

IPEF, n.38, p.5-16, abr.1988

ESCOAMENTO SUPERFICIAL, PERDAS DE SOLO E DE NUTRIENTE EM MICROPARCELAS REFLORESTADAS COM EUCALIPTO EM SOLOS ARENOSOS NO MUNICÍPIO DE SÃO SIMÃO, SP.

WALTER DE PAULA LIMA

ESALQ-USP, Departamento de Ciências Florestais
13.400 - Piracicaba - SP

ABSTRACT - Overland flow, and soil and nutrient losses were assessed during 4 years in 5 1/10 ha runoff plots in an area of sandy soils in the county of São Simão, State of São Paulo, One of the runoff plots was maintained without vegetation throughout the study period, as a control, while the other four were planted with **Eucalyptus grandis**, according to treatments that differed in soil preparation, spacing, and silvicultural treatments. In the first year, in January 1983, all runoff plots were submitted to the soil preparation, followed by the planting in the four reforested plots. The average results showed a very high value of overland flow and soil loss during this first year, ranging, respectively, from 1.7 to 3.2 percent of the precipitation, and from 1.0 to 10.4 ton/ha of soil loss⁵. As the trees grew, both overland flow and soil loss decreased markedly in the planted plots, achieving the overland flow average value of 0.5% of rainfall at the 4th year, whilst soil loss decreasing proportionally to values ranging from 0.01 to 0.1 ton/ha. In the control plot, overland flow and soil loss were higher throughout, with values of 3.2, 11.3 and 9.2 ton/ha of soil losses in the 2nd, 3rd and 4th years, respectively. Soil losses were highly related to precipitation depth and with overland flow. Rainfall added a significant amount of nutrients and this input was higher than the losses through overland flow in the plots. Nutrient losses were related to overland flow, and they decreased markedly with the growth of the trees. The loss of nutrients was in the order: Ca>K>NO₃>Mg. Comparatively, the loss of nutrients from the control plot was higher than that of the planted plots only in regards to the NO₃.

RESUMO - Dados de precipitação, de escoamento superficial e de perdas de solo foram coletados durante quatro anos em cinco microparcels de 1000m² cada, dotadas de sistema coletor de enxurrada e de sedimentos, em área de solos arenosos no Município de São Simão, SP. Além disto, alíquotas de água da chuva e do escoamento foram utilizadas para a análise qualitativa, com o objetivo de verificar o processo de erosão e de perdas de nutrientes em função do reflorestamento das parcelas com eucalipto. Uma das parcelas permaneceu o tempo todo sem vegetação, como testemunha, sendo as demais reflorestadas com **E. grandis**, em tratamentos que diferenciaram quanto ao preparo do solo, ao espaçamento e aos tratos silviculturais. No primeiro ano, em janeiro de 1983, todas as parcelas foram submetidas ao preparo do solo e o plantio nas quatro parcelas reflorestadas foi feito em seguida. Em termos médios, o escoamento superficial e as perdas de solo foram relativamente altos neste primeiro ano, variando, respectivamente, de 1,7 a 3,2% da precipitação, e de 1,0 a 10,4 t/ha. Com o crescimento do eucalipto, tanto o escoamento superficial, quanto as perdas de solo diminuíram sensivelmente nas parcelas reflorestadas, caindo o escoamento superficial para valores em torno de 0,5% da chuva no 4º ano, e as

perdas de solo reduzindo-se proporcionalmente para taxas de 0,01 a 0,1 t/ha. Já a parcela testemunha manteve-se com taxas altas de escoamento superficial e de perdas de solo, fluuando de acordo com a precipitação anual entre 3,2 , 11,3 e 9,2 t/ha, no 2º, 3º e 4º anos, respectivamente. As perdas de solo mostraram alta correlação com a quantidade de chuva (mm) e com o escoamento superficial. O balanço entre as entradas de NO₃, Ca, K e Mg pelas chuvas e a perda pelo escoamento superficial foi positivo em todas as parcelas. As perdas mostraram-se correlacionadas com o escoamento superficial, diminuindo gradativamente com o crescimento da floresta. As perdas de nutrientes ocorreram de acordo com a seguinte ordem: Ca>K>NO₃>Mg. Comparativamente, a perda de nutrientes da parcela sem vegetação foi maior do que as das parcelas reflorestadas apenas com relação ao NO₃.

INTRODUÇÃO

Extensas áreas de solos classificados como areias quartzozas distróficas, inadequadas para a agricultura, principalmente devido a problemas de baixa fertilidade, facilidade à erosão, e condições desfavoráveis à retenção de água, têm sido utilizadas para o reflorestamento com eucalipto para fins de consumo industrial da madeira.

No Estado de São Paulo, tais solos ocupam uma área aproximada de 2063 km², distribuídos em 27 municípios, com as maiores ocorrências em Altinópolis, Cajuru, São Simão, Patrocínio, Santa Rita do Passa Quatro, São Carlos, Itirapina e Brotas (BRASIL, 1960).

Em muitas dessas áreas, a vegetação original de cerrado sofre contínua depredação decorrente da procura por lenha e da produção de carvão, o que resulta numa cobertura vegetal remanescente bastante degradada. Evidentemente, a restauração de tais áreas com plantações florestais pode concorrer, com o tempo, para a gradativa melhoria das condições de solo e da proteção contra a erosão. No caso de plantações para fins industriais, em regime de rotações curtas, a necessidade do preparo do solo e a ocorrência de um período de crescimento das mudas, quando o solo permanece praticamente sem proteção, e também o corte raso final da floresta, são fatores que podem resultar em perdas consideráveis de solo por erosão. Estas perdas de solo e de nutrientes podem ser críticas para a manutenção da produtividade destas áreas já marginais quanto à fertilidade.

Quanto do solo e de nutrientes é perdido por erosão nestas situações? Quais são os fatores relacionados com estas perdas? Como se comparam estas perdas com as taxas de erosão consideradas suportáveis para este tipo de solo? Há alternativas de preparo do solo, de espaçamento de plantio e de disposição das plantas que podem resultar em menores perdas por erosão? Ao longo do desenvolvimento da plantação florestal ocorre alguma diminuição da erosão? Enfim, uma floresta de eucalipto já formada pode fornecer proteção adequada para evitar as perdas de solo por erosão?

O presente trabalho foi desenvolvido visando à obtenção de informações relacionadas com estas indagações básicas. Afinal, para controlar a erosão decorrente destas atividades florestais, evitando, desta forma, o carreamento de sedimentos e de nutrientes para os cursos d'água, com reflexos negativos sobre a qualidade da água e sobre a manutenção da produtividade do sítio, pode-se adotar dois grupos de medidas. Primeiro, pode-se adotar medidas silviculturais que resultem em menores taxas de erosão. Segundo, pode-se prevenir que os sedimentos produzidos pela erosão atinjam os cursos d'água através de medidas adequadas de planejamento do uso do solo, tais como a manutenção de

mata ciliar de proteção, o estabelecimento de faixas de retenção, o terraceamento, a adequação das técnicas de preparo do solo a sua capacidade de uso, etc.. O controle efetivo pode resultar da combinação dos dois grupos de medidas, mas é claro que a melhor alternativa seria, antes de tudo, evitar a ocorrência da erosão (ROTHACHER, 1953),(TVA, 1962), (ROBINSON, 1971), (LAFAYETTE, 1977),(O'LOUGHLIN, 1977), (WILLIAMS et alii, 1981), (EVANS, 1982), (SHARPLEY, 1985),(MCCLURKIN et alii,1985).

A análise destes aspectos Com base em alguns resultados experimentais será interessante para o correto equacionamento do problema. Assim, o corte raso da floresta pode acarretar aumento nas perdas de solo por erosão e nas perdas de nutrientes, Como verificado em vários trabalhos (TAYLOR et alii, 1971), (PANDEY et alii, 1983/84), (MILLER, 1984), (ROGERSON, 1985),(FEARNSIDE et alii, 1986). Todavia, MEEUWIG (1970), estudando o processo de ocorrência de erosão em áreas montanhosas floresta das, observou que, dentre inúmeras variáveis estudadas, a proporção de solo protegido contra o impacto das gotas das chuvas pela presença da vegetação ou da camada orgânica (piso florestal) mostrou ser a variável que mais contribuiu para o controle das perdas de solo.

O uso do fogo controlado como medida silvicultural, por exemplo, acarreta a destruição desta camada protetora, como verificado em florestas de **Pinus oocarpa** em Honduras, por HUOSON et alii (1983a), que Constataram um aumento na perda de sedimentos de 80 kg/ha nas parcelas não queimadas, para 1732 kg/ha após a queima. Estes aumentos foram acompanhados de maiores perdas de nutrientes nas parcelas queimadas (HUDSON et alii, 1983b). Em Manaus, FEARNSIDE et alii (1986) também verificaram que a derrubada da floresta tropical, seguida da queima da área para o estabelecimento de pastagem, resultaram num aumento de 4341% na perda de solo, passando de 158 kg/ha/ano, em área Com floresta, para 6858 kg/ha/ano, após o desmatamento e a queima da área.

Por outro lado, FREDRIKSEN (1970) e VERSFELD (1981) verificaram que não é a atividade silvicultural em si (isto é, o corte, o desbaste, etc.) que ocasiona maior escoamento superficial e erosão, mas que estes processos São, na realidade, de ocorrência localizada, sendo originados principalmente nas estradas, nos carregadores, em áreas compactadas, etc.. Desta forma, a preocupação para com o planejamento adequado destas atividades, assim como para Com a proteção destas áreas críticas e manutenção da camada orgânica do solo, torna-se, portanto, necessária para alcançar um controle mais efetivo da erosão.

É claro que a erosão não depende apenas destes fatores, estando, também, relacionada com a erosividade das chuvas, a qual depende de características como a intensidade, duração, energia cinética das gotas, etc.. Assim, é freqüente ocorrer que a maior parte das perdas anuais de solo por erosão seja produzida 'por uma ou por apenas algumas chuvas isoladas (BERTONI & PESTANA, 1964), (GREER, 1971), (YOUNG & WIERSMA, 1973), (EWELL & STOCKING, 1975), (MILLER, 1984), e o conhecimento destas características da chuva, e de sua distribuição ao longo do ano, é também fator importante no estabelecimento de modelos preditivos que facilitem a previsão e o controle da erosão para diferentes condições de solo.

Um exemplo interessante de um trabalho experimental com esse objetivo de previsão e controle da erosão em áreas reflorestadas com eucalipto é o de AVOLIO et alii (1980), na Itália. Trabalhando com microbacias e utilizando como modelo básico a equação universal de perdas de solo (WISCHMEIER & SMITH, 1960), os autores obtiveram, numa primeira fase preliminar com dois anos de dados, respostas interessantes. Além de confirmarem o efeito positivo da plantação de eucalipto sobre o controle das perdas de solo,

verificaram, também, um aumento na concentração de nutrientes no deflúvio da microbacia cuja plantação havia sido cortada. Com base no modelo utilizado, finalmente, determinou-se, numa primeira aproximação, a dimensão máxima de área de corte raso de plantações de eucalipto que não implica num aumento do risco de erosão na área estudada.

A ÁREA EXPERIMENTAL

O projeto foi instalado no Município de São Simão, SP, nas coordenadas geográficas de 21° 29' de latitude sul e 47° 33' de longitude oeste, a uma altitude média de 640 metros, na área do Horto Gramado, pertencente à Champion Papel e Celulose Ltda..

O clima, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cwa, com precipitação média anual de 1400 mm, distribuídos estacionalmente, com 1200 mm no verão chuvoso (outubro a março), e 200 mm no inverno seco. A precipitação média mensal do mês mais seco é inferior a 30 mm. A temperatura média anual é de 22°C, sendo a do mês mais frio inferior a 18°C. A Figura 1 mostra O balanço hídrico de Thornthwaite para o Município de São Simão, onde se pode observar a ocorrência de um período com ligeiro déficit hídrico (52 mm) nos meses de junho a setembro. Apesar disto, deve-se observar, também, que o excedente hídrico anual é cerca de 7,5 vezes o valor do déficit hídrico. Outro aspecto de interesse a ser comentado é em relação à concentração das chuvas no verão, com os meses de dezembro e janeiro apresentando valores superiores a 250mm, quando é normal a ocorrência de chuvas pesadas, de alta erosividade.

Os solos são classificados como areias quartzozas distróficas. Trata-se de solo profundo, muito friável, de textura muito leve e arenosa em todo o perfil, acentuadamente drenado, com seqüência de horizontes A-C, originado de arenito, ácido e de baixa fertilidade, muito pobres em Ca, Mg, K e Na. A separação dos horizontes é feita principalmente em função da cor, pois a variação nas características morfológicas é mínima. A soma da fração areia na composição granulométrica é superior a 90%. Em amostragem realizada na área experimental, os valores médios da densidade aparente foram de 1,6 , 1,6 , 1,5 e 1,6 g/cm³ para as profundidades de 0, 50, 100 e 150 cm, respectivamente.

MÉTODOS

As microparcels, também referidas como sistemas coletores para determinação de perdas por erosão (HARROLD & KRIMGOLD, 1943), (BERTONI,1949), foram construídas em uma área uniforme de terreno com declividade de aproximadamente 7%.

Cada microparcela tinha área de 1000 m², com as dimensões de 25 m de largura por 40 m de comprimento ao longo da declividade.

Na parte superior e nas bordaduras laterais, a delimitação da parcela foi feita através de um simples camalhão de terra. Na parte baixa foi construída uma parede de alvenaria de forma a conduzir o escoamento da água para um tanque coletor, com capacidade para 6 m³. Deste tanque coletor, o excesso de enxurrada era conduzido para um amostrador tipo Geib (HARROLD & KRIMGOLD,1943) de 11 divisórias, sendo que 1/11 deste excesso era coletado numa caixa de água de 1000 litros de capacidade (Figura 2).

Ao todo foram construídas 5 microparcels adjacentes, separadas uma da outra por uma faixa de terreno de aproximadamente 5 metros. Nestas, os tratamentos experimentais

variaram quanto a cobertura vegetal, ao preparo do solo, ao espaçamento e aos tratos culturais, de acordo com o esquema mostrado na Tabela 1.

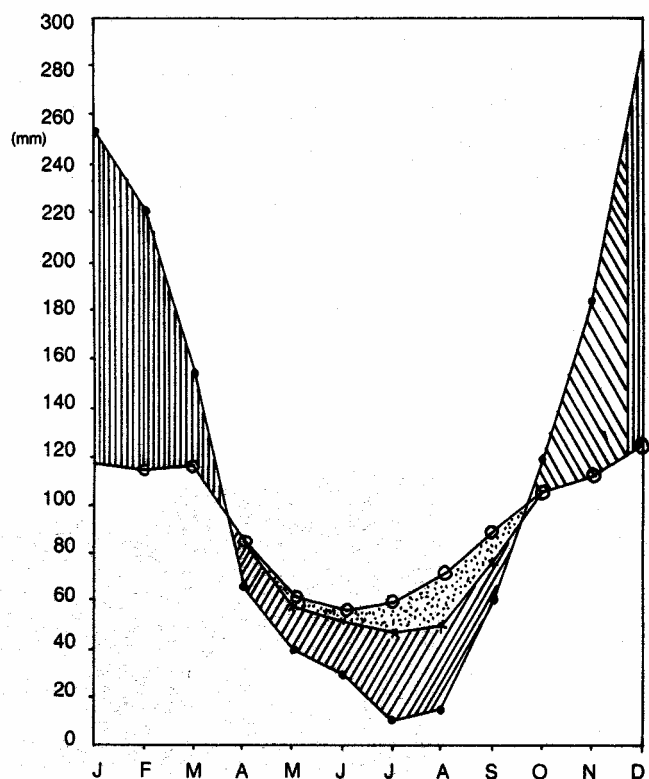


Figura 1 - Balanço Hídrico de Thornthwaite para São Simão - SP Média de 16 anos. (MATHER (Ed.), 1965)

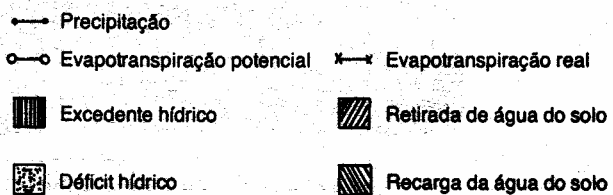


Tabela 1 - Esquema dos tratamentos experimentais nas cinco microparcelas

Variável	Microparcela				
	1	2	3	4	5
Gradagens	2	2	2	2	1
Espécie plantada	E. grandis	E. grandis	E. grandis	Testemunha*	E. grandis
Espaçamento	3,0 x 2,0 m	3,0 x 2,0 m	4,0 x 2,0 1,5m**m	-	3,0 x 2,0 m
Tratos culturais	normais	ausentes	nas faixas	-	normais

* A parcela 4 funcionou como testemunha, tendo sido mantida sem vegetação durante todo o período experimental

** Plantio não convencional, com 2 linhas de plantas no espaçamento de 2,0 x 1,5m, separadas por faixa de retenção de 4,0 m.



Figura 2 - Detalhe de uma das microparcelas coletoras de enxurrada e erosão.

O preparo do solo e o plantio nas parcelas experimentais foram realizados em janeiro de 1983.

O escoamento superficial originado nas parcelas era coletado nos tanques e medidos semanalmente, com o auxílio de uma régua graduada. Após a medição, tomava-se uma alíquota da água coletada, esvaziavam-se os tanques e media-se o solo depositado em seu interior.

Em área aberta contígua às parcelas experimentais, foram instalados um pluviógrafo de rotação diária e três pluviômetros de acrílico, os quais foram utilizados para o cálculo da precipitação média semanal e para a tomada de alíquotas semanais da água da chuva.

As alíquotas semanais da água do escoamento superficial das microparcels e da água da chuva eram armazenadas em geladeira, sendo semanalmente transportadas para o laboratório de Hidrologia do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ-USP, em Piracicaba, onde foram analisadas do ponto de vista de parâmetros físicos e químicos, de acordo com os métodos padronizados descritos em APHA (1975).

A fase de coleta de dados de campo prolongou-se de janeiro de 1983 a julho de 1986.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os valores médios e os valores máximos do escoamento superficial e das perdas de solo medidos nas parcelas durante os 131 períodos semanais do experimento. Na maioria dos períodos semanais, tais resultados foram decorrentes de mais de um evento chuvoso .

A parcela 4, relembrando, funcionou como referência, tendo a mesma sido mantida sem vegetação durante todo o período. Pode-se observar o efeito comparativo desta condição em relação às parcelas reflorestadas, tendo a parcela 4 apresentado valores maiores do escoamento superficial. Em relação às perdas de solo, as perdas da parcela 4 foram de 4 a 25 vezes superiores às das parcelas florestadas.

Outra verificação interessante no que diz respeito ao escoamento superficial e às perdas de solo foi relacionada com a tendência destes processos ao longo do período, isto é, em associação com o crescimento da floresta nas parcelas. Estes resultados são resumidos na Tabela 3, somando-se os valores semanais para cada ano. Nesta tabela aparecem, também, os valores anuais da precipitação.

Tabela 2 - Valores médios e máximos do escoamento superficial e das perdas de solo para as parcelas experimentais. (Média de 131 períodos semanais).

Variável	Parcela				
	1	2	3	4	5
Escoamento superficial (mm)					
- média semanal	0,58	1,03	0,87	1,81	0,93
- máximo semanal	7,00	9,90	11,50	15,10	13,50
Perdas de solo (kg)					
- média semanal	1,07	2,75	2,74	26,16	5,78
- máximo semanal	30,00	120,0	90,0	300,0	160,0

Tabela 3 - Precipitação, escoamento superficial e perdas de solo anuais nas parcelas experimentais.

Ano	Precipitação (mm)	Variável	Parcela				
			1	2	3	4	5
1983	2.283,0	Escoamento Superficial (mm)	57,4	68,8	67,3	111,3	75,5
		Perda de Solo (kg)	129,2	326,8	311,2	1051,4	652,6
1984	1.025,6	Escoamento Superficial (mm)	12,6	27,0	20,5	42,4	25,0
		Perda de Solo (kg)	10,0	20,0	15,0	320,0	100,0
1985	1.557,8	Escoamento Superficial (mm)	5,1	32,1	19,4	64,2	19,2
		Perda de Solo (kg)	0,0	5,0	18,0	1132,0	3,0
1986*	732,2	Escoamento Superficial (mm)	1,1	6,6	7,0	18,9	1,5
		Perda de Solo (kg)	1,0	9,1	14,4	920,0	1,0

Observa-se grande variação nos valores anuais da precipitação durante o período experimental, com o ano de 1983, coincidentemente o do início do experimento, que incluiu a fase de preparo do solo, apresentando valor bem superior à média anual, o que deve ser levado em conta na comparação dos resultados elevados de escoamento superficial e de perda de solo. Mas nesse ano inicial, principalmente nos meses mais chuvosos do ano, todas as parcelas encontravam-se praticamente em idênticas condições, isto é, sem cobertura vegetal. Nos anos subsequentes, com o crescimento da floresta, pode-se observar sensível diminuição do escoamento e da perda de solo das parcelas florestadas em relação à parcela 4, que continuou apresentando taxas elevadas de escoamento e de erosão. O ano de 1986 contém resultados apenas parciais, consequência da paralisação prematura do experimento.

Os talhões das parcelas experimentais foram medidos em abril de 1987, tendo sido obtidos os resultados mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dendrométricos dos talhões das parcelas experimentais à idade de 4 anos.

Parcela	DAP médio (cm)	Altura média (m)	Área basal (m ² /ha)
1	10,0	13,2	23,1
2	9,9	12,8	23,0
3*	9,3	12,8	25,5
5	10,1	13,1	26,0

* plantio não convencional

Estas tendências ao longo do período também podem ser mais facilmente visualizadas através das Figuras 3 e 4. A Figura 3 mostra os valores médios do escoamento superficial como percentuais em relação à precipitação para cada ano e para as 5 parcelas. Já a Figura 4 apresenta os valores da perda de solo por hectare e por ano para cada parcela.

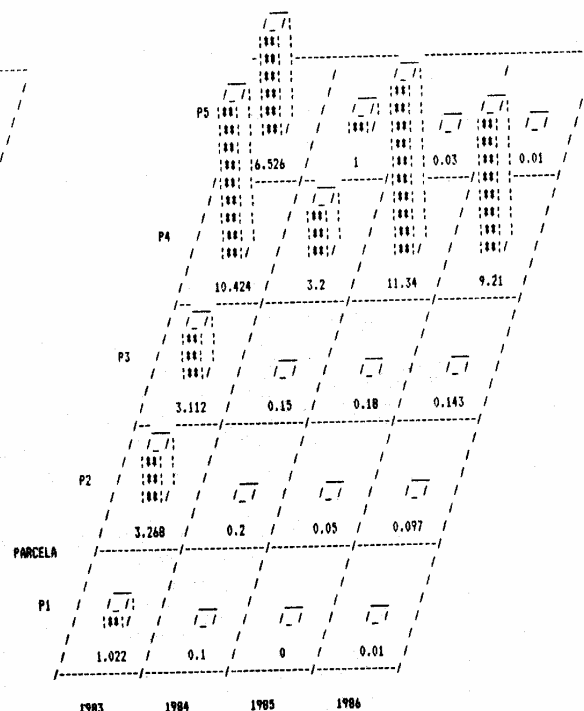
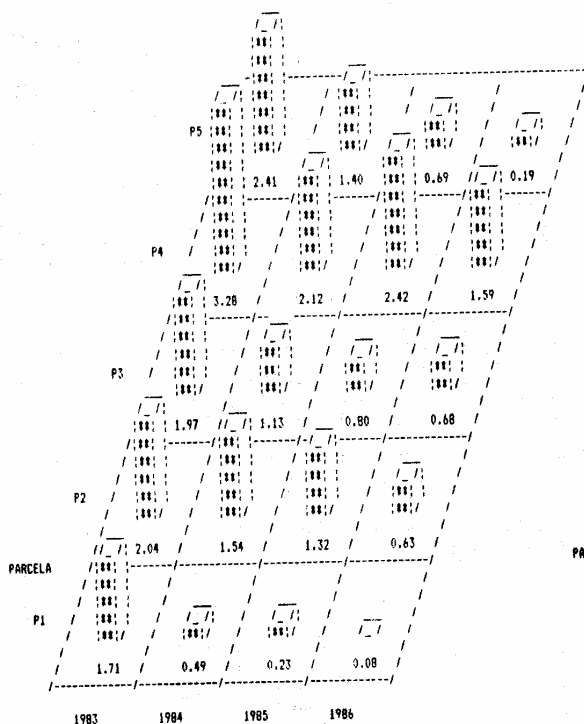


Figura 3 - Escoamento superficial médio nas parcelas (mm). **Figura 4 - Perda de solo nas parcelas em t/ha.**

Observa-se que a percentagem do escoamento superficial em relação à chuva é normalmente baixa, mesmo na parcela sem vegetação. Nas parcelas florestadas, estes percentuais diminuem bastante após o primeiro ano, como resultado do crescimento das árvores, chegando a cair para valores menores do que 0,5% já no 3º ano de idade da floresta.

Semelhante tendência pode ser verificada com relação às taxas anuais de perda de solo na Figura 4. A partir de taxas maiores no 1º ano, as perdas diminuem sensivelmente nos anos seguintes. Mesmo para a parcela 4, sem vegetação, as taxas anuais de perda de solo verificadas são inferiores às taxas consideradas toleráveis para solos arenosos no Estado de São Paulo (LOMBARDI NETO & BERTONI, 1975).

A comparação dos resultados das parcelas florestadas entre si não permite visualizar nenhum efeito mais marcante entre os tratamentos, a não ser o fato já observado de que todas, coletivamente, apresentaram menores valores tanto do escoamento superficial, quanto das taxas de perda de solo. Os resultados da parcela 1 devem ser ponderados, uma vez que esta parcela acabou ficando com uma declividade ligeiramente menor que as demais, decorrência da própria conformação da encosta onde foram construídas as parcelas.

Pelo fato de que os dados de precipitação, de escoamento superficial e de perdas de solo foram medidos semanalmente, os resultados semanais representam, na maior parte dos períodos, dados acumulados de mais de uma chuva. Assim, embora reconhecendo que os parâmetros que melhor descrevem a erosividade das chuvas estão baseados na energia cinética de cada chuva, não foi possível a correlação das perdas de solo com parâmetros clássicos como a energia cinética, o momento da chuva e índices similares (MORGAN, 1980). WISCHMEIER & SMITH (1958) verificaram, por outro lado, que as perdas de solo estão relacionadas com um índice que leva em conta a energia cinética da chuva e a

intensidade máxima verificada no intervalo de 30 minutos de duração da chuva, índice referido como EI30. Pela mesma razão, tampouco o EI30 pode ser usado, pois o mesmo também é calculado levando-se em conta o total de energia cinética de chuvas individuais. De qualquer forma, foi possível estimar um valor aproximado da intensidade máxima para 30 minutos de duração das chuvas verificadas ao longo de cada período semanal, e esse valor foi usado como variável independente na análise de correlação com os valores semanais do escoamento superficial e das perdas de solo. O outro modelo tentado foi a relação entre a precipitação semanal (quantidade de chuva em mm) e o escoamento superficial e as perdas de solo. Para as 5 parcelas as melhores equações estão mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 - Relação entre a precipitação semanal em mm (P) e a intensidade máxima para 30 minutos de duração (I30) x valores semanais do escoamento superficial em mm (ES) e das perdas de solo em t/há (SOLO).

Parcela	Modelo	r ²	P > F
1	ES=-0,73+0,09.I30	0,49	0,0008
	SOLO=-0,0009+0,002.I30	0,56	0,0002
	ln ES=-7,59+1,85.lnP	0,69	0,0001
	ln SOLO=-6,69+0,80.lnP	0,34	0,009
2	ES=-0,92+0,11.I30	0,47	0,0003
	ln SOLO=-4,76+0,61.ln I30	0,12	0,10 ns
	ln ES= -7,67+1,92.lnP	0,70	0,0001
	ln SOLO= -7,47+1,14.lnP	0,33	0,003
3	lnES = -4,16+1,33.lnI30	0,43	0,0009
	ln SOLO= -5,34+0,75.lnI30	0,11	0,13 ns
	ln ES = -6,57+1,65.lnP	0,57	0,0001
	ln SOLO = -9,76+1,67.lnP	0,46	0,0005
4	ln ES = -3,86+1,41.lnI30	0,50	0,0001
	ln SOLO = -6,02+1,40.lnI30	0,25	0,002
	ln ES = -5,79 + 1,62.lnP	0,57	0,0001
	SOLO = 0,01 + 0,009.P	0,32	0,0004
5	ES = -1,39 + 0,14.I30	0,55	0,0001
	ln SOLO = -7,04+1,45.lnI30	0,34	0,004
	ln ES = -6,07+1,58.lnP	0,64	0,0001
	SOLO = -0,15 + 0,006.P	0,39	0,002

Conforme pode ser observado na Tabela 5, a precipitação semanal (mm) foi a variável mais adequada para a estimativa tanto do escoamento superficial, quanto das perdas de solo, em todas as parcelas, com exceção da parcela 1, onde a intensidade máxima apresentou melhores resultados. ELWELL & STOCKING (1975), analisando dados de escoamento superficial e de perdas de solo em microparcels na Rodésia, compararam energia cinética, momento e quantidade de chuva (mm) como variáveis independentes na estimativa das perdas de solo. Embora os parâmetros de energia das chuvas tivessem apresentado alta correlação, os autores verificaram que comparativamente tais parâmetros (energia cinética e momento) não apresentavam nenhum ganho adicional em relação ao parâmetro quantidade de chuva (mm), concluindo que o simples valor da altura da chuva

(mm) é o parâmetro mais prático para a estimativa das perdas de solo nas condições do experimento.

Com relação aos aspectos qualitativos do escoamento superficial, a Tabela 6 contém o resumo, ao longo do período, dos valores médios da turbidez, cor, condutividade, pH e alcalinidade, comparativamente entre as amostras de água da chuva e do escoamento superficial nas 5 parcelas experimentais. Apenas destacando três aspectos desta tabela, nota-se, em primeiro lugar, o aumento dos valores médios dos parâmetros estudados comparativamente entre a chuva e o escoamento superficial, em todas as parcelas. Segundo, uma aparente proximidade entre os valores médios nas 5 parcelas, não havendo, por exemplo, muita diferença entre os valores médios da parcela 4, sem vegetação, em relação às demais, a não ser para os parâmetros turbidez e cor. Com relação à turbidez, por outro lado, é preciso lembrar que, embora o parâmetro seja uma medida ótica dos sedimentos em suspensão na amostra, neste caso, devido ao sistema de amostragem semanal no tanque, grande parte do material carregado para os tanques encontrava-se sedimentado na ocasião da coleta. Além do mais, é preciso considerar, também, que não existe muita relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos da amostra (KUNKLE & COMER, 1971). A condutividade, por sua vez, diz respeito à concentração iônica da amostra e os valores médios mostram um aumento razoável da condutividade das amostras de água do escoamento superficial em relação às amostras da chuva, resultado da solubilização de nutrientes e de outros elementos pelo escoamento superficial.

No que diz respeito aos nutrientes, as Figuras 5, 6, 7 e 8 mostram, respectivamente, os valores médios anuais dos fluxos de NO_3^- , Ca, K e Mg, em kg/ha, comparativamente entre as amostras de água da chuva (entrada de nutrientes) e das amostras de água do escoamento superficial das parcelas (perdas de nutrientes pelo escoamento e pela erosão). A análise das Figuras 5 a 8 revela alguns aspectos interessantes. Primeiro, o fato de a entrada de nutrientes pelas chuvas ter sido maior do que as perdas ocorridas pelo escoamento superficial e erosão nas parcelas, o que também já foi verificado em trabalhos semelhantes (TAYLOR et alii, 1971), (PANDEY et alii, 1983/4), (MCCLURKIN et alii, 1985). Observa-se, também, uma relativa diminuição nas perdas de nutrientes ao longo dos anos nas parcelas reflorestadas. Comparativamente, a parcela 4, sem vegetação, também apresentou tal diminuição, relativamente aos valores do primeiro ano do experimento, o qual englobou a fase de preparo do solo na área experimental, mas de forma menos acentuada que a verificada nas parcelas reflorestadas. De fato, somando-se as perdas anuais para todo o período experimental, a perda da parcela 4 somente foi maior a de todas as outras parcelas no que diz respeito ao NO_3^- . Com relação ao potássio, as perdas totais das parcelas 4 e 5 foram iguais, e ambas maiores que as outras parcelas.

TABELA 6 - Valores médios anuais de parâmetros físicos de amostras de água da chuva(C) e do escoamento superficial das parcelas experimentais (1 a 5). Valores semanais representam média de duas repetições. Médias anuais representam a média dos valores semanais de cada ano

Parcela	Ano	Turbidez (FTU)	Cor (UPC)	Condutividade (μmho)	pH	Alcalinidade (mg/l CaCO_3)
C	1983	4,3	28,7	59,9	6,2	10,9
	4	5,6	22,5	65,9	6,3	11,1
	5	3,9	25,0	61,8	6,0	9,7
	6	3,6	5,0	74,4	6,6	21,0
1	1983	8,3	46,7	115,4	7,4	30,5
	4	3,9	38,1	105,0	7,3	28,5
	5	4,5	43,6	106,1	6,4	25,0
	6	2,2	5,0	91,0	6,6	19,0
2	1983	7,3	45,0	139,1	7,2	39,3
	4	3,3	34,0	138,7	7,4	37,1
	5	3,1	39,4	109,2	6,7	26,0
	6	3,9	30,0	127,6	6,9	32,0
3	1983	8,9	44,4	106,9	7,3	28,3
	4	2,8	30,0	153,4	7,4	39,5
	5	2,7	30,3	119,1	6,8	27,4
	6	10,4	51,0	85,4	6,5	16,0
4	1983	16,2	79,8	91,8	6,8	24,8
	4	10,1	68,7	105,6	6,8	28,9
	5	12,4	59,2	86,2	6,4	20,0
	6	2,6	40,0	148,8	7,1	42,7
5	1983	15,9	71,8	99,3	7,0	27,1
	4	4,4	43,4	132,1	7,3	42,6
	5	8,8	57,5	65,6	6,4	13,2
	6	11,9	30,0	77,5	6,4	16,9

Em relação ao cálcio, nutriente que apresentou as maiores perdas, as parcelas 2, 3 e 4 apresentaram perdas similares, todas maiores que as verificadas nas parcelas 1 e 5. Já para o magnésio, não houve, praticamente, nenhuma diferença entre as perdas totais das parcelas. Numa ordem de grandeza, portanto, as perdas totais de nutrientes apresentaram-se de acordo com: $\text{Ca} > \text{K} > \text{NO}_3 > \text{Mg}$, resultado similar ao verificado por PANDEY et alii (1983/4).

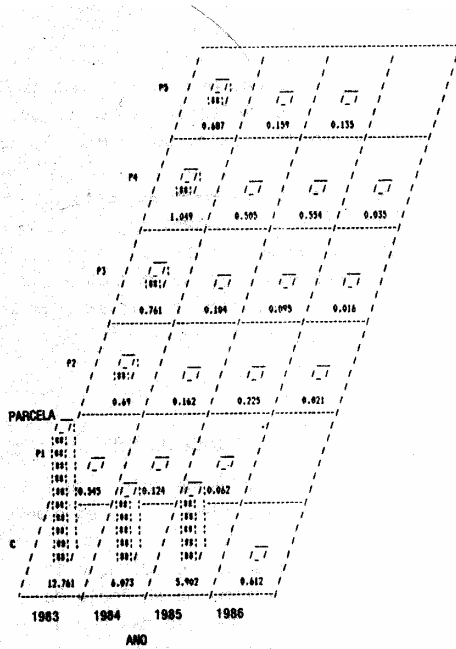


Figura 5 - Entrada de NO₃ pela chuva (C) e perda pelo escoamento superficial nas parcelas (Pn), em kg/ha.

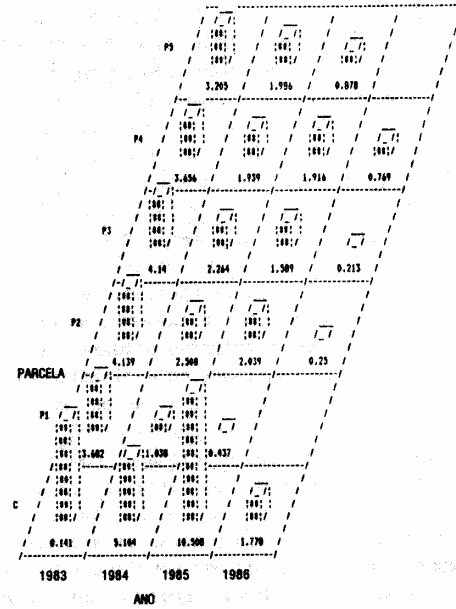


Figura 6 - Entrada de Ca pela chuva (C) e perda pelo escoamento superficial nas parcelas (Pn), em kg/ha.

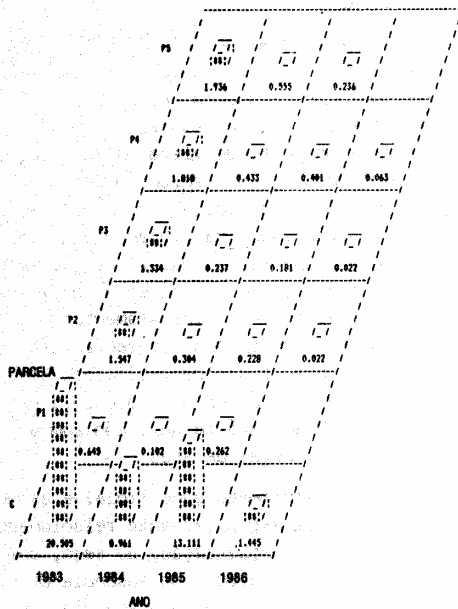


Figura 7 - Entrada de K pela chuva (C) e perda pelo escoamento superficial nas parcelas (Pn), em kg/ha.

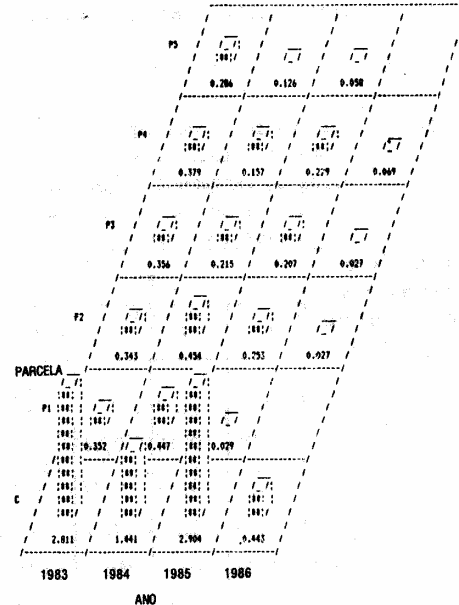


Figura 6 - Entrada de Mg pela chuva (C) e perda pelo escoamento superficial nas parcelas (Pn), em kg/ha.

Com o objetivo de verificar como as perdas de nutrientes se relacionaram com a erosão e com o escoamento superficial, estes dados foram relacionados através de análise de regressão. Este é um aspecto interessante no planejamento do uso do solo nas bacias hidrográficas visando ao controle da qualidade da água e à manutenção da produtividade do sítio. De fato, como colocado por O'LOUGHLIN (1981), a interpretação das perdas de nutrientes tem que estar relacionada com os mecanismos de geração de escoamento direto provocado pela chuva. Assim, de acordo com este autor, as perdas de materiais orgânicos, potássio e fósforo são mais associadas com o escoamento superficial da água. Já outros nutrientes solúveis são preferencialmente transportados pela dinâmica da água do solo. Os resultados da análise de regressão (Tabela 7) mostraram que as perdas de NO₃ e de cálcio foram altamente correlacionadas com o escoamento superficial em todas as parcelas. Já as perdas de potássio e de magnésio, embora com boa correlação com o escoamento superficial em algumas parcelas, mostraram resultados não constantes e, em algumas parcelas, sem nenhuma significância. Convém lembrar que o solo da área experimental é normalmente pobre em cálcio, potássio e magnésio, sendo também um solo acentuadamente drenado. Estas condições explicam as proporções normalmente ínfimas encontradas para o escoamento superficial, percentualmente em relação à chuva, conforme tem também sido verificado em outros trabalhos similares (VERSFELD, 1981), (PANDEY et alii, 1983/4). Em bacias hidrográficas com solos nestas condições, o deflúvio é mais decorrente de processos de subsuperfície, sendo o escoamento superficial originado principalmente ao longo de áreas onde a permeabilidade é menor, quer por condições inerentes do perfil do solo (manchas de solo raso, por exemplo), quer pela permanência de condições de saturação (as áreas que margeiam os cursos d'água, por exemplo). Desta forma, o controle do escoamento superficial, e conseqüentemente das perdas de solo e de nutrientes, pode facilmente ser obtido por um plano de manejo que inclua a manutenção de faixas vegetadas de proteção ao longo dessas áreas críticas (LIMA,1987).

Tabela 7 - Valores de r² das equações de regressão entre as perdas de NO₃, Ca, K e Mg e os dados do escoamento superficial (ES) e das perdas de solo (SOLO) para as 5 parcelas experimentais

Var. Dependente	Var. Independente	r ²				
		1	2	3	4	5
NO ₃	ES	0,75	0,55	0,66	0,34	0,69
	SOLO	0,61	0,44	0,60	0,22	0,37
K	ES	0,55	0,05	0,12	0,05	0,32
	SOLO	0,29	0,11	0,09	0,01	0,27
Ca	ES	0,74	0,75	0,74	0,56	0,78
	SOLO	0,26	0,23	0,26	0,31	0,44
Mg	ES	0,18	0,68	0,71	0,32	0,27
	SOLO	0,13	0,00	0,23	0,06	0,23

CONCLUSOES

Nas condições de solo e de regime pluviométrico da área experimental, o escoamento superficial ao longo do declive ocorre numa proporção relativamente ínfima da

precipitação incidente, mesmo na condição extrema de ausência de cobertura vegetal. A maior proporção das chuvas infiltra-se, portanto, e a maior proporção do deflúvio de bacias hidrográficas é produzida por processos de sub-superfície. Com o crescimento dos talhões de eucalipto, ocorre sensível diminuição do escoamento superficial, evidenciando que o reflorestamento com eucalipto pode, nestas condições, desempenhar papel importante no controle do escoamento superficial e das perdas por erosão.

As perdas de solo estão relacionadas com a ocorrência do escoamento superficial. Todavia, mesmo na parcela que foi propositalmente mantida sem vegetação, as perdas verificadas, embora significativas do ponto de vista da manutenção da produtividade do solo, ocorreram em taxas inferiores às consideradas toleráveis para o tipo de solo estudado. Por outro lado, paralelamente à diminuição do escoamento superficial, as perdas de solo diminuem sensivelmente com o crescimento da floresta. Este efeito benéfico do reflorestamento foi observado de forma semelhante nos diferentes tratamentos testados. Conforme tem sido verificado em outros trabalhos, o efeito decorre da presença da vegetação em si, ou seja, está relacionado com o percentual de proteção vegetal da área.

O escoamento superficial e as perdas de solo mostraram estar bastante relacionado com a quantidade de precipitação, ou seja, com a altura da chuva em milímetros. Na ausência de outros parâmetros que levam em conta a energia cinética das gotas da chuva, a simples medição da precipitação pode ser utilizada para a estimativa aproximada do potencial de perdas de solo, desde que restrito às condições físicas do local de medição.

Comparativamente às concentrações médias de nitrato, cálcio, potássio e magnésio na água da chuva, a análise destes nutrientes na água do escoamento superficial mostrou um aumento sensível de suas concentrações, evidenciando o processo de enriquecimento da água causado pelo arraste e solubilização de nutrientes da superfície. No presente estudo, em função da relativamente ínfima proporção do escoamento superficial em relação à chuva, decorrente da alta permeabilidade do solo, o balanço verificado nas parcelas experimentais foi positivo, com a entrada de nutrientes pelas chuvas suplantando as perdas verificadas no escoamento superficial.

AGRADECIMENTOS

Ao longo dos quatro ou mais anos da fase de campo deste trabalho, inúmeras pessoas colaboraram significativamente para a sua realização. O tempo decorrido pode trair nossa memória, e se eventualmente algum nome foi omitido, apresentamos, desde já, nossas excusas e o nosso profundo reconhecimento pela colaboração prestada inicialmente, à Champion Papel e Celulose e à Chamflora Agrícola, pela cessão da área e pelo imprescindível apoio logístico na fase de coleta de dados de campo. Osmar Beig, Cláudio Zanini, Luiz Moro, Sérgio Diniz e Ormélío prestaram decisivo apoio ao projeto. A parte laboratorial contou com a colaboração valiosa de Silas Zen e da Izabel Christina Gava. Wandir Ribeiro participou ativamente da administração do projeto no campo e Maurício Ranzini colaborou na digitação dos dados. O colega Hilton Thadeu colaborou em várias ocasiões, mas principalmente na parte de programação do computador para a análise dos dados. O colega Brito, por sua vez, gastou tempo precioso na coordenação geral do programa de pesquisas "APROVEITAMENTO DE SOLOS MARGINAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO PARA A IMPLANTAÇÃO DE FLORESTAS ENERGÉTICAS", do qual o projeto era parte. Finalmente, a EMBRAPA proporcionou o apoio financeiro sem o qual o projeto jamais teria sido possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 14ed. Washington, 1975. 1193p.
- AVDLIO, S. et alii - Effettu del tipo di bosco sull'entità dell'erosione in unità idrologiche della Calabria: modelli erosivi. **Annali dell'Istituto Sperimentali per la Selvicoltura**, Arezzo, 11: 46-128, 1980.
- BERTONI, J. - Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. **Bragantia**, 9: 147-55, 1949.
- BERTONI, J. & PASTANA, F.I. - Relação chuva- perdas por erosão em diferentes tipos de solos. **Bragantia**, 23(1): 3-11, 1964.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. **Boletim**, Rio de Janeiro (12): 1-660, 1960.
- EVANS, J. - **Plantation forestry in the tropics**. Oxford, Clarendon Press, 1982. p.367-89.
- EWELL, H.A. & STOCKING, M.A. - Parameters for estimating annual runoff and soil loss from agricultural lands in Rhodesia. **Water Resources Research**, Washington, 11(4): 601-5, 1975.
- FEARNSIDE, P.M. et alii - **Erosão do solo na Amazônia brasileira**: métodos de medição e resultados preliminares. Manaus, INPA, 1986. (relatório não publicado)
- FREDRIKSEN, R.L. - Erosion and sedimentation following road construction and timber harvest on unstable soils in three small western Oregon watersheds. **USDA. Forest Service. PNW research paper**, Berkeley (104): 1-15, 1970.
- GREER, J.D. - Effect of excessive-rate rainstorms on erosion; **Journal of soil and water conservation**, Washington: 196-7, set./out. 1971.
- HARROLD, L.L. & KRINGOLD, D.B. - Devices for measuring rates and amounts of runoff employed in soil conservation research. **Technical publication. Soil Conservation Service**, Washington (51): 1-42, 1943.
- HUDSON, J. et alii - Prescribed burning of **Pinus oocarpa** in Honduras: 1-effects on surface runoff and sediment loss. **Forest ecology and management**, Amsterdam, 5: 269-81, 1983a.
- HUDSON, J. et alii - Prescribed burning of **Pinus oocarpa** in Honduras: 2-effects on nutrient cycling. **Forest ecology and management**, Amsterdam, 5: 283-30, 1983b.

- KUNKLE, S.H. & COMER, G.H. - Estimating suspended sediment concentration in streams by turbidity measurements. **Journal of Soil and Water Conservation**, Washington, 26(1): 18-21, 1971.
- LAFAYETTE, R.A. - Reducing erosion and sedimentation through erosion hazard analysis. In: SIMPOSIUM ON SOUTHEASTERN HARDWOODS, Dothan, 1977. **Proceedings**. Dothan, USDA. Forest Service, 1977. p.54-68.
- LIMA, W. de P. - **O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais**. São Paulo, ARTPRESS, 1987. 115p.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. - Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. **Boletim técnico. Instituto Agrônomo**, Campinas (28): 1-12, 1975.
- McCLURKIN, D.C. et alii - Water quality effects of clearcutting Upper Coastal Plain loblolly pine plantations. **Journal of Environmental Quality**, Washington, 14(3): 329-32, 1985.
- MEEUWIG, R.O. - Sheet erosion on intermountain summer ranges. **USDA. Forest Service. INT research paper**, Ogden (85): 1-25, 1970.
- MILLER, E.L. - Sediment yield and storm flow response to clear-cut harvest and site preparation in the Ouachita Mountains. **Water Resources Research**, Washington, 20(4): 471-5, 1984.
- MORGAN, R.P.C. - **Soil Erosion**. London, Longman, 1980. 113p.
- O'LOUGHLIN, C.L. - Plantation forestry: hydrological and erosion aspects. **New Zealand Journal of Forestry**, 22(2): 238-241, 1977.
- O'LOUGHLIN, E.M. - Water pathways through catchments and their relation to nutrient losses. In: IUFRO WORKSHOP ON WATER AND NUTRIENT SIMULATION MODELS. Mirmensdorf, 1981. **Proceedings**. Mirmensdorf, 1981. p.123-34.
- PANDEY, A.N.; PATHAK, P.C.; SINGH, J.S. - Water, sediment and nutrient movement in forested and nonforested catchments in Kumaun, Himalaya. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 7: 19-29, 1983/84.
- ROBINSON, A.R. - Sediment. **Journal of Soil and Water Conservation**. Washington, 26(2): 61-2, 1971.
- ROGERSON, T.L. - Hydrologic responses to silvicultural practices in pine-hardwood stands in the Ouachita Mountains. In: CENTRAL HARDWOOD FOREST CONFERENCE, 5, Urbana, 1985. **Proceedings**. Urbana, 1985. p.209-14.

- ROTHACHER, J.S. - White hollow watershed management: 15 years of progress in character of forest, runoff, and streamflow. **Journal of Forestry**, Washington, **51**(10): 731-8, 1953.
- SHARPLEY, A.N. - The selective erosion of plant nutrients in runoff. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, 49: 1527-1534, 1985.
- TAYLOR, A.W. et alii - Nutrients in streams draining woodland and farmland near Coshocton, Ohio. **Water Resources Research**. Washington, **7**(1): 81-9, 1971.
- TVA - **Reforestation and Erosion Control Influences Upon the Hydrology of the Pine Tree Branch Watershed**. Knoxville, Division of Water Control Planning/Forestry Development, 1962. 98p.
- VERSFELD, D.B. - Overland flow on small plots at the Jonkershoek Forestry Research Station. **South African Forestry Journal**, Pretoria, 119: 35- 40, 1981.
- WILLIAMS, J.R. et alii - Soil erosion effects on soil productivity: a research perspective. **Journal of Soil and Water Conservation**, Washington, 36(2): 82-90, 1981.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. - Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans. American Geophysical Union**, 39: 285-91, 1958.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7, 1960. **Proceedings**. Madison, 1960. p.418-25.
- YOUNG, R.A. & J.L. WIERSMA. The role rainfall impact in soil detachment and transport. **Water Resources Research**, 9(6): 1629-1636, 1973.

Os melhores frutos do eucalipto.



A Aracruz criou mais de 5 mil empregos diretos no norte do Espírito Santo, onde estão suas florestas e fábrica de celulose. São engenheiros, tratoristas, pesquisadores, administradores e muitos outros profissionais, aos quais são oferecidas permanentes possibilidades de aperfeiçoamento. A alta qualidade da celulose Aracruz deve-se, principalmente, ao trabalho dessas pessoas.

Mas a política de pessoal da empresa não se limita às oportunidades de treinamento e acesso. Assistência médica e hospitalar, e um sistema de ensino de 1º e 2º graus são assegurados a todos os empregados e seus familiares.

A Aracruz também criou novas alternativas de progresso. A infra-estrutura montada para recebê-la estabeleceu condições para a implantação de novas indústrias na região, importante contribuição para a interiorização do desenvolvimento capixaba.

Além disso, a Aracruz, que produz anualmente 400 mil toneladas de celulose, é uma grande fábrica de divisas. Suas vendas ao exterior representam 145 milhões de dólares anuais, que a colocam entre os 20 maiores exportadores brasileiros.



ARACRUZ CELULOSE S.A.
Bateria Brasileira de Progresso.