

FENÓIS DERIVADOS DA LIGNINA, CARBOIDRATOS E AMINOAÇÚCARES EM SERAPILHEIRA E SOLOS CULTIVADOS COM EUCALIPTO E PASTAGEM¹

Rodinei Facco Pegoraro², Ivo Ribeiro da Silva³, Roberto Ferreira de Novais³, Nairam Felix de Barros³ e Sebastião Fonseca⁴

RESUMO – O cultivo de espécies florestais como o eucalipto em solos ocupados por pastagens pode levar a alterações no processo de decomposição de resíduos vegetais e na formação da matéria orgânica do solo (MOS), principalmente por alterar a contribuição de diferentes compostos orgânicos e modificar a atividade e a diversidade microbiana. Neste sentido, o presente estudo teve o objetivo de avaliar alterações causadas pelo cultivo do eucalipto em compostos orgânicos, tais como: fenóis derivados de lignina, carboidratos e aminoaçúcares, visando identificar o estágio de decomposição e a contribuição de compostos de origem microbiana para a MOS em solos do litoral Norte do Espírito Santo em comparação àqueles de pastagem. Os resultados indicaram menor aporte de carboidratos e teor de lignina similar na serapilheira de eucalipto em comparação àqueles da pastagem. Os fenóis derivados de lignina, que se caracterizaram pela presença de compostos do grupo cinamil (ácidos ferúlico e *p*-coumárico) em maior teor, refletiram em maior acúmulo destes compostos e carboidratos totais no solo de pastagem, embora os teores totais de lignina, COT, NT e aminoaçúcares tenham sido semelhantes entre os cultivos. Nos solos cultivados com eucalipto obteve-se maior contribuição de componentes de origem vegetal (menor relação H/P) para a MOS que aqueles de origem microbiana em comparação aos solos sob pastagem. O teor de determinados aminoaçúcares, como a glucosamina, nos solos indicou que os fungos são mais abundantes que bactérias e actinomicetos, especialmente no solo de pastagem.

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo, Microrganismos e Glucosamina.

PHENOLS FROM LIGNIN, CARBOHYDRATES, AND AMINO SUGARS IN LITTER AND CULTIVATED SOILS WITH EUCALYPTUS AND PASTURE

ABSTRACT – Forest species cultivation like eucalyptus pasture soils can lead to changes in the decomposition process of plant residues and in the soil organic matter formation (SOM), mainly by altering the different organic compounds contribution and modifying the activity and microbial diversity. Thus, this study was to evaluate the changes caused by the eucalyptus cultivation in organic compounds such as phenols from lignin, carbohydrates, and amino sugars to identify the decomposition stage and the compounds contribution from microbial origin for the SOM in the North Coast's soils from Espírito Santo, Brazil, in comparison with those ones of pasture. The results indicated a lower carbohydrates' contribution and lignin content in the Eucalyptus leaf litter similar to those ones of pasture. The phenols from lignin, which are characterized by the compounds presence from cinnamyl group (ferulic and *p*-coumaric acids) in higher levels, reflected an increased of these compounds accumulation and of the total carbohydrates in the pasture soil, although the total lignin content, TOC (total organic carbono), TN (total nitrogen), and amino sugars were similar among crops. In cultivated soils with eucalyptus, a higher components contribution from plant origin (lower H/P relation) for the SOM was got than those from microbial origin, compared with the soils under pasture. Certain amino sugars content such as glucosamine in the soils indicated that fungi are more abundant than bacteria and actinomycetes, especially in the pasture soil.

Keywords: Soil organic matter, Microorganisms and Glucosamine.

¹ Recebido em 18.12.2008 e aceito para publicação em 16.12.2010.

² Universidade Estadual de Montes Claros, UNIMONTES, Brasil. E-mail: <rodinei_pegoraro@yahoo.com.br>.

³ Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. E-mail: <ivosilva@ufv.br>, <rfnovais@ufv.br> e <nfbbarros@ufv.br>

⁴ Aracruz Celulose S.A., Aracruz, ES, Brasil. E-mail: <sf@aracruz.com.br>.

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta de resíduos de plantas, animais e microrganismos em vários estádios de decomposição, e a maior parte encontra-se intimamente associada à fase mineral do solo (MÖLLER et al., 2002; SILVA e MENDONÇA, 2007; BALIEIRO et al., 2008). Mudanças no uso e em práticas de manejo de ambientes naturais, como os de pastagem ou florestas naturais, devido ao plantio de culturas agrícolas ou florestais, influenciam na composição química e biológica da MOS (GUGGENBERGER et al., 1995; GLASER et al., 2000), por alterar a qualidade e disponibilidade de substrato e nutrientes à comunidade microbiana do solo, principal responsável pela ciclagem do C e do N no solo.

A maior entrada de C orgânico (COT) em solos de florestas advém da celulose e da hemicelulose, compostos orgânicos predominantes nas plantas (KAISER e BENNER, 2000; MÖLLER et al., 2002; MARTENS e LOEFFELMANN, 2002). Açúcares derivados de plantas, especialmente polímeros de pentoses (ex.: arabinose (ara); xilose (xil)), servem como fonte de energia para os microrganismos do solo que, por sua vez, sintetizam e aumentam o teor de polímeros de hexoses (ex.: galactose (gal); manose (man)) no solo (OADES, 1984; AMELUNG et al., 1999). Assim, com base no teor desses açúcares, torna-se possível identificar a contribuição relativa de plantas e microrganismos para a formação da MOS. Porém, não é possível identificar a origem microbiana do substrato, uma vez que distintas comunidades microbianas produzem diferentes açúcares. No entanto, fungos decompositores produzem tipicamente o aminoaçúcar glucosamina, enquanto o ácido murâmico é produzido apenas por bactérias (ZHANG et al., 1998; SOLOMON et al., 2002; MÖLLER et al., 2002; SIMPSON et al., 2004).

A galactosamina é outro aminoaçúcar presente nos solos, mas, atualmente, não há consenso sobre a sua origem; alguns autores consideram-na de origem fúngica e bacteriana (SOWDEN e IVARSON, 1974; COELHO et al., 1997), enquanto outros a sugerem como exclusivamente de origem bacteriana (SOLOMON et al., 2002). Apesar de tal limitação, com base nos teores dos aminoaçúcares é possível estabelecer relações (ex.: glucosamina/ácido murâmico) que podem servir como indicadores da contribuição fúngica e bacteriana para a MOS (ZHANG et al., 1998; AMELUNG et al., 1999; LIANG et al., 2007).

A lignina é o principal componente da parede celular de plantas lenhosas e o segundo biopolímero mais abundante em plantas, contribuindo, significativamente, para o conteúdo de C no solo (KÖGEL-KNABNER, 2002; SUHAS e CARROTT, 2007). Sua decomposição no solo é limitada a poucos microrganismos, destacando-se os fungos e actinomicetos como os principais agentes degradadores. Entre os compostos orgânicos da serapilheira, a lignina é o que se decompõe mais lentamente devido à sua elevada complexidade estrutural – cadeia polimérica de anéis aromáticos condensados (HEIM e SCHMIDT, 2007), o que contribui substancialmente para a formação de C estável no solo (STEVENSON, 1994; RASSE et al., 2006). Comparativamente, a serapilheira de eucalipto apresenta teores médios de lignina estimados pelo método de oxidação com CuO (HEDGES e ERTEL, 1982) de 30 a 40 g kg⁻¹ de COT (ZINN et al., 2002; NEUFELDT et al., 2002), teores que podem ser considerados superiores aos observados na serapilheira de *Pinus* (13 g kg⁻¹ de COT) (ZINN et al., 2002), planta inteira de pastagem de gramínea consorciada com trevo (15,6 g kg⁻¹ de COT) e resíduos da parte aérea de culturas anuais como a batata (16,5 g kg⁻¹ de COT) (LEIFELDE e KÖGEL-KNABNER, 2005). Durante o processo de decomposição da lignina, ligações intramoleculares entre componentes de fenilpropanoides são clivados e oxidados, contribuindo com derivados de compostos fenólicos no solo (MÖLLER et al., 2002). Diferentes estádios de decomposição ou humificação desses fenólicos derivados da lignina podem ser identificados pelo teor de grupamentos ácidos e aldeídos no solo (relação Ac/AI), sendo o grau de humificação proporcional ao valor obtido para a relação Ac/AI (OTTO e SIMPSON, 2006).

Como os fungos são os principais organismos responsáveis pela decomposição da lignina no solo, pode-se hipotetizar que o cultivo contínuo do eucalipto em determinado solo favorece a população fúngica e contribui para aumentar a MOS, pois em florestas temperadas o maior teor de MOS é favorecido pelo aporte de resíduos mais lignificados (BERG, 2000; DIJKSTRA et al., 2004).

Este estudo teve por objetivo avaliar as alterações causadas pelo cultivo do eucalipto nos teores de fenóis derivados de lignina, nos carboidratos e aminoaçúcares, no estádio de decomposição da MOS e na contribuição de compostos de origem microbiana em solos do litoral Norte do Espírito Santo, em comparação com aqueles de pastagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com amostras de solo coletadas no Município de Aracruz, ES, localizado a 19° 48' S e 40° 17' W, onde foram selecionadas áreas de cultivos de eucalipto e pastagem adjacentes. Os tratamentos consistiram de P: Pastagem de *Brachiaria brizantha*; E_L: Eucalipto, com amostras de solo coletadas nas linhas de plantio atual (entre linhas da rotação anterior); e E_{EL}: Eucalipto, com amostras de solo coletadas nas entre linhas de plantio atual (linhas da rotação anterior).

Até a época da coleta das amostras de solo, as áreas (talhões) de eucalipto selecionadas já tinham sido cultivadas por 28 anos (quatro rotações) com essa planta. O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (OMETTO, 1981), com temperatura e precipitação pluvial média anual de 23 °C e 1.400 mm ano⁻¹, respectivamente. O local representava microbacia típica da região dos Tabuleiros Costeiros. O solo foi caracterizado como Argissolo Amarelo fase floresta tropical subperenifólia textura média sobre argilosa, derivado do grupo Barreiras.

Previamente no último plantio de eucalipto, o solo foi preparado mediante gradagem, em que os resíduos da colheita são enterrados no solo na direção da linha de cepas (tocos) do cultivo anterior e, em seguida, coveado, plantado e fertilizado manualmente com 100 g cova⁻¹ de adubo formulado NPK 6-30-6. Devido a esse preparo localizado, foram coletadas amostras de solo tanto na direção das linhas (L) quanto das entre linhas (EL) de eucalipto.

O último plantio de eucalipto foi realizado em 1998, com plantas provenientes de híbridos clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, cultivados em sistema de reforma e espaçamento entre plantas de 3 x 3 m. Após 90 dias do plantio, as plantas receberam 350 kg ha⁻¹ de fosfato natural e, no final do primeiro ano, mais 160 kg ha⁻¹ de NPK 6-30-6.

Nessas áreas cultivadas com eucalipto e pastagem foram selecionados talhões e coletadas amostras de solo, na linha e entre linhas do eucalipto e área total para pastagem. Foram coletadas três amostras compostas de solo na profundidade de 0-10 cm. Em cada talhão foram abertas trincheiras com 1,3 m de profundidade e, então, foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos na profundidade de 0-10 cm, para estimar a densidade aparente do solo.

As amostras de solo foram coletadas na época chuvosa (janeiro/fevereiro), e os povoamentos de eucalipto estavam no final da rotação (seis anos). A pastagem (*Brachiaria* spp) foi introduzida há, aproximadamente, 20 anos em local que havia sido desmatado (Mata Atlântica) na década de 1950 para exploração extensiva e extrativista da pecuária de corte, sendo o pasto nessa época constituído principalmente por *Panicum* spp. Depois de coletadas, as amostras de solo foram imediatamente secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura e homogeneizadas, e subamostras foram retiradas para caracterizações física e química no cultivo de pastagem (pH(H₂O) = 5,7; Ca²⁺ = 1,4 cmol_c dm⁻³ e Mg²⁺ = 0,4 cmol_c dm⁻³ (KCl - 1 mol L⁻¹); H+Al = 2,2 cmol_c dm⁻³ (acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0); P = 1,1 mg dm⁻³ e K = 13,0 mg dm⁻³ (Mehlich 1); areia = 74%; silte = 4%; argila = 22% e densidade = 1,5 kg dm⁻³) e no cultivo de eucalipto (pH(H₂O) = 5,4; Ca²⁺ = 1,6 cmol_c dm⁻³ e Mg²⁺ = 0,5 cmol_c dm⁻³ (KCl - 1 mol L⁻¹); H+Al = 4,3 cmol_c dm⁻³ (acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0); P = 5,1 mg dm⁻³ e K = 34,0 mg dm⁻³ (Mehlich 1)); areia = 67%; silte = 5%; argila = 38%; e densidade = 1,5 kg dm⁻³).

A serapilheira na superfície do solo foi amostrada por ocasião da coleta das amostras de solo da seguinte forma: dentro de cada área dos tratamentos selecionados foram identificados quatro pontos, alocados aleatoriamente, nos quais se lançou um gabarito com 0,25 m² de área (0,5 x 0,5 m). A serapilheira do eucalipto foi separada em resíduos grossos (galhos grossos com diâmetro superior a 5 mm e cascas) e resíduos finos (galhos finos com diâmetro menor que 5 mm e folhas), enquanto aquela de pastagem era constituída, principalmente, por folhas e coleto senescente. Após a coleta, as amostras de serapilheira foram secas em estufa (65 °C por 72 h) até atingir massa constante, para posterior determinação da matéria seca.

Nas amostras de solo trituradas e passadas em peneira de 0,149 mm e serapilheira, efetuaram-se análises de C orgânico total (COT), N total (NT), teores de fenóis derivados de lignina (VSC) e carboidratos, além de aminoácidos derivados da atividade microbiana no solo.

2.1. Determinação do carbono orgânico total e nitrogênio total do solo e na serapilheira

Amostras de solo (TFSA) foram trituradas e passadas em peneira de 100 mesh (0,149 mm) para determinação de COT pelo método de oxidação via úmida, com aquecimento externo (YEOMANS e BREMNER, 1988).

O NT foi determinado por destilação após digestão sulfúrica (BATAGLIA et al., 1983). Depois do preparo da amostra de serapilheira, quantificaram-se os teores de COT e NT por combustão via seca em analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400.

2.2. Oxidação da lignina (VSC) com CuO e análise dos derivados por cromatografia líquida

A degradação termoquímica da lignina contida nas frações da MOS foi realizada pelo método de oxidação com CuO em micro-ondas (GOÑI e MONTGOMERY, 2000).

O O₂ das soluções de trabalho contendo NaOH 2 mol L⁻¹ foi eliminado por meio de injeção de N₂ por borbulhamento, durante 12 h. Amostras de solo e planta (passadas na peneira de 60 mesh) foram acondicionadas em tubos de teflon contendo de 2-5 mg de C orgânico, juntamente com 500 mg de CuO, 50 mg de sulfato ferroso amoniacal e 15 mL de NaOH 2 mol L⁻¹. A mistura foi aquecida em micro-ondas, em ambiente de N₂, com pressão de trabalho entre 60-70 psi, durante 90 min. Nessa pressão, atingiu-se a temperatura de 150 °C. Depois da mistura ter-se esfriado, ela foi transferida para tubos de centrifuga de 50 mL e centrifugada a 1.844 xg por 10 min. Essa etapa foi repetida por mais duas vezes, adicionando-se 5 mL de NaOH 1 mol L⁻¹ por repetição. O sobrenadante alcalino foi acidificado para pH 1 com adição de aproximadamente 4 mL de HCl concentrado. Para capturar os monômeros de lignina, misturaram-se 6 mL de acetato de etila com o sobrenadante em erlenmeyer de vidro. A fase orgânica foi transferida para tubos de vidro, repetindo-se a etapa por mais duas vezes. Possíveis resquícios de água foram removidos com a adição de Na₂SO₄. Então, solidificou-se a amostra em concentrador a vácuo (45 °C). As amostras foram redissolvidas em 5 mL de água ultrapura com o auxílio de sonda de ultrassom, para facilitar a solubilização dos compostos em água. Depois de ser passada em filtro de náilon de 0,45 µm, pipetou-se 0,5 mL dessa solução aquosa para frascos do amostrador automático e, então, para se proceder à identificação e quantificação dos derivados de lignina por cromatografia iônica (DX 600 – Dionex, Sunnyvale, CA, EUA).

Os fenóis quantificados dessa oxidação foram os monômeros do grupo vanilil (V), siringil (S) e cinamil (C). Os monômeros dos grupos V e S foram calculados de correspondentes aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos: V = vanilin + acetovanilona + ácido vanílico;

S = siringaldeído + acetossiringona + ácido siríngico. Os monômeros do grupo C foram derivados do somatório de ácido p-coumárico e ácido ferúlico. Considerou-se o VSC (g kg⁻¹ de serapilheira e mg kg⁻¹ de solo) como o somatório desses três grupos, os quais corresponderam ao teor de lignina oxidada com CuO em micro-ondas. Usando as relações de massa entre ácidos carboxílicos (Ac) e aldeídos (Al) nos grupos vanilil (V) e siringil (S), expressos como (Ac/Al)_V e (Ac/Al)_S, respectivamente, estimou-se o grau de decomposição (oxidação) da lignina (HEDGES e ERTEL, 1982; OTTO e SIMPSON, 2006).

2.3. Separação e quantificação de carboidratos

Subamostras de solo (100 mg) ou serapilheira (20 mg) foram moídas em moinho de bola, peneiradas (60 mesh), pesadas e acondicionadas em tubos de ensaio; adicionaram-se 800 µL de H₂SO₄ 6 mol L⁻¹ e, então, as amostras foram homogeneizadas por meio de agitação manual. Esperaram-se 30 min, e procedeu-se à diluição das amostras por meio de adição de 4,2 mL de água ultrapura, com o intuito de atingir concentração final de 1 mol L⁻¹ de H₂SO₄. As amostras foram cobertas com papel laminado e vedadas com cordão de borracha e aquecidas em autoclave por 30 min, na temperatura de 121 °C (104 kPa). Esperou-se que as amostras esfriassem na temperatura ambiente para prosseguir com a centrifugação (1.844 xg) por 10 min, separando o sobrenadante do resíduo. Esse procedimento foi repetido por mais duas vezes, com a adição de 1 mL de água ultrapura, objetivando a máxima recuperação do conteúdo de compostos orgânicos solúveis do resíduo. Segundo Martens e Loeffelmann (2002), esse procedimento não consegue extrair totalmente os monômeros de celulose e hemicelulose dos resíduos vegetais. Portanto, conforme sugerido por esses autores, para melhorar essa taxa de recuperação levaram-se os resíduos da primeira extração à estufa (60 °C) até a secagem da amostra. Em seguida, adicionaram-se 300 µL de H₂SO₄ 18 mol L⁻¹, e esperaram-se 30 min para, novamente, realizar a diluição da solução com 3,6 mL de água ultrapura, atingindo a concentração final de 1 mol L⁻¹ de H₂SO₄. O frasco foi vedado e autoclavado por 30 min, na temperatura de 121 °C (104 kPa). Quando a solução retornou à temperatura ambiente, ela foi centrifugada (1.844 xg) por 10 min e, então, retirou-se o sobrenadante. Esse passo foi repetido por mais duas vezes, adicionando-se 1 mL de água ultrapura antes de cada centrifugação. O sobrenadante da primeira

fase foi misturado com o da segunda em tubos de 20 mL e diluído 100 vezes. As amostras foram passadas em filtro de náilon de 0,45 μm e, então, pipetou-se 0,5 mL para identificação e quantificação dos monômeros de carboidratos por cromatografia iônica.

2.4. Separação e quantificação de aminoaçúcares

Os aminoaçúcares glucosamina (Glc) e galactosamina (Gal) e o ácido murâmico (Mur) foram extraídos do solo conforme Zhang e Amelung (1996). Subamostras contendo aproximadamente 0,3 mg de N, juntamente com um padrão interno (mioinositol), foram acondicionadas em tubos de vidro com tampa de teflon e hidrolisadas com HCl 6 mol L⁻¹ a 105 °C, por 8 h, em ambiente de N₂. O hidrolisado foi centrifugado (1.844 xg) por 10 min (4 °C) e o sobrenadante, transferido para tubos de vidro e concentrado sob vácuo a 40 °C. A amostra foi redissolvida em 20 mL de água ultrapura, e ajustou-se o pH da solução para 6,6-6,8 com KOH 0,4 mol L⁻¹. Após neutralizar a solução com KOH para precipitar o Fe, a mistura foi centrifugada, novamente, durante 15 min a 1.884 xg (4 °C) em tubos de centrífuga de 50 mL. O sobrenadante foi concentrado e rediluído em 1 mL de água. As frações de aminoaçúcares do sobrenadante foram rapidamente congeladas. Após filtragem por membranas de náilon de 0,45 μm , utilizou-se 0,5 mL da solução para identificação e quantificação dos aminoaçúcares por cromatografia iônica. Todo o sistema cromatográfico era controlado por meio do software Chromeleon (Dionex).

Os resultados foram analisados no programa estatístico SAEG 9.0 (FUNARBE, 2005) e as médias dos tratamentos, comparadas pelo teste F para serapilheira de eucalipto e pastagem, e para as variáveis qualitativas com mais de dois tratamentos foi realizada a comparação por meio do teste de LSD de Fisher ($p < 5\%$) protegido (STEEL et al., 1997), ou seja, foram realizadas comparações múltiplas apenas quando o teste de F da análise de variância foi significativo ($p < 5\%$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teores de fenóis derivados de lignina (VSC) e carboidratos na serapilheira

Os resíduos depositados na forma de serapilheira apresentaram teor semelhante de lignina (VSC) nas áreas de pastagem e de eucalipto, exibindo teores médios de 44,2 e 47,2 g kg⁻¹ (correspondem a:

109,4 g kg⁻¹ de C na serapilheira de pastagem e 93,9 g kg⁻¹ de C na serapilheira de eucalipto), respectivamente. Esses resultados foram superiores aos obtidos por Sjöberg et al. (2004a), que obtiveram teores médios de 54 a 58 g kg⁻¹ de C na serapilheira de *Picea abies* (L.) Karst.; e aos obtidos por Otto e Simpson (2006), com teores médios de VSC entre 45 e 56 g kg⁻¹ de C na serapilheira de solos litorâneos, cultivados com gramíneas (pastagem) no Canadá, bem como, também, aos resultados encontrados por Zinn et al. (2002), que verificaram teores de VSC iguais a 30, 44 e 19 g kg⁻¹ de C na serapilheira em cultivos de *Eucalyptus camaldulensis*, Cerrado nativo e cultivo de *Pinus caribaea*, respectivamente, no Estado de Minas Gerais.

Embora neste estudo os teores de VSC na serapilheira tenham sido similares entre os cultivos (pastagem e eucalipto), foi evidente a maior presença de galhos grossos ricos em lignina na serapilheira do povoamento de eucalipto (Tabela 1). Nesse sentido, o teor médio de lignina nos resíduos vegetais pode diferir de acordo com o seu componente.

O teor de N total foi menor na serapilheira de eucalipto, o que lhe conferiu maior relação VSC/N (8,7) e C/N (93,0) em comparação com aquela da pastagem (VSC/N-6,2 e C/N-56,4), indicando menor labilidade da serapilheira de eucalipto e possível retardamento do processo de decomposição microbiana (MENDHAM et al., 2004; COSTA et al., 2005). As relações VSC/N obtidas nesse estudo foram maiores que aquelas obtidas na serapilheira de *Leucaena leucocephala* (5,1), *Emblia officinalis* (2,1) e *Ailanthus triphysa* (2,8), semelhantes àquelas de *Acacia auriculiformis* (6,8) e *Pterocarpus marsupium* (8,7) e inferiores às de *Casuarina equisetifolia* (16,9), em estudo conduzido na região de Kerala, na Índia (JAMALUDHEEN e KUMAR, 1999).

A taxa de decomposição de resíduos vegetais está relacionada diretamente com o decréscimo na sua relação VSC/N, assim como na relação C/N. Em geral, se o teor de lignina estiver abaixo de 20%, a maior parte do litter compreende polissacarídeos estruturais, prontamente degradados por microrganismos decompositores, e a taxa de decomposição pode ser predita pela relação inicial C/N ou, simplesmente, pelo teor de N (MÖLLER et al., 2002).

Tabela 1 – Matéria seca total (MS), percentagem de resíduos grossos (RG) e resíduos finos (RF), teores médios de COT, NT, fenóis derivados de lignina (VSC), carboidratos totais (Carb), aminoaçúcares (Amino) e relação C/N, VSC/N e VSC/Carb na serapilheira de povoamentos de eucalipto e pastagem nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo.

Table 1– Total dry matter (DM), thick waste percentage (TW), fine waste (FW), mean levels of TOC, TN, phenols from lignin (VSC), total carbohydrate (Carb), amino sugars (Amino) and C/N, VSC/N and VSC/Carb in the eucalyptus litter and pasture in the Coastal Plains of Espírito Santo.

Tratamento	MS	RG	RF	C	N	VSC	Carb	Amino	C/N	VSC/N	VSC/Carb
Serapilheira											
	t ha ⁻¹	___%___		_____g kg ⁻¹ _____							
P	-	-	-	405,9b	7,2a	44,4a	573,9a	-	56,4b	6,16b	0,08a
E	10,5	45,0	55,0	502,4a	5,4b	47,2a	518,3b	-	93,0a	8,74a	0,09a
Solo											
				___g kg ⁻¹ ___		_____mg kg ⁻¹ _____					
P	-	-	-	12,0a	1,2a	140,1a	5927,7a	431,30a	10,0b	0,12a	0,02a
E _L	-	-	-	13,5a	1,2a	124,1a	4549,4b	374,10a	11,3b	0,10a	0,03a
E _{EL}	-	-	-	16,8a	1,1a	123,1a	4201,5b	278,30a	15,3a	0,11a	0,03a

Serapilheira, P: Pastagem cultivada; E: Eucalipto convencional; **Solo**, P: Pastagem; E_L: Eucalipto convencional, amostras de solo coletadas na linha de plantio e E_{EL}: Eucalipto convencional, amostras de solo coletadas na entre-linha de plantio. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 5 % pelo teste LSD de Fisher protegido.

Maiores teores de lignina (>20%) crescentemente dominam o processo de decomposição do litter, e a perda de massa pode ser predita pelo teor inicial de lignina e pela relação lignina/N, entre outras (SARIYILDIZ e ANDERSON, 2003). Observações dessa ordem foram verificadas por Mendham et al. (2004), quando compararam cultivos de florestas de *E. globulus* e pastagens, onde o maior conteúdo de lignina e tanino presentes em material mais grosseiro da serapilheira de eucalipto propiciou maior acúmulo de C da fração particulada da matéria orgânica do solo, indicando menor suscetibilidade à decomposição microbiana que a serapilheira de pastagens.

O teor médio de carboidratos totais foi menor na serapilheira de eucalipto (518 g kg⁻¹), em comparação com aquela de pastagem (574 g kg⁻¹), indicando, novamente, a possível redução na labilidade da serapilheira de eucalipto. Estudo realizado no Estado do Arizona (USA) indicou maior teor médio de carboidratos em resíduos de plantas de pastagem com gramíneas perenes, com 528 ± 28,2 g kg⁻¹, em comparação com a serapilheira de culturas florestais (acácia), com 266 ± 49,8 g kg⁻¹ (MARTENS e MCLAIN, 2005), sugerindo a menor labilidade desse último resíduo. Nesse contexto, em solos tropicais cultivados com eucalipto têm-se apontado dificuldades em converter a grande quantidade de resíduos em MOS, principalmente em cultivos de eucalipto onde a relação C/N é maior e a labilidade dos resíduos, menor (SILVA et al., 2004).

Nos resíduos da serapilheira de eucalipto, observou-se a predominância de grupamentos de aldeídos, como siringaldeído (21,7 g kg⁻¹), acetossiringona (6,5 g kg⁻¹) e vanilina (5,6 g kg⁻¹), em detrimento de grupamentos ácidos, como siríngico (4,9 g kg⁻¹), vanílico (1,5 g kg⁻¹) e ferúlico (2,6 g kg⁻¹), indicando menor grau de decomposição desses (Tabela 2). Entre as serapilheiras, o resíduo grosso de eucalipto teve menor relação (Ac/Al)_v (≈0,20) que nos resíduos de pastagem (≈0,45). Esses resultados corroboram aqueles de Otto e Simpson (2006), que descreveram que, nos resíduos vegetais não decompostos ou pouco decompostos, essas relações variam entre 0,1 e 0,2 em angiospermas florestais e valores maiores (0,2 a 1,6) em gramíneas, como pastagens.

Os elevados teores de siringaldeído (50,6 g kg⁻¹) e ácido siríngico (9,1 g kg⁻¹) nos resíduos de galhos grossos (RG) da serapilheira de eucalipto (Tabela 2) propiciaram a obtenção dos maiores teores de grupamentos siringil (Figura 1), enquanto os maiores teores dos ácidos ferúlico e *p*-coumárico nos resíduos de pastagem (Tabela 2) contribuíram para maiores teores de lignina do grupamento cinamil (Figura 1). Sanger et al. (1997) descreveram a maior abundância desses compostos na serapilheira de pastagem e indicaram esse resultado como característico dessa cobertura. Mesmo assim, neste trabalho verificou-se maior teor de VSC (somatório) nos galhos da serapilheira de eucalipto, seguido pela serapilheira da pastagem e daquela dos resíduos mais finos de eucalipto (galhos finos, folhas e casca). Resultado

Tabela 2 – Teores médios de fenóis derivados de lignina nos compartimentos da serapilheira e solo de pastagem e eucalipto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. Valores entre parênteses indicam a percentagem de fenóis derivados de lignina em relação ao total (VSC).

Table 2 – Average contents of phenols from lignin in the litter compartments, pasture soil, and eucalyptus in the Coastal Plains of Espírito Santo. Values in parenthesis indicate the phenols from lignin percentage in relation to total (VSC).

Tratamento	AG	AL	SG	VL	AS	AV	AF	AC	VSC
Serapilheira									
g kg ⁻¹									
P	7,2a	1,3a	7,7b	7,8a	3,4b	1,9a	5,6a	9,4a	44,4b
RG	9,6a	1,8a	50,6a	5,5b	9,1a	1,7a	0,6b	0,8b	79,8a
RF	2,8a	1,1a	6,9b	3,5b	2,2c	1,0b	1,5b	1,1b	20,1c
Média	6,5(14)	1,4(3)	21,7(45)	5,6(12)	4,9(10)	1,5(3)	2,6(5)	3,8(8)	48,1
Solo									
mg kg ⁻¹									
P	15,5a	14,1a	18,9a	11,2a	20,9a	28,3a	18,8a	12,7a	140,1a
E _L	11,0ab	19,2a	15,3a	7,9a	20,8a	26,2a	12,2ab	11,5a	124,1a
E _{EL}	9,4b	16,8a	15,5a	8,9a	20,4a	32,2a	9,9b	10,1a	123,1a
Média	12,0(9)	16,7(13)	16,6(13)	9,3(7)	20,7(16)	28,9(22)	13,5(11)	11,4(9)	129,1

AG: acetosiringona; AL: acetovanilona; SG: siringaldeido; VL: vanilina; AS: ácido siríngico; AV: ácido vanílico; AF: ácido ferúlico e AC: ácido *p*-coumárico. Dentro de cada coluna, médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5 % pelo teste LSD de Fisher protegido. **Serapilheira**, P: serapilheira de brachiária; RG: resíduos grossos de eucalipto; RF: resíduos finos de eucalipto. **Solo**, P: pastagem; E_L: eucalipto convencional, amostras de solo coletadas na linha de plantio e E_{EL}: eucalipto convencional, amostras de solo coletadas na entre-linha de plantio.

semelhante foi obtido para no teor de carboidratos nesses compartimentos da serapilheira (Figura 1). Hedges e Ertel (1982) relataram que espécies arbóreas, como o eucalipto (angiospermas), têm apresentado predominância de compostos fenólicos dos grupos siringil e vanilil e as pastagens, compostos do grupo cinamil, o que poderia justificar a maior presença dos fenóis, ácidos ferúlico e *p*-coumárico, na serapilheira da pastagem (Tabela 2).

O maior diâmetro dos componentes e a predominância de celulose, hemicelulose e lignina nos resíduos lenhosos de eucalipto (galhos grossos) podem ter propiciado a permanência/preservação de maior teor de monômeros de glicose, principal monossacarídeo nesse componente da serapilheira (≈50%), em comparação com aquele dos resíduos de pastagem e resíduos finos de eucalipto (Figura 1). Sanger et al. (1997) também verificaram resultado similar, em que a relação H/P foi menor que 0,2 na serapilheira de pastagem e próximas a 0,8 no de plantas florestais de *Picea abies*, com resíduos mais lenhosos. Possivelmente, a maior labilidade e superfície de contato dos resíduos finos com enzimas decompositoras de celulose e hemicelulose tenham contribuído para tal resultado.

Resíduos de eucalipto têm apresentado maior teor de compostos fenólicos e baixa disponibilidade de N (Tabela 1), o que pode reduzir a atividade e, ou, comunidade microbiana decompositora, interferindo na estabilização de compostos orgânicos na MOS. Já no cultivo de pastagem foi observada maior disponibilidade de N na serapilheira, o que pode estimular a atividade microbiana decompositora, aumentando a contribuição de carboidratos e aminoaçúcares mais estáveis no solo e, possivelmente, aumentar o tempo de residência do C na MOS. Pode, ainda, favorecer a estabilização estrutural de substâncias húmicas devido à reação do N com resíduos de lignina e compostos fenólicos, seguida pela formação de compostos recalcitrantes, como complexo tanino-proteína (BERG e MATZNER, 1997). A maior abundância de N no ecossistema pode reduzir a ação (BERG e MATZNER, 1997; MICHEL e MATZNER, 2003) e a produção de enzimas lignolíticas (peroxidases, fenol oxidases) na serapilheira (CARREIRO et al., 2000) e no solo (SJÖBERG et al., 2004b; DIJKSTRA et al., 2004), ao passo que pode estimular a produção de outras enzimas, como a celulase (CARREIRO et al., 2000).

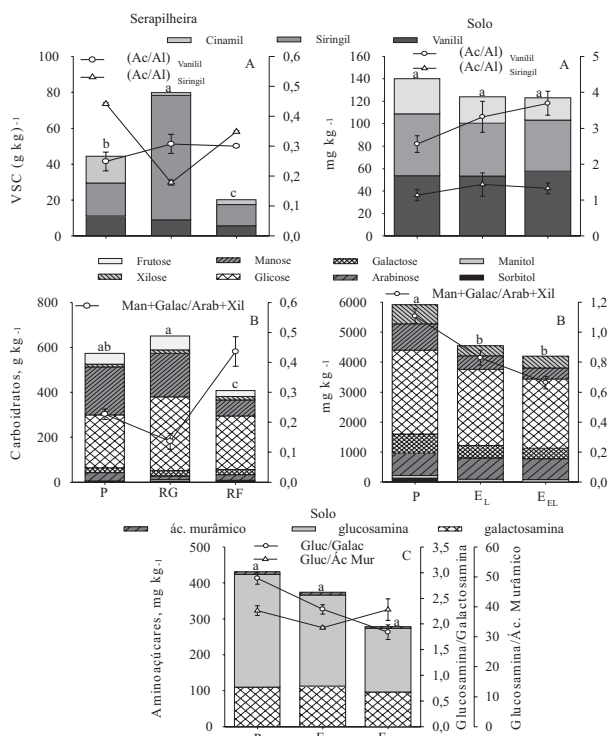


Figura 1 – Teores de fenóis derivados de lignina (VSC) e carboidratos nos compartimentos da serapilheira de pastagem (P) e de eucalipto (RG: resíduos grossos; RF: resíduos finos). Teores de VSC, carboidratos e aminoaçúcares no solo de pastagem (P), na linha (E_L) e entre-linha (E_{EL}) de cultivo de eucalipto. **A:** relação de formas ácidas para aldeídos (Ac/Al) nos derivados Vanilil e Siringil; **B:** relação de Hexoses (manose + galactose) para pentoses (glucose + xilose) e, **C:** aminoaçúcares derivados da atividade fúngica (glucosamina) em relação à bacteriana (ácido murâmico). Letras minúsculas iguais nas colunas indicam não haver diferença significativa ($p > 0,05$) entre cultivos pelo teste de LSD de Fisher protegido. Linha vertical indica erro padrão da média ($n=3$).

Figure 1 – Phenols content from lignin (VSC) and carbohydrates in the pasture litter's compartments (P) and eucalyptus' (TW: thick waste, FW: fine waste). VSC contents, carbohydrates and amino sugars in the pasture soil (P), in line (E_L) and among lines (E_{EL}) of eucalyptus cultivation. **A:** acid ratio to aldehydes forms relation (Ac/Al) in Vanilil and syringil derivatives; **B:** Hexose relation (mannose + galactose) to pentoses (glucose + xylose), and **C:** amino sugars from fungal activity (glucosamine) compared to the bacterial activity (muramic acid). Equal lowercases in columns indicate no significant difference ($p > 0.05$) among crops by protected Fisher LSD test. Vertical line indicates mean standard error ($n = 3$).

3.2. Teores totais de fenóis derivados de lignina (VSC), carboidratos e aminoaçúcares no solo

O solo cultivado com eucalipto não diferiu ($p > 0,5$) do solo cultivado com pastagem de braquiária quanto aos teores médios de COT ($14,10 \text{ g kg}^{-1}$), NT ($1,16 \text{ g kg}^{-1}$), VSC ($129,10 \text{ mg kg}^{-1}$) e aminoaçúcares ($361,26 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 1). Esses teores de lignina foram considerados semelhantes aos obtidos em solos cauliniticos do Brasil sob distintos cultivos (pinus, eucalipto, pastagem e cultivos anuais), que apresentaram teores médios de VSC extraídos pelo método de oxidação com CuO , ou seja: 95 e 144 mg kg^{-1} de solo (NEUFELDT et al., 2002).

Resultados similares foram obtidos nas relações C/N e VSC/N, com valores médios próximos a $12,40$ e $0,12$, respectivamente. O teor de carboidratos totais foi menor no solo da linha ($4.549,4 \text{ mg kg}^{-1}$) e da entre linha ($4.201,5 \text{ mg kg}^{-1}$) do que naqu ele de pastagem ($5.927,7 \text{ mg kg}^{-1}$). Esses resultados estiveram associados ao maior teor de carboidratos aportados via resíduos vegetais ao solo da pastagem (Tabela 1). Esses teores de carboidratos nos distintos cultivos foram considerados próximos daqueles obtidos por Martens e Loeffelmann (2002), que testaram distintos métodos para estimar o teor de carboidratos em solos de cultivos anuais e obtiveram variações médias de 3.751 a $11.845 \text{ mg kg}^{-1}$.

A maioria dos teores dos fenóis derivados de lignina foi similar no solo de ecossistemas florestal e pastoril; somente naquele de pastagem encontrou-se maior teor de acetossiringona e de ácido ferúlico (Tabela 2). Os monômeros mais abundantes no solo foram o ácido vanílico ($28,9 \text{ mg kg}^{-1}$) > ácido siringico ($20,7 \text{ mg kg}^{-1}$) > acetovanilona ($16,7 \text{ mg kg}^{-1}$) = siringaldeído ($16,6 \text{ mg kg}^{-1}$) > ácido ferúlico ($13,5 \text{ mg kg}^{-1}$) > acetossiringona ($12,0 \text{ mg kg}^{-1}$) = ácido p-coumárico ($11,4 \text{ mg kg}^{-1}$) > vanilina ($9,3 \text{ mg kg}^{-1}$). Com isso, as relações entre grupamentos Ac/Al e H/P foram maiores que 1, indicando maior estado de oxidação da lignina no solo e predominância de carboidratos de origem microbiana (relação H/P > 1), em comparação com o que foi obtido na serapilheira.

No solo das entre linhas do eucalipto, a relação Ac/Al de grupamentos vanilil (Ac/Al)_v foi maior (3,6) que no solo de pastagem (2,5), indicando a predominância de grupamentos ácidos e, portanto, grau mais avançado de biodegradação da lignina no solo do primeiro. No entanto, nos monômeros de siringil (Ac/Al)_s a relação não diferiu ($p > 0,05$) em ambos os solos dos ecossistemas, com valores entre 1,0 e 1,5, e sempre superiores aos

valores obtidos para os componentes da serapilheira, que variaram de 0,1 a 0,5 (Figura 1). O processo de degradação da lignina eleva a relação Ac/Al dos compostos fenólicos dela derivados (HEDGES et al., 1988).

A menor labilidade do *litter* de eucalipto, observada neste estudo, pode ter levado os microrganismos decompositores a remobilizar a MOS pela ação de enzimas não seletivas originadas de fungos lignolíticos, aumentando o grau de oxidação da lignina no solo (HAMER e MARSCHNER, 2005), e pode ter propiciado a menor abundância de derivados do que em outros cultivos, como obtido no solo de pastagem, identificado pelo maior teor de carboidratos e relação H/P, além do maior teor de aminoaçúcares de origem microbiana (Figura 1).

O maior teor de carboidratos totais obtidos no solo de pastagem (Tabela 1) ocorreu, principalmente, como reflexo do maior teor de manose e de sorbitol, este último presente somente no solo de pastagem. Obteve-se, assim, maior relação entre H/P nesse solo (Figura 1). Carboidratos derivados de plantas, em especial os polímeros de pentoses (arabinose (ara) e xilose (xil)), são fonte primordial de energia e C para os microrganismos do solo que, por sua vez, sintetizam primariamente polímeros de hexoses (ex.: galactose (gal), manose (man), frutose (frut) e ramnose (ram)), que podem ter seus teores incrementados no solo (OADES, 1984; SOLOMON et al., 2002). Relações H/P (gal+man/ara+xil) menores que 0,5 são observadas em plantas, e maiores que 2 em microrganismos (AMELUNG et al., 1999). Dessa forma, quanto maior for essa relação, maior será a contribuição microbiana na formação da MOS (síntese microbiana). Inversamente, baixas relações sugerem maior contribuição por herança, ou seja, parte dos compostos orgânicos que compõem a MOS pode ter sido originada diretamente de resíduos vegetais não alterados ou parcialmente decompostos pela comunidade microbiana (SOLOMON et al., 2002).

A maior relação H/P foi obtida no solo de pastagem, e esta decresceu nas amostras de solo das entre linhas de eucalipto (E_{EL}) e foi menor ainda nas amostras das linhas (E_L) (Figura 1), demonstrando a maior ocorrência de carboidratos de origem microbiana na MOS da pastagem e menor naquela do E_{EL} . Possivelmente esse resultado possa ser justificado pela maior labilidade dos resíduos aportados ou presentes no solo de pastagem (Figura 1).

Os teores de aminoaçúcares (glucosamina e galactosamina) e ácido murâmico no E_L e no E_{EL} de eucalipto foram 13 e 36% inferiores ao solo de pastagem, que teve o maior teor de compostos de origem microbiana (maior relação H/P).

O teor dos aminoaçúcares no solo dos cultivos foi maior na glucosamina, seguido da galactosamina e, por último, do ácido murâmico. Desses, a glucosamina apresentou menor contribuição no E_{EL} (Figura 1), propiciando a ocorrência de menor relação glucosamina/galactosamina, o que pode indicar maior presença de aminoaçúcares originados da atividade bacteriana no solo do cultivo de eucalipto em comparação com o solo de pastagem. Nesse solo, a maior presença de carboidratos, de hexoses e glucosamina pode ter sido associada à maior atividade fúngica e, em menor proporção, bacteriana e de actinomicetos, uma vez que as maiores relações glucosamina/galactosamina e glucosamina/ácido murâmico são bioindicadoras da ocorrência, principalmente, de fungos, enquanto a presença de galactosamina e de ácido murâmico, sobretudo de bactérias (SOLOMON et al., 2002), com pequenas contribuições fúngicas e de actinomicetos na produção de galactosamina e ácido murâmico, respectivamente (SOWDEN e IVARSON, 1974; GLASER et al., 2004).

4. CONCLUSÕES

A serapilheira de eucalipto tem menor teor de carboidratos, N total, relação ácido/aldeído (Ac/Al) de fenóis derivados de grupamentos siringil da lignina e maior relação (VSC)/N, C/N daquela de pastagem, mas não se observa diferença entre as serapilheiras, quanto ao teor de lignina.

No solo de eucalipto, obtém-se menor presença de carboidratos, relação hexoses/pentoses (H/P), teores de aminoaçúcares (glucosamina e galactosamina) e ácido murâmico e relação glucosamina/galactosamina, indicando haver maior contribuição direta de componentes de origem vegetal na matéria orgânica do solo que aqueles de origem microbiana, em comparação com o solo sob pastagem.

5. REFERÊNCIAS

AMELUNG, W.; FLACH, K. W.; ZECH, W. Neutral and acidic sugars in particle-size fractions as influenced by climate. *Soil Science Society of America Journal*, v.63, p.865-873, 1999.

- BALIEIRO, F.C. et al. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em seropédica, RJ. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p.153-162, 2008
- BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v.133, n.1, p.13-22, 2000.
- BERG, B.; MATZNER, E. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. **Environmental Review**, v.5, n.1, p.1-25, 1997.
- CARREIRO, M. M. et al. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. **Ecology**, v.81, p.2359-2365, 2000.
- COELHO, R. R. R.; SACRAMENTO, D. R.; LINHARES, L. F. Amino sugars in fungal melanins and soil humic acids. **European Journal of Soil Science**, v.48, p.425-529, 1997.
- COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, C. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense. **Revista Árvore**, v.29, p.563-570, 2005.
- DIJKSTRA, F. A. et al. Nitrogen deposition and plant species interact to influence soil carbon stabilization. **Ecology Letters**, v.7, p.1192-1198, 2004.
- FUNARBE. **SAEG-Sistema para análises estatísticas**. v. 9.0. Viçosa, MG: 2005.
- GLASER, B.; TURRIÓN, M. B.; ALEF, K. Amino sugars and muramic acid-biomarkers for soil microbial community structure analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.399-407, 2004.
- GLASER, B. et al. Soil organic matter quantity and quality in mountain soils of the Alay Range, Kyrgyzia, affected by land use change. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.407-413, 2000.
- GOÑI, M. A.; MONTGOMERY, S. Alkaline CuO oxidation with a microwave digestion system: lignin analyses of geochemical samples. **Analytical Chemistry**, v.72, p.3116-3121, 2000.
- GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; THOMAS, R.J. Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an Oxisol under tropical pastures following native savanna. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1629-1638, 1995.
- HAMER, U.; MARSCHNER, B. Priming effects in different soil types induced by fructose, alanine, oxalic acid and catechol additions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.37, p.445-454, 2005.
- HEDGES, J. I. et al. Effects of fungal degradation on the CuO oxidation products of lignin: a controlled laboratory study. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.52, p.2717-2726, 1988.
- HEDGES, J. I.; ERTEL, J. R. Characterization of lignin by gas capillary chromatography of cupric oxide products. **Analytical Chemistry**, v.54, p.174-178, 1982.
- HEIM, A.; SCHMIDT, M. W. I. Lignin turnover in arable soil and grassland analysed with two different labelling approaches. **European Journal of Soil Science**, v.58, p.599-608, 2007.
- JAMALUDHEEN, V.; KUMAR, B. M. Litter of multipurpose trees in Kerala, India: variations in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. **Forest Ecology and Management**, v.115, p.1-11, 1999.
- KAISER, K.; BENNER, R. Determination of amino sugars in environmental samples with high salt content by high-performance anion-exchange chromatography and pulsed amperometric detection. **Analytical Chemistry**, v.72, p.2566-2572, 2000.
- KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p.139-162, 2002.
- LEIFELD, J.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use? **Geoderma**, v.124, p.143-155, 2005.

- LIANG, C. et al. Effect of plant materials on microbial transformation of amino sugars in three soil microcosms. **Biology and Fertility of Soils**, v.43, p.631-639, 2007.
- MARTENS, D. A.; LOEFFELMANN, K. L. Improved accounting of carbohydrate carbon from plants and soils. **Soil Biology and Biochemical**, v.34, p.1393-1399, 2002.
- MARTENS, D. A.; MCLAIN, J. E. T. **Climate mitigation potential of the San Pedro River riparian zone**. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-36. 2005. Disponível em: www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p036/rmrs_p036_491_495.pdf. Acesso: 05/10/2007.
- MENDHAM, D.S. et al. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with Eucalyptus globules. **Soil Biology and Biochemical**, v.36, p.1067-1074, 2004.
- MICHEL, K.; MATZNER, E. Response of enzyme activities to nitrogen addition in forest floors of different C-to-N ratios. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, p.102-109, 2003.
- MÖLLER, A.; KAISER, K.; ZECH, W. Lignin, carbohydrate, and amino sugar distribution and transformation in the tropical highland soils of northern Thailand under cabbage cultivation, *Pinus* reforestation, secondary forest, and primary forest. **Australian Journal of Soil Research**, v.40, p.977-998, 2002.
- NEUFELDT, H.; RESCK, D. V. S.; AYARZA, M. A. Texture and land-use effects on soil organic matter in cerrado Oxisols, central Brazil. **Geoderma**, v.107, p.151-164, 2002.
- OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v.5, p.35-70, 1984.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 425p.
- OTTO, A.; SIMPSON, M. J. Evaluation of CuO oxidation parameters for determining the source and stage of lignin degradation in soil. **Biogeochemistry**, v.80, p.121-142, 2006.
- RASSE, D. P. et al. Lignin turnover in an agricultural field: from plant residues to soil-protected fractions. **European Journal of Soil Science**, v.57, p.530-538, 2006.
- SANGER, L. J. et al. Phenolic and carbohydrate signatures of organic matter in soils developed under grass and forest plantations following changes in land use. **European Journal of Soil Science**, v.48, p.311-317, 1997.
- SARIYILDIZ, T.; ANDERSON, J. M. Decomposition of sun and shade leaves from three deciduous tree species, as affected by their chemical composition. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, p.137-146, 2003.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.276-374.
- SILVA, I. R. et al. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, 2004, p.10-20.
- SIMPSON, R.T. et al. Preferential accumulation of microbial carbon in aggregate structures of no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.1249-1255, 2004.
- SJÖBERG, G. et al. Impact of long-term N fertilization on the structural composition of spruce litter and mor humus. **Soil Biology and Biochemical**, v.36, p.609-618, 2004a.
- SJÖBERG, G. et al. Degradation of hemicellulose, cellulose and lignin in decomposing spruce needle litter in relation to N. **Soil Biology and Biochemical**, v.36, p.1761-1768, 2004b.
- SOLOMON, D. et al. Soil organic matter composition in the subhumid Ethiopian highlands as influenced by deforestation and agricultural management. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.68-82, 2002.

SOWDEN, F. J.; IVARSON, K. C. Effects of temperature on changes in the nitrogen constituents of mixed forest litters during decomposition after inoculation with various microbial cultures. **Canadian Journal of Soil Science**, v.54, p.387-394, 1974.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill, 1997. 666p.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: Genesis, Composition and Reactions**. 2.ed. New York: Willey & Sons Inc., 1994. 496p.

SUHAS, P. J. M. C.; CARROTT, M. M. L. R. Lignin - from natural adsorbent to activated carbon: A review. **Bioresource Technology**, v.98, p.2301-2312, 2007.

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

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.166, p.285-294, 2002.

ZHANG, X. et al. Amino sugar signatures of particle size fractions in soils of the native prairie as affected by climate. **Soil Science**, v.163, p.220-229, 1998.

ZHANG, X.; AMELUNG, W. Gas chromatographic determination of muramic acid, glucosamine, mannosamine, and galactosamine in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.28, p.1201-1206, 1996.