acordo com a concentração da solução, observada pela coloração, diluiu-se a amostra. Em quatro tubos vazios adicionou-se 5ml de água destilada que correspondem aos brancos da análise. Adicionou-se 1ml de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,042M e 5ml de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) em todas as amostras, incluindo os brancos. As amostras foram colocadas no bloco digestor, juntamente com dois dos brancos, a uma temperatura de 150°C (verificada com auxílio do termômetro) por 30 minutos. Após o período de digestão das amostras, as mesmas foram deixadas até esfriarem.

Para a fração humina, o precipitado de cada amostra foi transferido para os tubos de digestão e colocados para secar a 65°C. Adicionou-se 5ml de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ )

0,167M e 10ml de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) em todas as amostras e também os brancos. As amostras foram para o bloco digestor da mesma forma que as frações anteriores, juntamente com dois dos brancos, sob a temperatura de 150°C por 30 minutos e depois deixadas até esfriarem.

Utilizou-se ferroin 0,025M como indicador. A titulação das amostras foi feita com a solução de sulfato ferroso amoniacal ( $Fe(NH_4)_2$ ) na concentração de 0,0125M para as frações solúveis (AF E AH) e de 0,25M para a fração insolúvel (HUM).

Para determinar o teor de carbono das amostras os valores determinados foram submetidos às seguintes fórmulas:

a) Para ácidos fúlvicos e húmicos:

$$X = (V_{baq} - V_{am}) * N_{SFAcorr} * \frac{12}{4} * \frac{50}{alíquota (ml)} * \frac{1}{peso da amostra (g)}$$

b) Para humina:

$$X = (V_{baq} - V_{am}) * N_{SFAcorr} * \frac{12}{4} * \frac{1}{peso da amostra (g)}$$

c) Substâncias não-húmicas:

$$SNH = COT - (AF + AH + HUM)$$

Onde:

X – miligrama de Carbono por grama de solo

$V_{baq}$  – volume (ml) de sulfato ferroso amoniacal (SFA) consumido na titulação do branco aquecido

$V_{am}$  – volume (ml) de SFA consumido na titulação da amostra

$N_{SFAcorr}$  – normalidade do SFA corrigida

SNH – substâncias não-húmicas

COT – carbono orgânico total

AF – ácidos fúlvicos

AH – ácidos húmicos

HUM - humina

Para determinar a normalidade do SFA corrigida utilizou-se da fórmula:

$$N_{SFAcorr} = \frac{\text{Volume de dicromato} * \text{Normalidade do dicromato}}{\text{Volume de SFA consumido na titulação do branco sem aquecimento}}$$

### 3.4 Análise estatística

Os dados foram analisados com auxílio do software SAS 9.2 submetidos ao procedimento PROC GLM, que faz análise de variância para dados sem necessidade de balanceamento dos

mesmos e a comparação entre médias pelo teste t (Student). A análise comparou as médias gerais de todas as áreas e as médias gerais de todas as camadas. Os dados foram comparados também entre áreas dentro de cada camada. Foi adotado nível de 5% de significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo variaram significativamente em função da área e profundidade analisadas (Tabela 2). Almeida et al. (2012) avaliaram o impacto da introdução da monocultura de pinus nos estoques de carbono, também em Cambissolo de Lages (SC), em cada compartimento químico da MOS, e também obtiveram variações significativas mostrando que houve interação entre os ambientes e profundidades analisados. Avaliando a substituição de áreas de pastagem natural por plantios de pinus em áreas de Neossolo Litólico em Campos de Cima da Serra (RS), Dick et al. (2011) também encontraram diferenças significativas entre tratamentos e entre camadas.

**Tabela 2.** Significância estatística da análise de variância das frações químicas (ÁF – ácidos fúlvicos; ÁH – ácidos húmicos; HUM – humina) e teor total das substâncias húmicas (SOMA) para área, camada e interação área\*camada a um nível de 5% de significância.

Fator	AF	AH	HUM	SOMA
	----- $p$ de $h_0 = h_1$ -----			
área	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
camada	0,0004	0,0281	<,0001	<,0001
área*camada	0,0425	0,0697	<,0001	0,0003

A substituição da área de campo natural por plantio de pinus evidenciou redução inicial nos teores de carbono orgânico do solo, tanto nas frações individuais quanto na soma das três frações avaliadas. Porém com o crescimento e maturação da floresta, em longo prazo, observou-se a recuperação dos teores com um incremento significativo com o aumento na idade da floresta (Tabela 3). A redução inicial dos teores de carbono pode ser explicada devido ao manejo prévio da área para introdução da floresta, envolvendo certo revolvimento e removendo a cobertura do solo, através de sulcamento e queimadas de vegetação remanescente, o que certamente favoreceu a oxidação e perdas da matéria orgânica. Além disso, se tem o fato de nos primeiros anos a copa das árvores de pinus não cobre o solo totalmente e não formam quantidades maiores de serapilheira para depositar na superfície. Nesse período inicial do plantio, também foram realizados controle das plantas espontâneas por capina em coroamento em torno das plantas e roçadas, com o solo permanecendo por maior tempo exposto as intempéries, como chuva e incidência solar direta. De outro lado, as acículas depositadas sobre o solo nesse período inicial, além da baixa quantidade, também possuem decomposição mais lenta em relação aos resíduos das gramíneas apresentando um retorno de carbono mais lento devido ao maior teor de lignina na sua composição (Wiesmeier et al., 2009). O aumento progressivo do teor de C orgânico do solo com a idade da floresta também foi observado em povoamentos de eucalipto em Latossolo no

estado de MG, por Lima et al. (2008). Esses autores concluíram que a substituição de pastagens mal manejadas e degradadas, por povoamentos de eucalipto promoveu a recuperação nos estoques de COT.

**Tabela 3.** Teores médios de Carbono total na camada 0-40 cm por fração química das substâncias húmicas (ÁF – ácidos fúlvicos; ÁH – ácidos húmicos; HUM – humina) e teor total das substâncias húmicas (SOMA) em quatro situações de uso do solo em Cambissolo Húmico.

<b>Sistemas de Cultivo</b>	<b>AF</b>	<b>AH</b>	<b>HUM</b>	<b>SOMA</b>
	----- $g\ kg^{-1}$ -----			
<b>Campo Natural</b>	3,44 c	6,16 c	7,86 c	17,46 c
<b>Pinus 5 Anos</b>	3,56 c	5,39 c	6,48 d	15,44 d
<b>Pinus 16 Anos</b>	4,36 b	7,67 b	10,73 b	22,77 b
<b>Pinus 21 Anos</b>	5,32 a	13,73 a	15,25 a	34,31 a

Letras iguais na coluna não tem diferença significativa pelo teste t a 5%.

Os teores médios de C recuperados nas três frações e na sua soma em todas as áreas evidenciaram maiores valores de acúmulo de carbono orgânico na camada superficial de 0 a 5 cm em todas as frações químicas. Em geral, o teor diminuiu com o aumento na profundidade até a camada de 20 a 30 cm e essa não apresentou diferenças significativas com a de 30 a 40 cm (Tabela 4).

Este comportamento de decréscimo nos teores com a profundidade é esperado devido ao fato da deposição das folhas

e ramos finos ocorrer na superfície do solo. A movimentação desse carbono para o interior do perfil é lenta, formando um gradiente a partir da superfície. Porém, observou-se um comportamento diferenciado com relação ao carbono na fração dos ácidos fúlvicos (AF) que apresentou teor semelhante ao longo do perfil a partir da camada 5 a 10 cm. Isso se explica pela constituição química dessa fração apresentar menor peso molecular dentre as três frações, sendo então mais facilmente movimentada no perfil do solo. Além disso, essa fração também é composta por maior quantidade de grupamentos carboxílicos apresentando maiores teores de oxigênio e menores de carbono o que pode representar possibilidade maior de dispersão em água, correspondendo a maior suscetibilidade a se movimentar com a percolação dessa no perfil do solo.

Miranda et al. (2007) afirmam que as frações humificadas mais solúveis, como o AF, apresentam, em razão do seu elevado conteúdo de grupamentos funcionais polares, alta capacidade de solvatação, sendo mais suscetíveis ao arraste pela água de percolação do solo do que frações precipitadas. Já os compostos integrantes dos ácidos húmicos (AH) e da humina (HUM), por constituírem moléculas com menor número de grupamentos carboxílicos e maior de grupamentos nitrogenados, os átomos de carbono possuem uma aproximação com ligações mais fortes entre si tornando-se então a fração de maior peso molecular, mais estável e de maior tempo de permanência no solo.

**Tabela 4.** Teores médios de Carbono dos 4 tipos de usos nas frações de substâncias húmicas (ÁF – ácidos fúlvicos; ÁH – ácidos húmicos; HUM – humina) e teor total das substâncias húmicas (SOMA) em camadas até 40 cm de profundidade de Cambissolo Húmico.

<b>Camadas (cm)</b>	<b>AF</b>	<b>AH</b>	<b>HUM</b>	<b>SOMA</b>
	----- $g\ kg^{-1}$ -----			
<b>0 a 5</b>	4,73 a	9,06 a	11,54 a	25,33 a
<b>5 a 10</b>	4,09 b	8,45 ab	11,05 ab	23,58 b
<b>10 a 20</b>	3,91 b	8,19 ab	10,51 b	22,62 b
<b>20 a 30</b>	3,99 b	7,59 b	9,16 c	20,74 c
<b>30 a 40</b>	4,13 b	7,91 b	8,16 c	20,20 c

Letras iguais na coluna não tem diferença significativa pelo teste t a 5%.

Na Figura 3 estão apresentados os teores de carbono por fração química das substâncias húmicas (SH) dentro de cada camada do solo. Na camada superficial (0 a 5 cm) foram observadas diferenças significativas entre as áreas, onde a área de pinus com mais idade (P21) apresentou os maiores teores em todas as frações químicas, seguido pela área de pinus com 16 anos (P16), pinus com 5 anos (P05) e a de campo natural (CN). Entretanto as últimas três áreas não apresentaram diferenças significativas em relação às substâncias húmicas individualmente, porém, considerando o teor total das SH a área de CN apresentou os menores teores. Esse menor teor provavelmente foi devido ao manejo da área que vem sendo submetida ao pastejo intensivo por bovinos, o que acaba por

reduzir a produção de material vegetal e a deposição de resíduos orgânicos no solo.

O teor de carbono das SH na área de P21 chegou a  $38,29 \text{ g kg}^{-1}$  distribuído em  $6,49 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $14,06 \text{ g kg}^{-1}$  e  $17,74 \text{ g kg}^{-1}$  para os ácidos fúlvicos, húmicos e humina, respectivamente. O pinus, com o seu desenvolvimento fisiológico relativamente rápido, tem alta produção de massa vegetal e deposição de serapilheira, principalmente acículas, com alto teor de carbono na sua estrutura, mostrando alta capacidade de seqüestro de carbono da atmosfera, com parte expressiva sendo acumulada no solo. Assim, o solo sob o povoamento de pinus mais desenvolvido e maduro evidenciou expressivo aumento no teor de carbono que provavelmente foi promovido pela deposição das grandes quantidades de acículas produzidas pelos indivíduos arbóreos e depositadas na superfície.

Abrão (2011) também encontrou alterações significativas nos atributos químicos de um Cambissolo Húmico com a substituição de campo natural por plantios homogêneos de pinus, dentre eles o carbono orgânico total. Esse autor observou redução nos teores de carbono nas áreas de primeira rotação, porém recuperando o teor originalmente encontrado no campo natural na segunda rotação e com valores até um pouco maiores. No trabalho de Almeida et al. (2012), o solo sob o reflorestamento de pinus mais velho (P14) apresentou maior estoque de carbono na camada de 0 a 5 cm comparado com P10 e com pastagem natural, porém nas camadas mais profundas nenhuma diferença foi observada entre os ambientes.

Em experimento realizado por Guedes (2005) em Campo Belo do Sul – SC, variações na quantidade de carbono orgânico total também foram observadas entre as áreas analisadas que incluíram Campo Natural, Pinus – 12 anos, Pinus – 20 anos, Floresta de Araucária – 18 anos e Mata Nativa. Os teores de carbono variaram de 23 g kg<sup>-1</sup> a 56 g kg<sup>-1</sup> com influência das formas de uso da terra e variação em profundidade, concentrando-se os maiores teores na camada superficial de 0 a 5 cm, corroborando com os resultados do presente estudo. Naquele estudo, na média das profundidades, o solo sob pinus com 20 anos de idade teve maior teor de carbono em relação aos demais tratamentos, sendo seguido pelo campo nativo e pinus com 12 anos de idade.

No estudo realizado por Vargas (2012) no município de Otacílio Costa (SC), com o mesmo tipo de solo do presente estudo (Cambissolo Húmico) e povoamentos de pinus em primeira e terceira rotação, foram encontrados o mesmo comportamento em relação à profundidade e frações químicas das substâncias húmicas observando também aumento dos teores de carbono com as rotações das florestas.

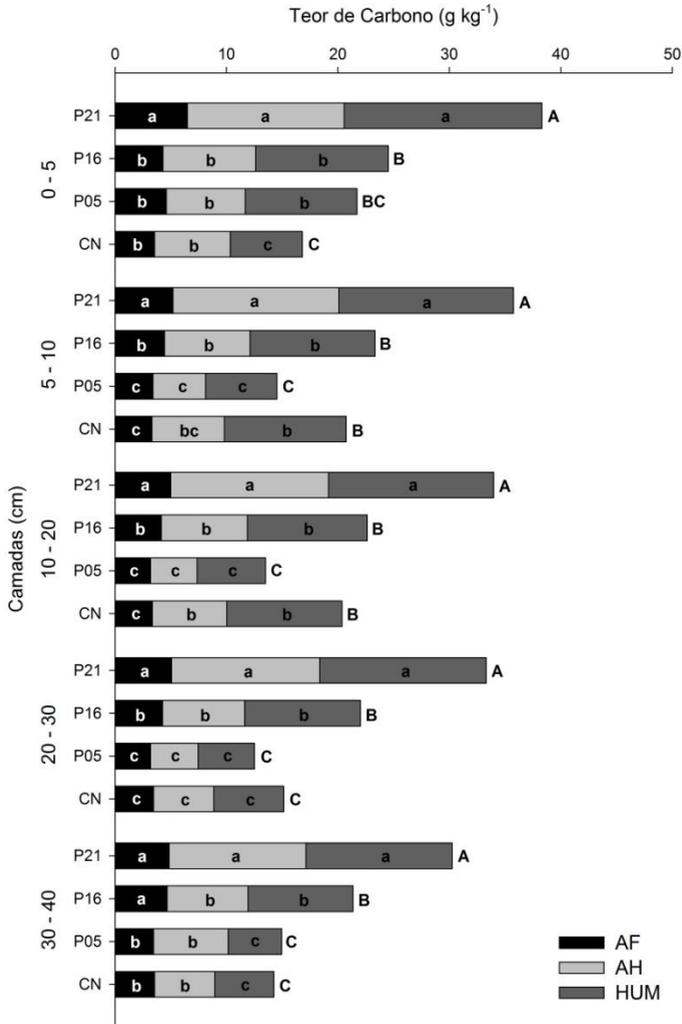
Nas camadas sub-superficiais, de 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm, o comportamento das SH mostrou alteração com relação à área de CN que passou a superar os teores de carbono da área de P05 e equivaleu estatisticamente à área de P16. Este comportamento pode estar relacionado ao corte raso da rotação anterior e à provável ocorrência de menor densidade de raízes de pinus nessas camadas inferiores, além de certo revolvimento

do solo no processo de estabelecimento das mudas da nova rotação resultando em perdas do elemento para o ambiente na forma de CO<sub>2</sub>, havendo necessidade de maior tempo para recuperação do carbono perdido. A área de P21 compreende os maiores teores assim como na camada superior, porém com valores decrescidos devido à profundidade.

Em contraste ao presente trabalho, Tomasi et al. (2012) analisando as SH em Latossolo vermelho no RS, em camadas até a profundidade de 30 cm, encontraram teores maiores de carbono na área de CN em relação a uma área de pinus com 18 anos, em todas as camadas analisadas. O resultado foi explicado pelo fato de a área de CN ter uma condição de transição entre vegetação rasteira e mata tendo um grande aporte de resíduos de raízes de pastagem aliado a lenta degradação caracterizada pelo clima. Deve-se levar em conta também a rotação da área de estudo de pinus, a qual pode ser de primeira rotação.

Nas camadas mais profundas, de 20 a 30 cm e de 30 a 40 cm, a soma dos teores de C das três frações das áreas de CN e P05 se assemelharam, seguindo ordem crescente nas áreas de P16 e P21. A área de P21 obteve os maiores teores de carbono nas SH como observado acima, devido ao maior aporte de material vegetal depositado, o qual também possui maior resistência para sua decomposição permanecendo por longo tempo no solo, além do maior volume em raízes com grande potencial de mineralização e conseqüente formação de húmus como subproduto.

Os minerais da fração argila contribuem na proteção da matéria orgânica no solo (Ebeling et al., 2011), o que também pode ter influenciado os teores e estoques de carbono nos solos avaliados. Os teores de argila dos solos das áreas avaliadas no presente trabalho foram analisados em trabalho anterior por Fachini (2012), que observou menor teor de areia no pinus 16 anos e maior teor de argila no pinus 21 anos, entretanto, observou também que em geral não houve diferença estatística do teor de argila entre as camadas com exceção do pinus 21 anos.



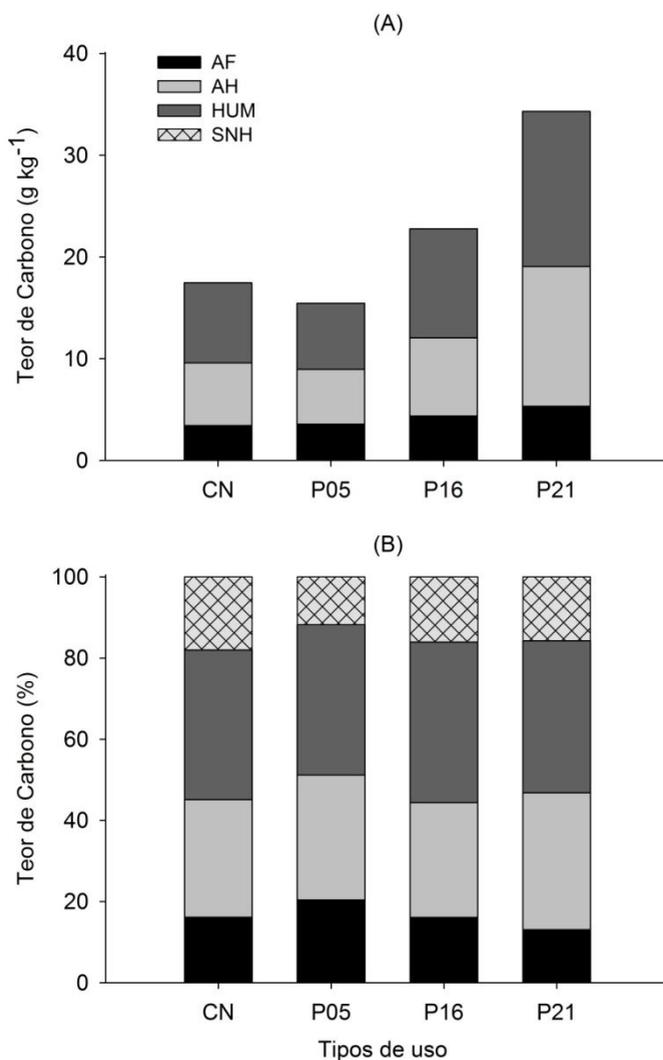
**Figura 3.** Gráfico de distribuição dos teores de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas substâncias húmicas ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM), em áreas de Campo Natural (CN), Pinus 5 anos (P05), Pinus 16 anos (P16) e Pinus 21 anos (P21) em cinco camadas até a profundidade de 40 cm de Cambissolo Húmico. Letras minúsculas comparam teores das frações e maiúsculas os teores totais das substâncias húmicas entre as áreas dentro de cada camada a 5% de significância.

Na Figura 4 são apresentadas as proporções das frações húmicas da matéria orgânica de cada área avaliada. Em relação ao COT do solo, o compartimento constituído por maior teor de carbono foi o das substâncias húmicas que na soma de AF, AH e HUM representou a maior parte do C contido na matéria orgânica morta do solo, o que se explica por essa ser justamente a forma mais estável. Esses resultados também evidenciaram que os teores de carbono das substâncias húmicas foram influenciados pelo uso do solo.

Na Figura 4-A estão representados apenas os teores totais das substâncias húmicas, considerando-se a média ponderada da camada 0-40 cm nas diferentes áreas, onde se podem observar nitidamente as diferenças entre as áreas avaliadas, com o aumento conforme a idade da floresta. Já na Figura 4-B observam-se as proporções que cada fração representa no COT. As substâncias húmicas representaram mais de 80% do COT e, como demonstrado graficamente, a fração humina representa a maior porção do COT da matéria orgânica do solo, sendo responsável por 36,92%, 37,05%, 39,57% e 37,46% nas áreas de campo natural, pinus com 5, 16 e 21 anos, respectivamente, corroborando com Barreto et al. (2008), que também encontraram os maiores teores de carbono nessa fração considerada mais estável na camada superficial do solo.

Entretanto, em trabalho realizado por Miranda et al. (2007), o fracionamento da MOS indicou que as substâncias húmicas representaram menos de 50 % do C total prontamente

oxidável dos solos em estudo, refletindo características de húmus pouco evoluído. Nesse caso, a matéria orgânica do solo se mostrou constituída principalmente pela fração leve, o que foi atribuído pelos autores à baixa atividade biológica causada pela forte restrição de fertilidade observada no solo. Com relação à distribuição das frações das substâncias húmicas, a maior parte do C foi encontrado na fração humina, que representou entre 21 e 29 % e 17 e 27 % do C total nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente.



**Figura 4.** Teores de carbono orgânico nas frações das substâncias húmicas ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), humina (HUM) e substâncias não-húmicas (SNH) em Cambissolo Húmico de áreas sob uso com Campo Natural (CN), Pinus 5 anos (P05), Pinus 16 anos (P16) e Pinus 21 anos (P21) (gráfico A) e proporção dessas frações químicas com relação ao carbono orgânico total (COT) do solo (gráfico B) na camada 0-40 cm.

A relação entre os teores de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, e a relação entre as substâncias húmicas solúveis (AF+AH) pela fração humina são índices utilizados para avaliar o processo de humificação e representam o nível de evolução da matéria orgânica do solo. Observou-se, conforme escrito na Tabela 5, que as relações AH/AF apresentaram valores acima de 1, indicando que existe uma situação de transformação da matéria orgânica do solo pelo processo de humificação. Observou-se que o valor dessa relação no pinus com 21 anos foi superior aos demais usos nas camadas de 5 a 30 cm, caracterizando um estágio de maior estabilização da matéria orgânica do solo com o avanço da idade da floresta.

As relações entre as substâncias solúveis e a humina também foram maiores que 1, observando-se que mesmo com a fração humificada mais estável estando em maiores teores do que as formas mais lábeis individualmente, essa ainda não supera a soma das frações solúveis. Sendo assim, mesmo aumentando o aporte de carbono com a evolução da idade e desenvolvimento das florestas de pinus, o elemento C ainda não está presente majoritariamente nas formas mais estáveis da matéria orgânica. Observa-se assim, que o tempo necessário para a estabilização da MOS é longo, superando o período de duas décadas. Os maiores teores de carbono nas frações lábeis podem também, em parte, serem explicados pela alta taxa de deposição da serapilheira e sua decomposição na superfície do

solo aumentando o teor de matéria fresca em decomposição inicial, especialmente na camada mais superficial.

Fontana et al. (2001) também encontraram valores da relação AH/AF superiores a 1, corroborando com os resultados do presente estudo, em um estudo de áreas de floresta secundária e pastagem na cidade de Campos dos Goytacazes (RJ) com solos classificados como Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo. Porém, Barreto et al. (2008) encontraram valores abaixo de 1 para esta relação em todas as três áreas analisadas, caracterizadas por mata atlântica, plantio de cacau e pastagem natural de um Latossolo Vermelho-Amarelo em região de clima quente e úmido que proporcionou altos teores de ácidos fúlvicos e baixos teores de ácidos húmicos.

De acordo com Canellas et al. (2002) a taxa AH/AF representa uma importante característica da matéria orgânica e de sua estabilidade, inclusive como um indicador da qualidade do solo, sendo que em solos ácidos, o desenvolvimento de fungos é favorecido e promove a degradação de lignina dos polifenóis que dão origem as substâncias menos polimerizadas. O baixo conteúdo de bases trocáveis no solo pode também diminuir a intensidade do processo de humificação, condensação e síntese das substâncias húmicas.

**Tabela 5.** Relações entre substâncias húmicas, AH (ácidos húmicos)/AF (ácidos fúlvicos) e EA (elementos solúveis em álcali = AF+AH)/HUM (humina), por camada de Cambissolo Húmico em cada tipo de uso (CN – Campo Natural; P05 – Pinus 5 anos; P16 – Pinus 16 anos; P21 – Pinus 21 anos).

<b>Camadas (cm)</b>	<b>CN</b>	<b>P05</b>	<b>P16</b>	<b>P21</b>
<i>AH/AF</i>				
<b>0 a 5</b>	1,94 ab	1,51 b	1,93 ab	2,32 a
<b>5 a 10</b>	1,98 b	1,39 c	1,70 bc	2,90 a
<b>10 a 20</b>	2,09 b	1,35 c	1,88 b	2,85 a
<b>20 a 30</b>	1,60 bc	1,33 c	1,82 b	2,65 a
<b>30 a 40</b>	1,54 b	2,01 ab	1,55 b	2,53 a
<i>EA/HUM</i>				
<b>0 a 5</b>	2,22 a	1,24 b	1,07 b	1,16 b
<b>5 a 10</b>	0,95 b	1,28 a	1,10 ab	1,29 a
<b>10 a 20</b>	1,00 b	1,26 a	1,11 ab	1,30 a
<b>20 a 30</b>	1,58 a	1,48 a	1,12 b	1,24 ab
<b>30 a 40</b>	1,82 ab	2,17 a	1,28 c	1,32 bc

Letras iguais na linha não tem diferença significativa pelo teste t a 5%.

## 5 CONCLUSÕES

O teor de carbono orgânico do solo foi maior na fração humina em relação as frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos em todas as camadas e áreas analisadas.

O acúmulo de carbono orgânico em substâncias húmicas no solo foi maior na área de pinus de maior idade (21 anos), seguido pela área de pinus com 16 anos, campo natural e pinus com 5 anos.

A substituição de pastagem natural por plantios homogêneos de pinus pode aumentar o teor e a estabilização do carbono orgânico do solo mostrando alto potencial de seqüestro deste elemento da atmosfera e seu armazenamento no compartimento solo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, Simone Filipini. Alterações físicas e químicas de um Cambissolo Húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações. 97 f. **Dissertação** – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

ALMEIDA, Henrique Cesar et al. Distribution of chemical compartments of soil organic matter and C stocks of a cambisol from south Brazil as affected by Pinus afforestation. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 7, 2012.

ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL, AFUBRA. **A Floresta e o Solo**. v. 3, 33 p. 1999. (Série Ecologia).

BARRETO, Arlete Côrtes et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, 2008.

BAYER, Cimélio et al. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, 2002.

BENITES, Vinicius M.; MADARI, Beáta; MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2003. 7p. (Comunicado Técnico)

BRUN, Eleandro José. Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *P. Elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul. 119 f. **Tese** – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

CAMPOS, Ben-Hur Costa et al. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, 2011.

CANELLAS, Luciano Pasqualoto et al. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, 2001.

CANELLAS, Luciano Pasqualoto et al. Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of eucalyptus and sugar cane. **Terra**, v. 20, p. 371-381, 2002.

DICK, Deborah Pinheiro et al. Pinus afforestation in South Brazilian highlands: soil chemical attributes and organic matter composition. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 2, 2011.

EBELING, Adierson Gilvani et al. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, 2011.

FACHINI, Leandra. Frações e estoques de carbono orgânico em solo do Planalto Catarinense cultivado com Pinus. 51 f. **Dissertação** – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

FONTANA, Ademir et al. Matéria orgânica em solos e tabuleiros na Região Norte Fluminense-RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 8, p. 114-119, 2001.

FONTANA, Ademir et al. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, 2010.

GUEDES, Sulamita de Fátima Figueiredo. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais no Planalto dos Campos Gerais, SC. 58 f. **Dissertação** – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

GUERRA, José G.M. et al. **Macromoléculas e Substâncias Húmicas**. In: SANTOS, G.A. et al. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. Rio Grande do Sul (Porto Alegre): Metrópole, 2008. p. 19-26.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. Mapeamento topográfico. Acesso em Julho, 2013. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm#MAPAS](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#MAPAS)>

JENNY, Hans. **Factors of Soil Formation: a system of quantitative pedology**. New York: Dover Publications, Inc., Foreword by Ronald Amundson. 1994. 281 p.

LIMA, Augusto Miguel Nascimento et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no

Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, 2008.

MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. Manejo da matéria orgânica de solos tropicais: abrangência e limitações. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**, 2001. 25 p.

MAFRA, Álvaro Luiz et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, 2008.

MIRANDA, Cristiana do Couto; CANELLAS, Luciano Pasqualoto; NASCIMENTO, Marcelo Trindade. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, 2007.

NETO, Marcos Siqueira et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum, Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, 2009.

OLIVEIRA, Laércio Pereira de. Carbono e nutrientes no solo e na serapilheira em Floresta Ombrófila Mista Montana e plantio de *Pinus elliottii* Engelm. 65 f. **Dissertação** – Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná, 2010.

PASSOS, Renato Ribeiro et al. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, 2007.

PRADO, Rachel Bardy; TURETTA, Ana Paula Dias; ANDRADE, Aluísio Granato de. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. 1 ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2010. 486 p.

PULROLNIK, Karina et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, 2009.

RUDDIMAN, William F. How did humans first alter global climate? **Scientific American**, v.292, p.34-41, 2005.

SILVA, Ivo Ribeiro; MENDONÇA, Eduardo de Sá. **Matéria Orgânica do Solo**. In: NOVAIS, R.F. et al. Fertilidade do Solo. 1 ed. Minas Gerais (Viçosa): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

TOMASI, Cristiano Albino; INDA, Alberto Vasconcellos; DICK, Deborah Pinheiro. Substâncias húmicas em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, 2012.

VARGAS, Cristiane Ottes. Formas de carbono e macronutrientes do solo em florestas de *Pinus* em primeira e terceira rotação no planalto sul catarinense. 103 f. **Tese** – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

VASQUES, André Germano et al. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 3, 2007.

VIBRANS, Alexander Christian et al. **Inventário florístico florestal de Santa Catarina: Diversidade e conservação dos remanescentes florestais**. Blumenau: Edifurb. 2012. V. 1, 244 p.

WIESMEIER, M. et al. Depletion of soil organic carbon and nitrogen under Pinus taeda plantations in Southern Brazilian grasslands (Campos). **European Journal of Soil Science**, v.60, n.3, p. 311-487, 2009.