



## Balanço de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus saligna* implantado sobre Cambissolo Háplico no RS

**Michael Mazurana<sup>1</sup>, José Baptista<sup>2</sup>, Renato Levien<sup>3</sup> & Osmar Conte<sup>4</sup>**

### RESUMO

A fragilidade de um sistema florestal pode ser avaliada através do balanço de nutrientes, destacando a eficiência da ciclagem sendo que, em certos casos, a adubação deve ser utilizada para manter ou elevar a produtividade do sistema. Objetivou-se com este estudo avaliar o comportamento de diferentes sistemas de preparo de solo em Cambissolo Háplico e sua influência nas perdas de nutrientes transportados por erosão em área cultivada com *Eucalyptus saligna*. Os tratamentos foram constituídos por quatro métodos de preparo do solo: subsolagem interrompida com resíduo (SIR), subsolagem contínua com resíduo (SCR), subsolagem contínua sem resíduo (SSR) e coveamento mecânico (CME), em delineamento de blocos ao acaso com três repetições por tratamento. O sistema SSR apresentou as maiores perdas de nutrientes quando comparadas com as dos outros métodos de preparo de solo. As maiores perdas de nutrientes pela erosão hídrica foram, pela ordem, K > Ca > Mg > P > Cu > B. Os sistemas de preparo SIR e SSR apresentaram os maiores teores de nutrientes contidos na parte aérea e o menor balanço nutricional, respectivamente.

**Palavras-chave:** preparos de solo, nutrição mineral, erosão do solo

## Nutrient balance in plantation of *Eucalyptus saligna* planted on Inceptisol in Rio Grande do Sul

### ABSTRACT

The forest system fragility can be evaluated through nutrient balance, with an emphasis in the cycling efficiency to maintain or elevate of productivity of system. The objective of this study was to evaluate the effects of different soil tillage systems on nutrient losses transported by erosion on an Inceptisol with *Eucalyptus saligna*. Four tillage systems were tested: interrupted deep chiseling with residue (SIR), continuous deep chiseling with residue (SCR), continuous deep chiseling without residue (SSR) and mechanical pitting (CME). The SIR system showed the greatest nutrient losses. The loss of nutrients was higher by water erosion, in the following order, K > Ca > Mg > P > Cu > B. SIR and SSR tillage systems had the highest levels of nutrients in shoots and lower nutritional balance, respectively.

**Key words:** soil tillage, mineral nutrition, soil erosion

<sup>1</sup> Mestrando do PPGCS/UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS. Fone: (51) 3308-7425. E-mail: michael.mazurana@gmail.com

<sup>2</sup> PPGCS/UFRGS. Fone: (51) 2139-7499. E-mail: jbaptista@cmpcrs.com.br

<sup>3</sup> PPGCS/UFRGS. Fone: (51) 3308-7425. E-mail: renatole@ufrgs.br

<sup>4</sup> Doutorando PPGCS/UFRGS. Fone: (51) 3308-7425 E-mail: agriconte@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A grande variabilidade espacial do solo brasileiro, associada à diversidade climática e potencial erosivo das chuvas aumenta as chances de ocorrência da erosão do solo e, conseqüentemente, perda de nutrientes (Bertol et al., 2002).

Os resíduos culturais sobre o solo funcionam como uma camada isolante entre a atmosfera e o solo, com importantes efeitos sobre a economia de água e nutrientes do sistema. Esses efeitos são diretamente proporcionais às quantidades de resíduos produzidos pelas culturas e acumulados na área, as quais dependem da produtividade da cultura naquele local e das práticas de manejo de resíduos adotadas, favorecendo o controle da erosão hídrica (Barros et al., 2009). Além disso, as quantidades de nutrientes contidas na copa das árvores (folhas e galhos), na casca e serapilheira, principais componentes dos resíduos florestais, representam uma percentagem muito significativa do estoque de nutrientes de uma plantação florestal conforme relatam Rachwal et al. (2007).

Em sistemas conservacionistas a cobertura superficial proporcionada ao solo é mais eficiente no controle da erosão do solo do que em cultivos convencionais, com pouca ou ausência de cobertura (Bertol et al., 2004a). Quando associado às técnicas de preparo conservacionistas de solo visando o rápido crescimento do sistema radicular, ocorre uma facilitação na absorção de água e nutrientes pelas plantas, eliminando também plantas indesejáveis próximas às mudas, evitando a competição (Barros et al., 2003).

As perdas de nutrientes por erosão hídrica podem ser expressas tanto em concentração do elemento na enxurrada e no sedimento, como em quantidade perdida por área (Schick et al., 2000) sendo que a quantidade de elementos na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo transportado (Seganfredo et al., 1997; Schick et al., 2000).

No processo de erosão hídrica, alguns nutrientes podem apresentar maiores concentrações no sedimento e outros na solução, como observado por Bertol et al. (2004b). Em povoamentos de eucalipto cultivados em Latossolo Vermelho Distroférico, Brito (2004) determinou a perda de nutrientes por erosão hídrica em diversos tipos de manejo, a qual foi muito baixa. Mackensen & Föslter (2000) avaliaram a perda de nutrientes em florestas comerciais de *Eucalyptus deglupta*, sendo que os valores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) perdidos por erosão hídrica acima de 0,1; 1; 4 e 4 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, podem indicar um cenário de alto impacto enquanto que abaixo desses valores, cenário de médio a baixo impacto.

Em povoamentos florestais do Estado de São Paulo, Gonçalves (1995) verificou que cerca de 51 a 82% dos nutrientes da biomassa florestal, presentes acima da superfície do solo, estavam contidos nos resíduos florestais. Por outro lado, Maluf (1991) verificou que a queima de resíduos florestais na região dos Cerrados resultou na perda de 88% de nitrogênio (N), 33% de P, 30% de K, 47% de Ca e 43% de Mg, do conteúdo total de nutrientes presentes nesses resíduos.

Em estudos realizados por Grohmann & Catani (1949) sob um solo Podzolizado de Lins e Marília, SP, contataram que o solo transportado pela erosão possuía duas vezes mais matéria

orgânica, 2,8 vezes mais P, 2,3 mais K e 1,9 mais Ca do que o solo original (camada de 0-20 cm), devido ao arraste laminar da camada superficial do solo (0-5 cm). Resultados semelhantes de perda de solo da camada mais fértil do solo foram obtidos por Oyarzun (1994) em área cultivada com *Pinus* spp.

Dessa forma, os preparos conservacionistas possibilitam maior retenção dos resíduos em superfície, promovendo aumento da tensão crítica de cisalhamento e, em conseqüência, a resistência do solo à erosão hídrica, perda de solo (Martins et al., 2003) e ciclagem de nutrientes (Cassol et al., 2004).

Em florestas plantadas com eucalipto no Rio Grande do Sul, estudos em relação a perdas de nutrientes por erosão hídrica são incipientes, havendo carência de dados neste campo do conhecimento.

Diante disso, as hipóteses que norteiam este estudo são as de que a menor mobilização de solo em áreas que receberão mudas de eucalipto reduz as perdas de solo, água e nutrientes e favorecendo o desenvolvimento das plantas, em virtude de reduzir estresses hídricos e nutricionais para a floresta.

Objetivou-se com este estudo avaliar o comportamento de sistemas de preparo de solo em Cambissolo Háplico do RS e sua influência nas perdas de nutrientes transportados pela água e por sedimentos em área com eucalipto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em outubro de 2006, em uma área experimental da Aracruz Celulose e Papel S.A (atual Celulose Riograndense Ltda.) no Horto Florestal Faxinal (coordenadas 30°17'59"S e 51°39'43"W), localizado no município de Arroio dos Ratos, na Região Fisiográfica da Depressão Central do Estado do RS, sobre um Cambissolo Háplico Tb distrófico léptico. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido com verão quente), com temperatura média anual de 14,9 °C, sendo a média das mínimas de 14,8 °C e a média das máximas 24,3 °C. A precipitação pluvial média anual é de 1.335 mm apresentando, frequentemente, deficiência hídrica nos meses de novembro a março.

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com três repetições e com 16 plantas por parcela, em área anteriormente cultivada com eucalipto. A floresta anterior povoada por *Eucalyptus grandis* foi colhida com 15 anos e possuía um espaçamento médio de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas da mesma linha. Na colheita foi utilizado processador Harvester para o corte e descascamento das árvores, dispondo o resíduo na superfície do solo, enquanto para a retirada da madeira no interior do talhão foi utilizado um veículo Forwarder.

As parcelas possuíam 6 m de largura e 22 m de comprimento (no sentido do declive). Como tratamentos foram testados quatro métodos de preparo do solo: subsolagem interrompida com resíduo (SIR), subsolagem contínua com resíduo (SCR), subsolagem contínua sem resíduo (SSR) e coveamento mecânico (CME), totalizando doze parcelas. No entanto, em apenas um bloco (quatro parcelas) foram instalados os equipamentos para avaliação das perdas de nutrientes por erosão hídrica.

Utilizou-se para o tratamento CME, uma broca com 45 cm de diâmetro trabalhando a uma profundidade de 60 cm, acoplada a um trator Massey Ferguson, modelo 275, com 75 cv de potência no motor. Para os sistemas de preparo SIR, SCR e SSR empregou-se um subsolador de três hastes tracionado por um trator de esteiras Komatsu, modelo D50, com 90 cv de potência. A haste central possuía o comprimento de 65 cm e largura da ponteira de 20 cm, com hastes laterais de 50 cm de comprimento e ponteiros de mesmas dimensões da haste principal.

No sistema de preparo SIR, o subsolador acima descrito era levantado de 3 em 3 metros, aproximadamente, para dar descontinuidade ao preparo, acumulando assim uma parcela de resíduos a cada 3 metros. Para o sistema de preparo SCR o resíduo que se acumulava na frente das hastes por razão da subsolagem foi distribuído de forma uniforme na parcela, mantendo a superfície do solo coberta. Por outro lado, para o sistema de preparo SSR todo o resíduo foi arrastado para fora das parcelas com auxílio das hastes do escarificador e as sobras foram retiradas manualmente para deixar a superfície do solo totalmente descoberta. Todos os preparos foram realizados no sentido do declive em função da disposição das linhas de eucalipto do ciclo anterior.

Em cada parcela foram plantadas duas linhas de *Eucalyptus saligna*, sendo que cada linha possuía oito mudas no espaçamento de 5,5 m entre plantas e 3,0 m entre linhas, ocupando cada um dos sistemas de preparo de solo uma área de 132 m<sup>2</sup>, totalizando cada bloco com os quatro sistemas de preparo, a área total de 528 m<sup>2</sup>.

Imediatamente após os preparos e plantio das mudas de eucalipto, calcularam-se as entradas de nutrientes via fertilização e precipitação e as saídas de nutrientes no solo erodido, pela enxurrada e pela remoção dos resíduos.

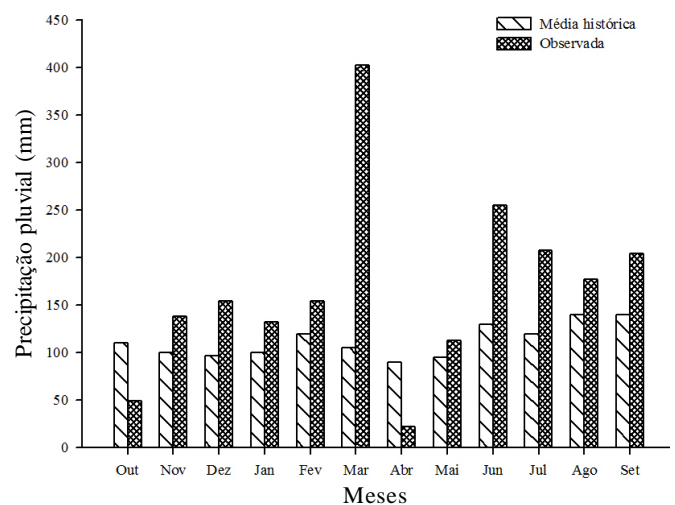
Em termos de aporte de nutrientes ao sistema, via fertilização, aplicou-se calcário dolomítico (1,5 Mg ha<sup>-1</sup>, PRNT de 65%) (CQFS, 2004) antes do preparo para correção da acidez do solo. No momento do preparo de solo foi aplicado 0,4 Mg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural reativo com 31,2% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total. No tratamento CME, o fosfato foi aplicado manualmente na dose de 0,36 kg por cova. Após o plantio das mudas realizou-se uma adubação de “arranque”, em covas laterais a muda, utilizando-se 0,11 kg de fertilizante com formulação NPK 06-30-06 por planta, o que equivale a 66,7 kg de fertilizante por hectare. Quatro meses após o plantio foram aplicados 0,15 kg de fertilizante com formulação NPK 15-05-30 por muda, distribuídos na projeção da copa das plantas, equivalendo a 91 kg de fertilizante por hectare.

Para avaliar a contribuição de nutrientes ao solo via precipitação, coletaram-se 12 amostras de chuva para análises químicas de macro e micronutrientes, a quais foram realizadas pelo Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Referentes às saídas de nutrientes do sistema foram analisadas a extração pelas plantas e as perdas de solo por erosão. A extração pelas plantas foi calculada com base na biomassa vegetal total produzida ao longo de 12 meses. As árvores foram derrubadas, pesadas no campo e uma amostra foi levada para o laboratório, para secagem em estufa em

temperatura de 106 °C até peso constante. Depois de trituradas, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, para a análise dos teores de P, K, Ca, Mg, Cu e B, segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

As coletas de amostras de solo e de água, para avaliação de perdas de nutrientes por erosão, foram feitas dentro dos tanques coletores instalados na parte inferior das parcelas, que recebiam o fluxo de escoamento de calhas coletoras de enxurrada. As parcelas foram cercadas com chapas galvanizadas cravadas 0,20 m no solo e as amostras coletadas foram enviadas ao Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, para determinação dos teores de K, Ca, Mg, Cu e B, segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Analisaram-se amostras de 11 eventos significativos com precipitação pluviométrica acima de 22 mm ocorridos no período de 12 meses (Figura 1).



**Figura 1.** Eventos significativos de precipitação pluviométrica observados no decorrer do período no qual foram coletadas amostras de água para análise e média histórica da região

Para cálculo da quantidade de nutrientes erodidos contidos na água e no solo no período de 12 meses, considerou-se a média das concentrações químicas dos eventos anteriores e posteriores para aqueles eventos nos quais não foi feita a análise química do material erodido. Calculou-se a perda total anual de nutrientes pela soma das perdas das 27 coletas de erosão ocorridas e analisadas quimicamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aporte de nutrientes na área se deu via reservas do solo, precipitação pluviométrica e aplicação de fertilizantes químicos. Embora o volume de chuva tenha sido elevado (Figura 1) em 80% do período, quando comparado com a média histórica da região, sua contribuição como fonte de fertilizantes não foi significativa, sendo a aplicação de fertilizantes químicos a de maior significância para o sistema (Tabela 1).

De acordo com a Figura 1 é possível observar que, nos meses de outubro e abril, a precipitação pluviométrica ficou entre 56 e 75% abaixo da média histórica para a região. Por

**Tabela 1.** Balanço anual dos nutrientes aportados externamente e extraídos na área, em diferentes sistemas de preparo de solo em plantação de *Eucalyptus saligna*

	Nutrientes, kg ha <sup>-1</sup>						
	P	K	Ca	Mg	Cu	B	
	Entrada						
Ppt	0,20	0,50	0,60	0,30	0,024		0,042
Fert.	200,30	39,80	525,00	240,00	0,300		0,110
Solo	25,20	549,30	430,30	571,10	-		-
Total	225,70	589,60	955,90	811,40	0,324		0,152
	Saída*						
SIR	6,32	37,92	66,98	15,25	0,053		0,152
SSR	8,62	68,78	128,75	21,69	0,099		0,253
SCR	7,48	49,17	79,05	14,65	0,061		0,183
CME	4,22	18,53	29,91	6,42	0,030		0,081
	Balanço						
SIR	219,38	551,68	888,92	796,15	0,271		0,000
SSR	217,08	520,82	827,15	789,71	0,225		-0,101
SCR	218,22	540,43	876,85	796,75	0,263		-0,031
CME	221,48	571,07	925,99	804,97	0,294		0,071

\* Erosão do solo, perda de água e armazenamento na parte aérea: Ppt – precipitação; Fert. – fertilizantes aplicados; SIR – subsolagem interrompida com resíduos; SSR – subsolagem contínua sem resíduos; SCR – subsolagem contínua com resíduos e CME – covameento mecânico

outro lado, para os demais meses a variação pluviométrica foi maior em 19% para o mês de maio, até 283% para o mês de março, o que pode interferir diretamente no desenvolvimento das plantas de eucalipto, sobretudo neste tipo de solo, que tem baixa capacidade de armazenamento de água.

O déficit de água ocorrido logo após o plantio (outubro) pode comprometer o estabelecimento do dossel, ocasionando morte de plantas. Por outro lado, a abundância de água no sistema nos meses seguintes pode ter ocasionado perdas de nutrientes em função da lixiviação ou percolação, devido à baixa capacidade de retenção de cátions e ânions do solo e da baixa capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, que estão em início de desenvolvimento.

Gaitán et al. (2005) analisando a distribuição de raízes finas de *Eucalyptus globulus* spp. *maidenii* e sua relação com algumas propriedades físico-químicas de um Argiudol típico destacam que a distribuição das raízes finas responsáveis pela absorção de água e nutrientes estava estritamente relacionada com as propriedades físico-químicas do solo. Além disso, a maior parte destas raízes se encontrava nos primeiros 20 cm de solo, em que as condições eram mais favoráveis ao desenvolvimento. A presença de horizontes com maior acúmulo de argila reduziu severamente o crescimento das raízes, limitando a absorção de água e nutrientes pelas raízes.

Com base nos resultados da análise de solo foi possível visualizar suas condições químicas (Tabela 1). Dessa forma, o solo apresentou níveis muito baixo, baixo e médio para os nutrientes P, Ca e Mg, respectivamente (CQFS, 2004), balizando, assim, a aplicação de fertilizantes no sistema.

Do total de nutrientes adicionados, a maior parte (99%) constitui macronutrientes como P, K, Ca e Mg (Tabela 1) e, em menor quantidade mas de elevada importância para o desenvolvimento das plantas de eucalipto, micronutrientes (Cu e B). Por ser originado de rocha granítica, a qual tem sua composição mineral feldspato, o solo apresenta grande quantidade de potássio, além de outros minerais como o cálcio (Meurer, 2004), explicando a menor quantidade deste nutriente aplicado via fertilizante (Tabela 1). Em vista da baixa disponibilidade natural, os demais nutrientes foram supridos

por fontes externas para manter o desenvolvimento satisfatório das plantas.

As saídas de nutrientes se deram via erosão de solo e armazenado na parte aérea das plantas de eucalipto, sendo que dos nutrientes adicionados os que mais saíram da área foram, em ordem decrescente o Ca > K > Mg > P > Cu > B. A maior parcela de nutrientes extraídos da área ocorreu por meio da biomassa florestal (Tabela 2) sendo, em menor quantidade, perdidos por erosão (Tabela 3).

Dos nutrientes da parte aérea extraídos na forma de biomassa florestal, observa-se que não houve diferença significativa entre os sistemas de preparo de solo para os nutrientes P e Cu, sendo estes também os que apresentaram menor extração pelas plantas, juntamente com o B. Isso provavelmente se deve a menor demanda destes nutrientes para as plantas neste estágio de crescimento. Para os nutrientes K, Ca, Mg e B, analisados na parte aérea, não houve diferença significativa para os sistemas de preparo SSR e SCR, porém, constatou-se diferenças significativa entre os sistemas de preparo SIR e CME (Tabela 2). Essa diferença pode estar associada a uma possível redução no desenvolvimento radicular em função da não mobilização do solo em profundidade, corroborando com Barros et al. (2003) que apontam uma facilitação na absorção de água e nutrientes pelas plantas quando solo passa por preparos, como a mobilização.

Na Tabela 3 são apresentadas as saídas de fertilizantes via perda pelo transporte da água e ou sedimentos. Os nutrientes removidos (em ordem decrescente) pela enxurrada e contidos em solução foram o K > Ca > Mg > P > B > Cu, enquanto os nutrientes removidos junto aos sedimentos foram o Ca > Mg > K > P > Cu > B (Tabela 3). No entanto, dos nutrientes avaliados, as perdas totais em ordem decrescente se deram do K, Ca, Mg e P, corroborando com Silva et al. (2005) que, analisando perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural, evidenciaram perdas de nutrientes nessa mesma ordem.

Em sistemas agrícolas perdas de nutrientes foram avaliadas por Hernani et al. (1999) em diferentes sistemas de manejo de solo sob um Latossolo Vermelho distroférico. Segundo estes

**Tabela 2.** Teores de nutrientes contidos na parte aérea das plantas de *Eucalyptus saligna* cultivadas sobre Cambissolo Háplico Tb distrófico léptico em função de diferentes sistemas de manejo ao final de 11 meses de avaliação

Tratamento	Nutrientes, kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>					
	P	K	Ca	Mg	Cu	B
SIR	6,2 a	37,1 a	66,8 a	15,0 a	0,05 a	0,15 a
SSR	7,8 a	66,4 ab	125,9 ab	19,1 ab	0,08 a	0,24 ab
SCR	7,4 a	48,3 ab	78,7 ab	14,4 ab	0,06 a	0,18 ab
CME	4,2 a	17,8 b	29,8 b	6,4 b	0,03 a	0,08 b
CV (%)	34,7	29,9	38,0	25,0	28,40	53,40

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. SIR – subsolagem interrompida com resíduos; SSR – subsolagem contínua sem resíduos; SCR – subsolagem contínua com resíduos e CME – coveamento mecânico

**Tabela 3.** Perdas de nutrientes por erosão hídrica, avaliados na água e sedimentos por esta transportados

Tratamento	Erosão <sup>I</sup> Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Es <sup>II</sup> mm	Perdas de nutrientes, kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>					
			P	K	Ca	Mg	Cu	B
Água								
SIR	1,390		0,06	0,72	0,16	0,05	0,0015	0,0008
SSR	11,050		0,03	1,05	0,28	0,08	0,0007	0,0029
SCR	1,570		0,01	0,75	0,15	0,03	0,0002	0,0019
CME	0,160		0,01	0,73	0,11	0,02	0,0001	0,0014
Σ			0,11	3,25	0,70	0,18	0,0025	0,0070
Sedimentos								
SIR		30,8	0,06	0,10	0,20	0,20	0,0010	0,0010
SSR		98,1	0,79	1,30	2,60	2,50	0,0120	0,0100
SCR		35,1	0,07	0,10	0,20	0,20	0,0010	0,0010
CME		32,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000
Σ			0,93	1,50	3,00	2,90	0,0140	0,0120
Total								
SIR			0,12	0,82	0,18	0,25	0,0025	0,0018
SSR			0,82	2,35	2,88	2,58	0,0127	0,0129
SCR			0,08	0,85	0,35	0,23	0,0012	0,0029
CME			0,02	0,73	0,11	0,02	0,0001	0,0014
Σ			1,04	4,75	3,70	3,08	0,0165	0,0190

I – Erosão observada nas parcelas; II – Escoamento superficial; SIR – subsolagem interrompida com resíduos; SSR – subsolagem contínua sem resíduos; SCR – subsolagem contínua com resíduos e CME – coveamento mecânico

autores, a concentração de Ca e Mg na água da enxurrada foi maior em solução, enquanto a de P e K foi maior no sedimento. Resultados semelhantes foram observados por Bertol et al. (2004b). Deste modo, o comportamento observado das perdas de nutrientes nas condições deste experimento, se mostra contrário aos resultados constatados por Hernani et al. (1999).

No caso dos nutrientes removidos pelo escoamento de água nota-se haver uma perda maior para de cátions monovalentes seguidos de cátions bi e trivalentes, passando por ânions como fósforo e boro. Isso provavelmente se deve ao maior poder de ligação dos sítios de adsorção no solo por cátions trivalentes, em relação a cátions bivalentes e monovalentes (Sparks, 2005). Por outro lado, essa maior força de ligação dos sítios de adsorção no solo, pode enriquecer o sedimento de saída, que é arrastado pela água para cotas mais baixas no terreno, caracterizando uma erosão de caráter seletivo.

O tratamento SSR foi o que apresentou a maior perda de nutrientes por erosão, tanto pelo escoamento superficial de água como pelo arraste junto aos sedimentos, comparativamente com os demais sistemas de preparo, fato que ocorreu devido à ausência de material vegetal cobrindo a superfície do solo mobilizada pela escarificação. A energia cinética das gotas de chuva atuando sobre os agregados expostos, leva ao colapso dos mesmos, gerando selamento superficial do solo, reduzindo a taxa de infiltração de água no solo, aumentando o escoamento

superficial e potencializando a perda de solo e nutrientes nele contido, como relatado por Cogo et al. (2003).

Os sistemas de preparo SIR, SCR e CME apresentaram perdas de nutrientes menores que o SSR, quando da análise dos nutrientes na água e no sedimento. Considerando os nutrientes na água escoada das parcelas, o sistema de preparo SIR apresentou maior perda, quando comparado ao SCR, sendo observado comportamento inverso para as perdas de nutrientes contidas no sedimento. A hipótese para este fato é a de que, no sistema de preparo SIR, devido à interrupção frequente da escarificação pela presença de resíduos, a massa de resíduo acumulada a certa distância tornou-se uma barreira natural ao fluxo laminar de água. Quando esta alcança a barreira de resíduos, há uma filtragem dos sedimentos nela contidos, passando uma fração de água na qual, elementos minerais estariam diluídos, sendo levados para fora da área.

Por outro lado, no momento em que há uma distribuição uniforme dos resíduos sobre a superfície do solo, a energia cinética da gota de chuva é dissipada, o colapso dos agregados e o arraste de partículas de solo são menores e dificultadas pela presença dos resíduos. Com isto, partículas de solo são carregadas pelo fluxo laminar de água para fora das parcelas em menor quantidade e, havendo minerais adsorvidos a essas partículas de solo, há perda de nutrientes, entretanto em quantidades reduzidas.

Analisando os sistemas de preparo verifica-se que, na medida em que os resíduos são distribuídos uniformemente sobre a superfície do solo, ocorre redução do escoamento superficial de água e, conseqüentemente, redução de arraste de sedimentos, reduzindo as perdas de nutrientes por erosão, corroborando com Cassol & Lima (2003). Esses autores estudando as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho submetido a chuvas naturais verificaram que em sistemas de semeadura sem preparo do solo com alta taxa de cobertura, as perdas de água nas áreas em entressulcos são consideravelmente reduzidas em relação ao solo descoberto.

Neste sentido o sistema CME que teve baixa mobilização de solo, a permanente cobertura do solo com resíduos vegetais e os nutrientes foram dispostos na cova de plantio da muda foi o que apresentou a menor perda de nutrientes.

A análise do balanço dos fertilizantes que compuseram a base química para desenvolvimento das plantas de eucalipto (entradas e saídas) é apresentada na Tabela 1. Em alguns tratamentos (SSR e SCR) o nutriente B, apresentou saldo negativo no balanço final, indicando que a quantidade extraída foi maior que a quantidade aportada. No entanto, não foram verificados, visualmente, sintomas que pudessem caracterizar deficiência de nutrientes para as plantas de eucalipto, fato confirmado pela análise foliar desse elemento na planta indicando nível adequado do mesmo.

Relacionando as entradas de fertilizantes com a média das saídas para cada nutriente, independentemente do sistema de preparo de solo utilizado, observou-se uma saída de 2,9; 7,4; 8; 1,9 e 18,75% do total adicionado para os nutrientes P, K, Ca, Mg e Cu, respectivamente (Tabela 1). Por outro lado, para o nutriente B, observou-se uma saída 10% maior que o aporte destes nutrientes, respectivamente. Embora as saídas de P, K, Ca, Mg e Cu tenham sido baixas, se comparado ao total adicionado, processos de imobilização dos mesmos pelo solo formando complexos de esfera interna ou externa (Meurer, 2004) e pela biomassa microbiana, diminuem a disponibilidade destes elementos para o desenvolvimento das plantas. Sabendo que o K exerce funções de manutenção de turgor celular e expansão celular, enquanto o B atua, entre outros fatores, na síntese e estruturação da parede celular e nos processos de lignificação, sua deficiência é identificada pela quebra de ponteiros e má-formação de folhas jovens. Tais sintomas não foram verificados no campo.

Analisando o balanço total de nutrientes entre os tratamentos avaliados, as maiores saídas de nutrientes se deram na ordem SSR > SCR > SIR > CME. A explicação para isto é que a ausência de resíduo permitiu uma profundidade maior de atuação das hastes do subsolador, aumentando o volume de solo preparado e também o seu grau de mobilização, melhorando então as condições físicas para o crescimento inicial do sistema radicular das mudas de *E. saligna*. Em seus estudos, Wichert (2005) verificou os efeitos positivos da subsolagem no crescimento inicial do eucalipto, contrapondo as observações de Dedecek et al. (2007) não observaram diferenças no crescimento de plantas de eucalipto. Somam-se a isto, as discussões acima realizadas de perdas de elementos nutrientes pela erosão.

## CONCLUSÕES

1. As maiores perdas de nutrientes pela erosão hídrica foram, pela ordem,  $K > Ca > Mg > P > Cu > B$ .
2. A subsolagem sem resíduo apresentou as maiores perdas de nutrientes, comparado aos outros métodos de preparo de solo.
3. No período analisado o sistema de preparo subsolagem interrompida com resíduos apresentou os maiores teores de nutrientes contidos na parte aérea das plantas de *Eucalyptus saligna*.
4. A subsolagem contínua sem resíduo apresentou o balanço nutricional mais negativo, demonstrando a importância da manutenção dos resíduos de colheita no campo.

## LITERATURA CITADA

- Barros, L. S.; do Vale Junior, J. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Mourão Junior, M. Perdas de solo e água em plantio direto de acácia mangium Wild e savana em Roraima, Norte da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.447-454, 2009.
- Barros, N. F.; Neves, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, v.27, p.635-646, 2003.
- Bertol, I.; Guadagnin, P. C.; Cassol, P. C.; Amaral, A. J.; Barbosa, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.485-494, 2004b.
- Bertol, I.; Leite, D.; Guadagnin, J. C.; Ritter, S. R. Erosão hídrica de um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.1045-1054, 2004a.
- Bertol, I.; Schick, J.; Batistela, O.; Leite, D.; Amaral, A. J. Erodibilidade de um Cambissolo húmico aluminico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.465-471, 2002.
- Brito, L. F. Erosão hídrica de Latossolo Vermelho distrófico típico em área de pós-plantio de eucalipto na região de Guanhões (MG). Lavras: ESALQ, 2004. 78p. Dissertação Mestrado
- Cassol, E. A.; Cantalice, J. R. B.; Reichert, J. M.; Mondardo, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.685-690, 2004.
- Cassol, E. A.; Lima, V. L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.1, p.117-124, 2003.
- Cogo, N. P.; Levien, R.; Schwarz, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.743-753, 2003.
- CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo (Porto Alegre, RS). *Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa, 2004. 331p.

- Dedecek, R. A.; Curcio, G. R.; Rachwal, M. F. G.; Simon, A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). Revista Ciência Florestal, v.17, p.205-215, 2007.
- Gaitán, J. J.; Penón, E. A.; Costa, M. C. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* spp. *maidenii* y su relación con algunas propiedades del suelo. Revista Ciência Rural, v.15, p.33-41, 2005.
- Gonçalves, J. L. M. Características do sistema radicular de *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas (I Distribuição de raízes nas camadas de solo). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 21, 1995. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.876-878.
- Grohmann, F.; Catani, R. A. O empobrecimento causado pela erosão e pela cultura algodoeira no solo do arenito Bauru. Bragantia, v.9, p.125-132, 1949.
- Hernani, L. C.; Kurihara, C. H.; Silva, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.145-154, 1999.
- Martins, S. G.; Silva, M. L.; Curi, N.; Ferreira, M. M.; Fonseca, S.; Marques, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.395-403, 2003.
- Mackensen, J.; Föslter, H. Cost-analysis for a sustainable nutrient management of fast growing-tree plantations in East-Kalimantan, Indonesia. Forest Ecology and Management, v.131, p.239-253, 2000.
- Maluf, J. L. P. Efeito da queima, métodos de preparo do solo e da adubação no crescimento de *E. camaldulensis* em areia quartzosa. Viçosa: UFV, 1991. Dissertação Mestrado
- Meurer, E. J. Fundamentos de química do solo. 2.ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290p.
- Oyarzun, C. características físicas y químicas de los sedimentos erosionados desde suelos con plantaciones forestales. Bosque, Valdivia, v.15, p.31-38, 1994.
- Rachwal, M. F. G.; Dedecek, R. A.; Curcio, G. R.; Simon, A. A. Manejo dos resíduos da colheita de acácia-negra e a sustentabilidade do sítio. Revista Ciência Florestal, v.17, p.137-144, 2007.
- Schick, L.; Bertol, I.; Batistela, O.; Balbinot Júnior. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de Nutriente e carbono orgânico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.437-447, 2000.
- Seganfredo, M. L.; Eltz, F. L. F.; Brum, A. L. R. de. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em diferentes sistemas de culturas em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, p.287-291, 1997.
- Silva, A. M. da; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Lima, J. M. de; Avanzi, J. C.; Ferreira, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, p.1223-1230, 2005.
- Sparks, D. L. Environmental soil chemistry. 2.ed. EUA: University of Delaware, 2005. 345p.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p.
- Wichert, M. C. P. Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis* em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes métodos de preparo de solo no Vale da Paraíba-SP. Piracicaba: ESALQ, 2005. 83p. Dissertação Mestrado