

Retorno de carbono e nitrogênio ao solo via distribuição de resíduos de madeira processada

Carbon and nitrogen return to the soil by distribution of wood residues

Eleandro José Brun¹
Mauro Valdir Schumacher²
Flávia Gizele König Brun³

Resumo

Estudou-se o retorno de carbono (C) e nitrogênio (N) ao solo através do processo de decomposição dos resíduos provenientes de serraria, adicionados sobre o solo como forma de cobertura. Para tanto, foram instaladas parcelas amostrais, onde foram alocadas bolsas de *nylon* (*litter-bags*) com cem gramas de resíduo cada uma, em duas áreas, uma de plantio recente e outra com 4,5 anos de idade, com cultivo de *Pinus taeda* L. A cada estação do ano, por dois anos, foram coletadas parte das bolsas adicionadas junto ao solo, as quais foram limpas, secas, pesadas e analisadas. A liberação de resíduos para o solo, ao final de dois anos de avaliação, foi maior na área de plantio do que na área de floresta, apesar de ambas as áreas apresentarem uma decomposição relativamente lenta. A variação da composição nutricional quanto a C e N nos resíduos coletados estacionalmente nas áreas de estudo mostrou liberação proporcional de C e manutenção do N no resíduo remanescente, fazendo baixar lentamente a relação C/N do resíduo. Em dois anos de estudo, foram liberados ao solo, no plantio, quantidades de resíduos, carbono orgânico e nitrogênio total superiores à floresta com 4,5 anos, mostrando maior adequação da primeira área à prática de espalhamento de resíduo proveniente da serraria. A distribuição do resíduo sobre o solo, antes do plantio das mudas, seria o melhor meio de ciclar nutrientes e favorecer a decomposição dos resíduos, pois facilita a distribuição mecânica do material, além de propiciar maior velocidade de decomposição no tempo, promovendo a ciclagem desses nutrientes durante a rotação.

Palavras-chave: decomposição; sustentabilidade ambiental; *litter-bag*.

1 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos; E-mail: eleandrobrun@utfpr.edu.br.

2 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; E-mail: schumacher@pesquisador.cnpq.br.

3 MSc.; Engenheira Florestal; Doutoranda em Recursos Florestais – ESALQ/USP. Piracicaba (SP); E-mail: flaviakonig@mail.ufsm.br

Abstract

The carbon (C) and nitrogen (N) returned to the ground with base in the sawmill residues was studied, added to the ground as covering form. For this present study, plots were installed, where nylon bags were allocated (litter-bags) with 100g of residue, in two areas: one of recent planting and other with 4.5 years old with *Pinus taeda* L. stands. In each season, for two years, it was collected part of the residues bags added to the soil, which were cleaned, dried, weighed and analyzed. The residues released onto the soil at the end of two years of assessment were larger in the planting area than in the forest area, although both areas had a relatively slow decomposition. The variation of nutritional composition, as the C and N in the residues collected, in the areas of seasonality study shows proportional release of C and maintenance of N in the remaining residue, bringing the C/N relation down gradually. In two years of study, higher quantities of residues, organic carbon and total nitrogen were released to the soil in the planting, area than in the 4.5 years old forest, showing better match of the first area to the practice of spreading of sawmill residues. The residues distribution, on the soil before planting seedlings, would be the best way of nutrients cycling and would promote the decomposition of residues, since it facilitates the distribution with mechanical equipments. And besides, it provides greater rate of decomposition in time, promoting the recycling of these nutrients during the rotation.

Key words: decomposition; environmental sustainable; litter-bags.

Introdução

O processamento de madeira como matéria-prima gera resíduos em seus processos produtivos em serrarias, principalmente, a geração de resíduos sólidos que não sofreram severos tratamentos químicos, capazes de causar impacto ambiental negativo no solo, têm a possibilidade de serem reaproveitados na devolução de parte dos nutrientes retirados do povoamento por ocasião da colheita. Tais resíduos irão se decompor e liberar os elementos contidos em sua estrutura para o solo, onde poderão ser reabsorvidos pelas raízes das plantas da rotação seguinte.

Um dos aspectos mais comprometedores para as empresas florestais, principalmente as que buscam certificação ambiental, é

o acúmulo ou incineração de resíduos, cujas práticas são muito impactantes e não recomendadas. Dessa forma, segundo Posonski (2005), as empresas devem buscar não somente reduzir a quantidade de resíduos gerados, bem como buscar formas de reaproveitamento desse material, monitorando o impacto no ecossistema.

A decomposição dos resíduos florestais, espalhados no solo da floresta, se constituirá em uma fonte adicional de matéria orgânica, incrementando a ciclagem de nutrientes nos povoamentos florestais, compensando parte das perdas de nutrientes sofridas por intervenções no decorrer da rotação e por ocasião da colheita.

Além disso, em povoamentos que sofreram corte raso ou desbaste mais

severo, a devolução desses resíduos ao solo, formará uma camada protetora contra a erosão hídrica e a insolação excessiva, e todos os danos daí decorrentes. Esses danos são caracterizados como perdas de solo e nutrientes, poluição de rios e lagoas, perdas econômicas por investimentos em recuperação da fertilidade do solo, controle de mato-competição, etc.. O grau de proteção conferido é proporcional à quantidade de resíduos devolvida, formando camadas que terão atuação mais intensa quanto maior for a sua espessura (POSONSKI, 2005).

Assim, para que a distribuição de resíduos do processamento de madeira em serraria sobre o solo das florestas plantadas seja corretamente realizada, um dos aspectos que devem ser conhecidos é o tempo médio da decomposição do mesmo, para que seja possível planejar desde a distribuição destes no solo até os ganhos nutricionais que o solo terá devido ao incremento de matéria orgânica proveniente do resíduo, após a decomposição.

Um dos métodos mais usados para estimar a perda de biomassa, que pode ser usado tanto para serapilheira como para outros resíduos vegetais, é através do confinamento de frações desse material em sacos, feitos geralmente de malha de *nylon* e incorporados ao solo (MASON, 1980). O tamanho dessa malha pode ser variado, desde que permita a troca de umidade e a entrada de diferentes tipos de organismos que atuarão na decomposição.

Este estudo teve por objetivos estimar a taxa de decomposição dos resíduos de madeira de *Pinus taeda* L. proveniente de serraria e distribuídos sobre o solo como forma de adubação orgânica; e determinar os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) no material coletado das bolsas (*litter-bags*),

bem como o potencial de disponibilização desses nutrientes ao solo, a cada estação do ano e ao final de dois anos de estudo.

Materiais e Métodos

Caracterização da área estudada

O presente estudo foi desenvolvido na empresa Reflorestadores Unidos S.A. (29°13'55"Sul e 50°15'43"Oeste, altitude entre 900-1000 m, s.n.m.) em Cambará do Sul (RS) que trabalha no ramo de serraria, com a produção de madeira sólida beneficiada para diversos fins. Cambará do Sul localiza-se na região nordeste do Rio Grande do Sul, na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é o Cfb (temperado úmido) com precipitação média de 1800 mm, bem distribuída durante o ano. A temperatura média anual é de aproximadamente 15°C, sendo a média das máximas inferior a 22°C e a média das mínimas de 8,5°C. Ocorrem, nesta região cerca de quarenta geadas por ano, principalmente entre abril e novembro, e queda de neve em cerca de três dias por ano (IPAGRO, 1989). Os ventos dominantes na região são os alísios (sopram do mar para a terra), devido à região situar-se próxima ao litoral do Rio Grande do Sul.

Os materiais de origem dos solos da região são rochas basálticas, resultantes do derrame basáltico do Triássico Superior, predominando solos rasos com horizonte A de coloração escura, com baixa saturação de bases e teores elevados de alumínio trocável, denominado de Cambissolo Húmico alumínico típico (EMBRAPA, 2006), sendo moderadamente drenados, com cores bruno-avermelhadas, argilosos e friáveis. Esse tipo de solo é originalmente ácido,

com saturação e soma de bases baixa e teores altos de alumínio trocável e matéria orgânica (STRECK et al., 2002).

Metodologia de estudo

O estudo foi realizado por dois anos em duas áreas previamente selecionadas de cultivo de *Pinus taeda* L. Na implantação do experimento, a primeira área era um corte raso onde a nova rotação havia sido recém plantada, e a segunda área, um plantio com 4,5 anos de idade. Tal divisão se deu pelo fato de que no plantio, a incidência dos raios solares, dentre outros fatores, ocorre diretamente no solo, serapilheira ou vegetação rasteira. Isso acaba influenciando muitos fatores envolvidos na decomposição da matéria orgânica, como alta variação no teor de umidade superficial, temperatura da superfície e subsuperfície do solo, atividade microbiana, etc.

Na área de plantio com 4,5 anos de idade, as características da espécie, o espaçamento e o manejo utilizado pela empresa fazem com que o dossel da floresta esteja, na maior parte, fechado a partir desta idade, propiciando condições diferenciadas de decomposição dos resíduos orgânicos, geralmente contrárias à situação no momento do plantio.

Primeiramente, os resíduos provenientes da serraria foram coletados e postos a secar em estufa de circulação e renovação de ar a 75°C por um período de 72 horas. A coleta ocorreu no depósito da empresa, em dezembro de 2001, quando foram coletadas as amostras para esse estudo, cerca de 200.000 Mg de resíduos.

Após a secagem, os resíduos foram acondicionados em sacos de papel para envio à floresta. O acondicionamento em bolsas de nylon (malha de três milímetros), foi já feito nas áreas de pesquisa. As bolsas

de *nylon* tinham dimensões de 20 x 20 cm, para comportarem cem gramas de resíduo seco cada uma. Esse tamanho de malha é o mais utilizado em trabalhos que avaliam a velocidade de decomposição de material orgânico em resíduos florestais via técnica de *litter-bag*, uma vez que permite a entrada de diversas espécies de organismos decompositores, sem, contudo causar significativas perdas de material na instalação e coleta de amostras do experimento.

A distribuição do material no experimento foi realizada na forma de blocos ao acaso, com oito blocos para a área de plantio e oito para a floresta de 4,5 anos de idade, sendo que cada bloco continha quatro parcelas. Cada parcela era formada por seis *litter-bags* distribuídos em linha, distantes um metro entre eles. Cada parcela foi sinalizada com estacas, visando evitar a perda de amostras devido ao crescimento do sub-bosque.

Para cada uma das áreas, os blocos um até quatro tiveram seus *litter-bags* coletadas no primeiro ano de estudo (2002) e os blocos cinco até oito no segundo ano (2003). As coletas das bolsas de resíduo nas áreas foram realizadas a cada mudança de estação do ano, com a retirada de 24 bolsas de cada área em cada ocasião, correspondente à coleta em uma parcela de cada um dos quatro blocos em cada ocasião (seis bolsas/parcela/estação).

Na ocasião da coleta do material em campo, cada *litter-bag* era retirado da superfície do solo, imediatamente embalado em saco plástico, e identificado. Pôde-se observar que muitas gramíneas cresciam em meio às mudas de pinus na área de plantio recente, com suas raízes invadindo as bolsas de resíduo e auxiliando na decomposição (perda de massa), ou seja, na saída do material e seu apodrecimento, abrindo caminho para

o ataque de fungos e também de outros organismos decompositores.

Em laboratório, as amostras foram abertas e isentadas de material adverso (raízes de ervas invasoras, insetos, etc.). Após isso foram postas para secar em estufa de renovação e circulação de ar a 75°C por 72 horas, pesadas em balança de precisão (0,01g) para a constatação da perda de peso sofrida pelas mesmas durante o período experimental. Para a moagem, as seis amostras de cada parcela, coletadas numa mesma estação, foram reunidas e homogeneizadas em uma amostra composta, a qual foi moída em moinho Wiley com peneira de 30 *mesh*. A análise quanto aos teores de nitrogênio total (N) e carbono orgânico total (C) seguiu metodologia padrão do Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, descrita em Tedesco et al. (1995).

Com os dados de massa seca remanescente em cada amostra, foi calculada a perda de peso sofrida a cada estação do ano, com base no peso inicial das bolsas, a qual foi analisada estatisticamente em relação à variância e teste de comparação de médias, via teste F e teste de Tukey a 1% de probabilidade

de erro. Também foi calculada a composição das amostras remanescentes quanto aos teores de C e N, a relação C/N e a quantidade disponibilizada periodicamente ao solo.

Resultados e Discussão

Na tabela 1 são apresentados os dados referentes à perda de peso de matéria seca nos *litter-bags* instalados na área de plantio e na floresta de 4,5 anos em dezembro de 2001. A perda de peso de resíduo que se decompôs e foi incorporado ao solo chegou a 45,5% na área de plantio (floresta de dois anos na última coleta de dados), sendo estatisticamente superior aos 37,1% perdidos na área da floresta com 4,5 anos (6,5 anos ao término do experimento). Ao final do primeiro ano de estudo as perdas ainda eram maiores na floresta da área de plantio, porém, com o decorrer do segundo ano, as perdas de resíduos para o solo se acentuaram em favor da área de plantio, sendo nesta superior a liberação de resíduos para o solo ao final da pesquisa.

A decomposição pode ser dividida em três processos básicos: lixiviação ou lavagem (a), intemperismo ou ruptura física (b) e ação

Tabela 1. Perda estacional de peso do resíduo acondicionado nas bolsas (*litter-bags*) e distribuído nas duas áreas de pesquisa em áreas de plantios de *Pinus taeda*. Cambará do Sul (RS)

Coleta das bolsas	Peso médio das bolsas (g)		Perda média de peso (%)	
	Plantio	Floresta 4,5 anos	Plantio	Floresta 4,5 anos
Peso inicial	100,00 A ¹ a ²	100,00 A a	0	0
Verão/2002	90,25 A b	90,26 A b	9,75	9,74
Outono/2002	83,38 A c	81,49 A c	16,62	18,51
Inverno/2002	81,55 A c	80,20 A c	18,45	19,80
Primavera/2002	78,01 A c	74,61 B d	22,00	25,39
Verão/2003	64,68 B d	71,33 A d	35,32	28,67
Outono/2003	61,38 B de	70,66 A d	38,62	29,34
Inverno/2003	56,78 B ef	64,57 A e	43,22	35,43
Primavera/2003	54,54 B f	62,86 A e	45,46	37,14

Nota: 1. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na horizontal, não diferem entre si pelo Teste F (ANOVA), a 1% de probabilidade de erro; 2. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 1% de probabilidade de erro

biológica (c), com a oxidação do material. Estes processos, após iniciarem em sequência, ocorrem simultaneamente (MASON, 1980). A avaliação da decomposição de resíduos orgânicos através da técnica de *litter-bags* contempla de forma mais eficiente as duas primeiras etapas, uma vez que a atividade biológica sobre o resíduo instalado pode se dar quando o mesmo já esteja incorporado ao solo, após a perda devido à sua fragmentação. Porém, em virtude da riqueza nutricional do mesmo, a ação de organismos fragmentadores pode iniciar-se já quando da exposição deste material no ecossistema.

Acredita-se que os resultados sejam explicados pelo fato de que, na área de plantio, quando da implantação do experimento, por este ser um plantio recente, a pouca quantidade de vegetação e, conseqüentemente de raízes, a insolação direta nas amostras, com menor umidade do resíduo, em função da recente colheita e plantio da rotação seguinte, pode ter inibido a ação de agentes decompositores de matéria orgânica, tanto macro como micro, fazendo com que a liberação de resíduos para o solo fosse pequena no primeiro ano.

Para o segundo ano, com o crescimento das plantas de *Pinus taeda* e, principalmente, da vegetação concorrente, formada por gramíneas, regeneração do próprio pinus, entre outras espécies típicas das florestas naturais da região (araucárias, plantas da família Myrtaceae em geral, etc.), ocorreu um aumento na quantidade de raízes invadindo as amostras, as quais abriram caminho para pequenos e grandes decompositores. Esses, auxiliados pela proteção da vegetação quanto aos raios solares diretos (maior umidade nas amostras), atacaram o material das bolsas, propiciando a maior perda de peso desses resíduos no segundo ano, na área de plantio recente, principalmente da primavera de

2002 para o verão de 2003, época em que ocorre o maior ritmo de crescimento da vegetação.

Esse fato também é decorrente do controle da mato-competição na área de plantio ter sido realizado somente em coroamento, cerca de meio metro de raio ao redor das mudas, ficando toda a vegetação espontânea remanescente em crescimento normal, com grau de cobertura do solo e densidade de raízes muito maior do que na área com 4,5 anos, onde as árvores de *Pinus taeda* são predominantes mas não alcançam o mesmo desenvolvimento em nível de cobertura do solo, na superfície do mesmo.

Essas situações descritas, que se acentuaram no segundo ano na área de plantio, de certa forma já ocorriam na área da floresta de 4,5 anos, porém não em igualdade de condições, uma vez que essa floresta, devido à maior idade, apresenta uma baixa abundância de vegetação concorrente, sendo menor o ataque de raízes nas amostras, as quais são provenientes, na maioria, das árvores de pinus da referida floresta, encobertas pela camada de serapilheira que já se forma e que foi incrementada meses antes da instalação da pesquisa, pela realização da primeira desrama nas árvores.

No período do inverno, praticamente não houve perda de material, principalmente no primeiro ano, onde não foram identificadas diferenças estatísticas significativas entre a referida estação e a anterior, uma vez que a baixa temperatura funciona como um agente inibidor da atividade dos organismos vivos. No inverno do segundo ano de estudo, isso não foi verificado, uma vez que o material das amostras, já em maior grau de decomposição, foi mais facilmente liberado dos *litter-bags*, ocorrendo perda significativa na floresta de 4,5 anos.

Tais aspectos são respaldados por outros autores, os quais dizem que muitos fatores influem na velocidade de decomposição do material vegetal depositado no solo de uma floresta, entre eles a temperatura (MIKOLA, 1960), o teor de umidade do solo (MALAISSE et al., 1975), o regime de chuvas (OLIVEIRA, 1987), etc. Sob o aspecto da temperatura, Meguro et al. (1980) e Lowman (1988), observaram uma menor perda de peso de serapilheira nos meses de temperatura mais baixa. Quanto à precipitação, estes autores e também Swift et al. (1984) constataram uma maior velocidade de decomposição na estação mais chuvosa.

Sutilli e Schumacher (2002), estudando a perda de biomassa de folhas, ocorrida estacionalmente com o uso de bolsas de nylon (*litter bags*), do mesmo tipo usado neste estudo, porém em uma Floresta Estacional Decidual de Santa Maria (RS) relataram que no período inicial, de inverno, a perda de biomassa se deu de uma forma mais lenta, ocorrendo de forma mais acelerada no período de primavera e verão. Após um ano de exposição na floresta, a biomassa foi reduzida para 48% da original. Tal tendência também foi observada por Vuono et al. (1989) para uma área de Mata Atlântica próxima a Cubatão (SP).

Principalmente em solos de baixa fertilidade, é comum serem observadas as raízes das plantas crescendo de forma intensa na interface solo-serapilheira, esta proveniente tanto da queda natural de material das árvores ou como subproduto de intervenções na floresta. Isso, segundo Reis et al. (1985), resulta em maior eficiência na absorção de nutrientes que vão sendo liberados gradativamente, de acordo com o grau de decomposição do resíduo sobre o solo.

Dessa forma, Miranda et al. (1998) expõem que o esperado nessas situações seria

que a ocorrência de uma possível queda de produtividade florestal na segunda rotação seja compensada pela adição de adubação mineral e resíduos orgânicos, onde os mesmos irão lentamente liberar nutrientes para a absorção radicular. Comprovando essa hipótese, os autores anteriormente citados relataram um ganho de 86,1% em volume de madeira e 408,2% em biomassa seca, em um híbrido de *Eucalyptus robusta* com *E. saligna* plantado no Vale do Jequitinhonha, (MG) o qual foi conduzido à brotação em meio à galhada da rotação anterior e com a aplicação de adubação mineral na cepa. Ao que tudo indica, a adubação mineral, por liberar mais rapidamente os nutrientes para a absorção radicular, supre as necessidades iniciais de crescimento e, mais adiante, com o seguimento da idade da floresta, a decomposição dos resíduos continua o processo de fornecimento de nutrientes para o crescimento das plantas da rotação atual.

Mesmo que a taxa de liberação dos resíduos de *Pinus taeda* para o solo, nas duas áreas estudadas, seja inferior aos dados oriundos de pesquisas em florestas naturais, pode-se inferir que, do ponto de vista silvicultural, há vantagens do uso dos mesmos na cobertura do solo.

O tamanho da amostra levada a campo (*litter-bag*) na pesquisa, foi de 20cm x 20cm, com uma quantidade de cem gramas de resíduo, que equivale a espalhar sobre o solo da floresta 25,0Mg ha⁻¹ de material, e restou, ao final de dois anos, somente 14,7Mg ha⁻¹, como média das duas áreas. Se, por um lado, este material restante ainda não se decompõe e, conseqüentemente, ainda não liberou seus nutrientes para o solo, por outro lado, permanece sobre a superfície, tendo uma importante função de proteção física contra os efeitos danosos da erosão hídrica, sendo uma fonte de nutrientes de lenta liberação.

De acordo com Blum et al. (2003), a casca seca de pinus (*Pinus taeda*), um dos componentes do resíduo usado nesta pesquisa, não apresenta propriedades fertilizantes marcantes, devido à sua relativamente baixa concentração de nutrientes, sendo a mesma normalmente descartada ou queimada. Todavia, esta casca pode ser seca, moída e incorporada ao solo, melhorando suas propriedades físicas (textura e drenagem) (ODNEAL; KAPS, 1990). Opções como essa também devem ser avaliadas sob o ponto de vista econômico e não somente silvicultural.

No entanto, se o silvicultor não necessita de rapidez na liberação de nutrientes e se tem grande quantidade de resíduos disponíveis na propriedade, nada impede que ele disponibilize esses resíduos sobre o solo da floresta, visando aproveitamento futuro dos nutrientes contidos no resíduo.

Dentro dessa lógica de longo prazo, como sempre devem ser pensadas as práticas silviculturais sustentáveis, torna-se interessante o fato de que a decomposição dos resíduos tenha velocidade baixa, uma vez que isso significa um maior aproveitamento dos nutrientes liberados pelas plantas a serem cultivadas nestas áreas.

Quanto à caracterização nutricional do resíduo avaliado a cada estação do ano (Tabela 2) pôde-se perceber que, em relação ao teor inicial de N nos resíduos coletados estacionalmente, ocorreu uma diminuição no seu teor no verão (03/2002) e mais acentuadamente no outono (06/2002). Para o inverno e primavera, os teores de N no resíduo tenderam a aumentar sua participação, chegando, em dezembro, a um teor próximo ao inicial, para ambas as áreas de pesquisa. No segundo ano, um aumento gradativo no teor proporcional de nitrogênio foi verificado nas duas áreas.

Tabela 2. Teores de Carbono, Nitrogênio e relação C/N no resíduo instalado sobre o solo em *litter-bags* e recolhidos após 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24 meses de campo. Camará do Sul (RS)

Data de Coleta	Local	C org. (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	Relação C/N
Teor Inicial		386	3,40	113,5
03/2002 – Verão	Plantio	397	2,90	136,9
	Floresta	350	2,51	139,4
06/2002 – Outono	Plantio	400	2,11	189,6
	Floresta	389	2,19	177,6
09/2002 – Inverno	Plantio	400	2,58	155,0
	Floresta	407	2,41	168,9
12/2002 – Primavera	Plantio	405	3,27	123,9
	Floresta	399	3,23	123,5
03/2003 – Verão	Plantio	422	4,78	88,3
	Floresta	450	3,89	115,7
06/2003 – Outono	Plantio	433	4,37	99,1
	Floresta	441	4,13	106,8
09/2003 – Inverno	Plantio	417	5,46	76,4
	Floresta	438	4,03	108,7
12/2003 – Primavera	Plantio	435	5,07	85,8
	Floresta	449	4,68	95,9

Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, a partir da instalação do experimento, ocorreu um consumo ou perda de N, o que pode ser decorrente da precipitação (lavagem) do material. Também a menor atividade microbiana no período do inverno (devido às baixas temperaturas), conforme exposto em Serrana (2000) e Larcher (2000), pode ter ocasionado redução na concentração de nitrogênio no resíduo, neste período. A partir daí, com o aumento da temperatura e, conseqüentemente, da população de organismos decompositores, os teores de N passaram a aumentar.

Esse aumento na concentração de N, a partir do avanço da liberação (decomposição) do resíduo, deve ser analisado em função da relação C/N, uma vez que o avanço do processo de decomposição faz com que o carbono seja liberado, como componente dos resíduos perdidos e o N permaneça por maior tempo junto ao resíduo remanescente, na biomassa de microorganismos, fazendo com que a proporção de N aumente no resíduo remanescente, baixando a relação C/N. Em situações onde o resíduo apresenta alta relação C/N, como nesse caso, todo o N disponível é aproveitado pela biomassa microbiana, uma vez que o pouco N do resíduo não pode ser dispensado pela biomassa microbiana que, caso contrário, não teria outra alternativa de suprimento de tal nutriente (LARCHER, 2000).

Apesar da ocorrência de um pequeno aumento da concentração de C com o passar do tempo, tal fato ocasionou uma diminuição da relação C/N em função do aumento da proporção de N no resíduo, por meio da manutenção do mesmo nos *litter-bags*, pela intensificação da atividade dos microorganismos decompositores, fazendo baixar a relação C/N.

Os teores de C apresentaram uma tendência de aumento, porém pouco expressiva, durante o transcorrer da pesquisa. Esse fato é esperado em função da maior liberação do elemento via decomposição e sua menor fixação, em função do menor contato com os constituintes do solo (PAVINATO, 1993; MONTEIRO, 2004). A relação C/N do resíduo mostra que ocorre um aumento da mesma, em relação ao inicial, em março (verão), chegando a um pico em junho (outono), devido principalmente às perdas ocorridas na concentração de N, aspecto discutido anteriormente. A partir de setembro, inicia-se uma diminuição gradativa na relação, chegando a valores próximos ao inicial em dezembro (primavera). Durante o segundo ano de estudo, a relação C/N do resíduo apresentou diminuições gradativas, chegando a valores de 85 e 95, na área de plantio e na floresta de 4,5 anos, respectivamente, ao final do estudo.

Estes valores representam um significativo ganho na velocidade de decomposição dos resíduos, com base no valor inicial, porém ainda não são valores ideais para que a decomposição se processe em velocidade semelhante à serapilheira de uma floresta natural, por exemplo. Nestas condições, o resíduo estudado apresenta uma menor "atratividade" para a fauna decompositora, que tende a usar materiais como estes somente em casos de maior necessidade. Com o avanço do estágio de decomposição do material, a relação tende a diminuir, tornando o material mais atrativo.

Porém, o retorno de C e N ao solo é um aspecto muito significativo a ser ressaltado (Tabela 3), pois o material distribuído sobre o solo das áreas experimentais devolveu, em ocasiões de mais intensa decomposição, como no verão, mais de uma tonelada de carbono a cada hectare. Isso representa o retorno de

Tabela 3. Quantidade de biomassa de resíduos decomposta a cada estação do ano e de Carbono e Nitrogênio retornada ao solo via decomposição em *litter-bags*, em áreas sob plantios de *Pinus taeda* em Cambará do Sul (RS)

Área de estudo	Plantio (kg ha ⁻¹)			Floresta de 4,5 anos (kg ha ⁻¹)		
	Estação/ano	Resíduos ¹	C org. ²	N total ³	Resíduos	C org.
Verão/2002	2437,5	967,69	7,07	2435	852,25	6,11
Outono/2002	1550,0	620,02	3,27	1978,95	769,81	4,33
Inverno/2002	384,5	153,81	0,99	265,56	108,08	0,64
Primavera/2002	732,3	296,58	2,39	1135,92	453,23	3,67
Verão/2003	2650,1	1118,34	12,67	629,25	283,16	2,45
Outono/2003	569,1	246,42	2,49	124,32	54,83	0,51
Inverno/2003	767,1	319,89	4,19	1122,45	491,63	4,52
Primavera/2003	356,4	155,02	1,81	295,98	132,89	1,39
TOTAL	9447,0	3877,8	34,9	7987,4	3145,9	23,6

Nota: 1. refere-se à quantidade de resíduos decomposta a cada estação, com base em 25,0 Mg ha⁻¹ de adição inicial e descontadas a decomposição das coletas anteriores; 2: Carbono orgânico; 3: Nitrogênio total

parte do material retirado na colheita. Ao final do período de estudo, a quantidade de carbono orgânico devolvida ao solo via decomposição dos resíduos alcançou 3877,8 e 3145,9 kg ha⁻¹, no plantio e na floresta de 4,5 anos, respectivamente. Em relação ao nitrogênio, a quantidade devolvida foi de 34,9 e 23,6 kg ha⁻¹, na mesma ordem das áreas.

De forma comparativa, retorno anual de C ao solo como os encontrados nesse estudo (1938,9 e 1572,9 kg ha⁻¹, no plantio e na floresta de 4,5 anos, respectivamente) via deposição de serapilheira, são semelhantes aos estudos de Schumacher et al. (2008), realizado em plantio de *Pinus taeda* com cinco a sete anos de idade; e Poggiani et al. (1987), em *Pinus taeda* aos sete a nove anos de idade. Para o N, os valores devolvidos ao solo, via resíduos, são inferiores aos devolvidos via serapilheira, conforme os estudos citados anteriormente.

Dessa forma, durante o transcorrer da rotação, acredita-se que a distribuição dos resíduos sobre o solo dos plantios florestais seja compensadora, pelo retorno de C, N e também dos demais nutrientes contidos no

resíduo, ao solo, de forma auxiliar às demais vias de retorno de nutrientes ao solo no ciclo biogeoquímico, o que poderá promover um aumento na taxa de crescimento das árvores, além de vários outros benefícios ambientais advindos da distribuição dos resíduos sobre o solo, tais como a proteção física contra a erosão, melhoria na agregação, porosidade, auxílio no controle da mata-competição, entre outros.

Conclusões

A liberação de resíduos para o solo, ao final de dois anos de avaliação, foi maior na área de plantio do que na área de floresta, apesar de ambas as áreas apresentarem uma decomposição relativamente lenta. Em dois anos de estudo, foram liberados ao solo, no plantio, quantidades de resíduos, carbono orgânico e nitrogênio total superiores à floresta com 4,5 anos, mostrando maior adequação da primeira área à prática de espalhamento de resíduo proveniente da serraria.

A variação da composição nutricional quanto a C e N nos resíduos coletados

estacionalmente nas áreas de estudo mostra liberação proporcional de C e manutenção do N no resíduo remanescente, fazendo baixar lentamente a relação C/N e do resíduo.

A distribuição do resíduo sobre o solo, antes ou no momento do plantio das mudas,

seria o melhor meio de ciclar nutrientes e favorecer a decomposição dos resíduos, pois facilita a distribuição mecânica do material, além de propiciar maior velocidade de decomposição no tempo, promovendo a ciclagem desses nutrientes durante a rotação.

Referências

BLUM, L. E. B.; AMARANTE, C. V. T.; GÜTTLER, G.; MACEDO, A. F.; KOTHE, D. M.; SIMMLER, A. O.; PRADO, G.; GUIMARÃES, L. S. Produção de moranga e pepino em solo com incorporação de cama aviária e casca de pinus. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 627-631. 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306p. 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS – IPAGRO. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, 1989. v. 3.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531p.

LOWMAN, M. D. Litter fall and leaf decay in three Australian rainforest formation. **Journal of Ecology**, Londres, v. 76, p. 451-465, 1988.

MALAISSÉ, F.; FRESON, R.; GOFFINET, G.; MALAISSÉ - MOUSSET, M. Litter fall and litter breakdown in Miombo. In: GOLLEY, F. B.; MEDINA, E.). Berlin: [s/n], 1975. p. 137-152.

MASON, C. F. **Decomposição** (Coleção temas de biologia, v. 18). Trad.: Otávio Antonio de Camargo. São Paulo, p. 3-15. 1980.

MEGURO, M.; VINUEZA, G. N.; DELITTI, W. B. C. Ciclagem de nutrientes minerais na Mata Mesófila Secundária – São Paulo. III Decomposição do material foliar e liberação dos nutrientes minerais. **Boletim de Botânica**, Universidade de São Paulo, v. 8, p. 7-20, 1980.

MIKOLA, P. M. Comparative experiment on decomposition rates of litter in southern and northern Finland. **Oikos**, Londres, v. 2, n. 1, p. 161-166, 1960.

MIRANDA, G. A.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COUTO, L.; TEIXEIRA, J. L. Produção de povoamentos de eucalipto em regime de talhadia, em função da adubação e da distribuição da galhada da rotação anterior, no Vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 307-314. 1998.

MONTEIRO, K. F. G. **Utilização de madeira como cobertura no solo: estudo de caso de um sistema agroflorestal no estado do Pará.** 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2004.

OLIVEIRA, R. R. **Produção e decomposição de serapilheira no Parque Nacional da Tijuca – Rio.** 1987. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Instituto Florestal, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1987.

ODNEAL, M. B.; KAPS, M. L. Fresh and aged pine bark as soil amendments for establishment of highbush blueberry. **Horticultural Science**, Alexandria, v. 25, n. 10, p. 1228-1229, 1990.

PAVINATO, A. **Teores de Carbono e Nitrogênio do solo e produtividade de milho afetados por Sistemas de Culturas.** 1993. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO JR., E.; GAVA, I. C. Quantificação da deposição de folheto em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, Piracicaba, v. 37, p. 21-29, 1987.

POSONSKI, M. **Impactos silviculturais, ambientais e econômicos do descarte de resíduos de madeira em plantios de *Pinus elliottii*.** 2005. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *E. grandis* plantado no Cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, p. 149-162. 1985.

SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M.; VITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 471-480. 2008.

SERRANA FERTILIZANTES. **Boletim Técnico Fertilizantes: Dinâmica do Nitrogênio no Solo.** Maio, 2000. 6 p. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/3188358/Dinamica-do-Nitrogenio-no-Solo>>. Acesso em: 05 jan. 2009.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, RS: Emater, RS/UFRGS, 2002. 107 p.

SUTILI, F. J.; SCHUMACHER, M. V. Perda de peso e conteúdo de nutrientes minerais do folheto de uma floresta estacional decidual durante a decomposição. Santa Maria: Laboratório de Ecologia Florestal-CCR-UFSM. 2002. 16 p. **(Relatório de Pesquisa).**

SWIFT, M. J.; RUSSEL-SMITH, A.; PERFECT, T. J. Decomposition and mineral nutrient dynamics of litter in a regenerating bush-fallow in sub-humid tropical Nigeria. **Journal of Ecology**, Londres, v. 69, p. 981-995, 1984.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS. 118 p. (Boletim Técnico). 1995.

VUONO, Y. S.; DOMINGOS, M.; LOPES, M. I. M. S. Decomposição da serapilheira e liberação de nutrientes na floresta da Reserva Biológica de Paranapiaçaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão. São Paulo, Brasil. **Hochnea**, São Paulo, v. 16, p. 179-193, 1989.