

Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE¹

Soil, water and nutrients losses in the agroforestry systems in Sobral county, Ceará, Brasil

Maria Ivanilda de Aguiar², Stoecio Malta Ferreira Maia³, Teógenes Senna de Oliveira⁴,
Eduardo Sá Mendonça⁵ e João Ambrosio Araujo Filho⁶

Resumo - As condições edafoclimáticas do semi-árido brasileiro, associadas a sistemas agrícolas totalmente extrativista, o tornam um ambiente extremamente frágil e de alta susceptibilidade aos processos erosivos, sugerindo que outras alternativas de uso agrícola devem ser adotadas. Com o objetivo de testar a hipótese que os sistemas agroflorestais reduzem a intensidade da ação dos agentes erosivos, foram avaliados os seguintes sistemas agrícolas: agrossilvipastoril (AGP), silvipastoril (SILV), tradicional cultivado em 1998 e 1999 (TR98), tradicional cultivado em 2002 e 2003 (TR02), cultivo intensivo (CI), reserva legal 1 (RL1) e reserva legal 2 (RL2). A coleta de solo e água foi realizada através de estruturas instaladas na área da pesquisa no período chuvoso de 2003. Posteriormente, esses solos foram quantificados e analisados quanto aos teores totais de P, Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn e carbono orgânico. Os resultados indicam que as maiores perdas de solo e de água ocorreram respectivamente, na área de reserva legal 1 e no tratamento TR98. Entre os tratamentos agroflorestais e o convencional, observou-se maiores perdas de solo e/ou água naqueles em que houve uma maior mobilização de solo, como nos tratamentos AGP, TR98 e CI. Os teores totais de nutrientes e carbono orgânico perdidos foram proporcionais aos de solo e água.

Termos para indexação: erosão, semi-árido, agroecologia.

Abstract - Alternatives to agricultural practice should be better considered in Brazilian semi-arid region. The soil and the environmental conditions associated with intensive cropping practices increase the susceptibility of the erosive processes. In order to test the hypothesis that agroforestry systems reduce soil erosion, the following crop systems were evaluated: agrosilvipastoral (AGP), silvipastoral (SILV), traditional cropping cultivated between 1998 and 1999 (TR98), traditional cropping cultivated between 2002 and 2003 (TR02), forestry reserve 1 (RL1) and forestry reserve 2 (RL2). Soil and water collectors were installed in the areas and were sampled in the rain season of 2003. Water and soil losses and P, Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn and organic carbon contents were evaluated. The results showed the highest losses in the forestry reserve 1 (RL1) and TR98 areas, respectively. Considering Agroforestry and conventional systems, the highest soil and/or water losses were observed in the systems that promoted higher soil mobilization as AGP, TR98, and CI systems. The contents of total nutrients and organic carbon losses were proportional to the soil and water losses.

Index terms: erosion, semi-arid, agroecology.

¹ Recebido para publicação em 01/11/2005; aprovado em 07/4/2006.

Trabalho desenvolvido com recursos do Edital Universal do CNPq e Programa de Cooperação Acadêmica UFV-UFC, PROCAD-CAPES.

² Eng. Agrônomo, mestrando em Solos e Nutrição de Plantas, Dep. de Solos, UFV, Viçosa-MG. E-mail: ivanildaaguiar@yahoo.com.br.

³ Eng. Agrônomo, estudante em nível de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Dep. de Ciência do Solo, ESALQ-USP, Piracicaba-SP. E-mail: stoecio@hotmail.com.

⁴ Eng. Agrônomo, D. Sc., Prof. do Dep. de Ciências do Solo, CCA/UFC. Campus do PICI, Bloco 807, CEP 60455-760, Fortaleza-CE. E-mail: teo@ufc.br. Bolsista do CNPq.

⁵ Professor Adjunto, Dep. de Solos, UFV, Viçosa-MG. E-mail: esm@ufv.br. Bolsista do CNPq.

⁶ Eng. Agrônomo, Ph. D., Pesquisador da Embrapa Caprinos, Fazenda Três Lagoas, Estrada Sobral Groaíras, km 4, CEP 62011-970, Sobral-CE. E-mail: ambrosio@cnpc.embrapa.br.

Introdução

As regiões semi-áridas são caracterizadas por terem altas temperaturas, reduzida pluviosidade, solos pouco intemperizados (pouco profundos) e pequena produção de massa vegetal. Além dessas condições edafoclimáticas não muito favoráveis, observa-se a adoção de sistemas agrícolas totalmente extrativistas. Na pecuária, sobressai o superpastoreio. A agricultura é desenvolvida às custas de desmatamentos indiscriminados, queimadas e períodos de pousio inadequados. Há ainda uma intensa extração de lenha e madeira para atender a demanda familiar, de cerâmicas e padarias, contribuindo enormemente para a redução da vegetação da caatinga.

Estudos realizados por Sampaio & Salcedo (1997), mostram que a retirada de madeira para suprir a demanda por lenha, associada às áreas agrícolas, é responsável pela maior parte das áreas desmatadas nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, correspondendo a 53%, 66%, 49% e 55%, respectivamente. Esses dados tornam evidente que o ambiente está sendo degradado, acarretando graves conseqüências na redução da biodiversidade, no potencial de produção agrícola do solo, bem como conseqüências sócio-políticas evidenciadas pela migração sempre crescente do meio rural (Oliveira et al., 2000). Sá et al. (1994), comprovam esse quadro, apontando o Ceará como um dos estados nordestinos mais degradados, com mais da metade de suas terras (53%) classificadas entre os níveis moderado, forte e muito forte de degradação. Grande parte destas áreas é predominantemente ocupada por Luvissoles, Planossolos e Neossolos Litólicos, solos nos quais o binômio algodão-pecuária, juntamente com a exploração da vegetação para produção de lenha, madeira e carvão, foram os principais agentes de degradação (Sá et al., 1994).

Diante deste quadro, opções racionais de uso e recuperação dessas áreas devem ser estudadas. Dentro desse contexto, os sistemas agroflorestais (SAFs) podem ser uma alternativa viável para os diferentes ecossistemas do trópico semi-árido brasileiro. Nair (1993), define sistemas agroflorestais como o conjunto de sistemas de uso da terra e tecnologias, nos quais espécies produtoras de madeira e similares (árvores, arbustos, palmáceas, bambus etc.) são deliberadamente utilizadas, na mesma unidade de área, com outros cultivos agrícolas e/ou animais, de acordo com um arranjo espacial e uma seqüência temporal pré-definidos. No Brasil, aplicações dos sistemas agroflorestais têm sido recomendadas não só como alternativa econômica, mas também na recuperação de solos degradados em diferen-

tes regiões do país (Dubois, 1992; Baggio, 1992; Macedo, 1992; Wandelli et al., 1997), adotando-se estratégias das mais diversas.

Os SAFs, especificamente com relação aos ambientes áridos e semi-áridos (FAO, 1995), podem contribuir efetivamente para estabelecer modelos de produção mais estáveis, pois condicionam favoravelmente o meio físico, ao melhorar a fertilidade dos solos e a eficiência hídrica, diminuindo o impacto da erosão eólica e hídrica. Possibilitam, também, um melhor aproveitamento da diversidade biológica e do meio físico, consolidando o desenvolvimento sustentável ao diminuir os efeitos das oscilações climáticas e econômicas.

Araújo Filho & Carvalho (2001), obtiveram resultados de produtividade superiores a média histórica da região do semi-árido cearense em sistemas agrossilvipastoril e silvipastoril. No entanto, são poucos os trabalhos que avaliam erosão nestes sistemas. Entre estes, Franco et al. (2002), em estudo desenvolvido na Zona da Mata de Minas Gerais, observou que os SAFs reduzem as perdas de solo por erosão comparativamente com sistemas convencionais.

Diversos outros autores mostram as dimensões das perdas provocadas por erosão, priorizando o estudo em sistemas sob plantio direto em comparação com sistemas convencionais (Melo Filho & Silva, 1997; Segranfredo et al., 1997; Shick et al., 2000a; Shick et al., 2000b; Levien & Cogo, 2001).

Na Paraíba, (Albuquerque et al., 2001; Albuquerque et al., 2002), avaliaram os efeitos do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água provocados por erosão, observando que as perdas foram diminuídas nas áreas sob vegetação nativa da caatinga.

O presente estudo teve como objetivo avaliar as perdas de solo, água e nutrientes em diferentes sistemas de manejo, para testar a hipótese de que sistemas agroflorestais reduzem os efeitos da erosão hídrica.

Material e Métodos

A área experimental localiza-se na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPIC) da Embrapa, estando situada no município de Sobral – CE. O município encontra-se no semi-árido cearense e está a 3° 41' S e 40° 20' W, com altitude de 70 m. A temperatura e a precipitação médias anuais são de 30°C e 798 mm, respectivamente (Sobral/Prefeitura Municipal). O solo da área apresenta manchas de Luvissole Crômico Órtico tí-

pico e Luvissole Hipocrômico Órtico típico, classificados de acordo com Embrapa (1999).

Estão sendo avaliados pelo CNPC, desde 1997, três modelos de sistemas de produção agrosilvipastoris: o tradicional, o fixo e o rotativo. No sistema tradicional selecionou-se uma área de 8,0 ha, a qual foi dividida em dez parcelas de 0,8 ha. Anualmente, desde 1997, uma destas parcelas é submetida às práticas típicas da agricultura itinerante, ou seja, faz-se a derrubada e queima da vegetação lenhosa, com plantio posterior de milho e feijão, por até dois anos, em seguida a parcela é deixada em pousio.

No modelo fixo, foi selecionada uma outra área de 8,0 ha a qual foi dividida em três subparcelas de 1,6; 4,8 e 1,6 ha destinadas respectivamente à agricultura, pecuária e reserva legal. Um rebanho de 20 matrizes ovinas utiliza as três parcelas da seguinte maneira: as áreas silvipastoril e de reserva constituem os piquetes de manutenção durante o ano, enquanto que a área cultivada serve somente como banco de proteínas no período seco. No modelo rotativo são seguidas as mesmas práticas agrícolas e pastoris utilizadas no modelo fixo, sendo que haverá uma rotação após um período de sete anos.

Especificamente para este trabalho, algumas situações de manejo do solo, da vegetação, das culturas e dos animais, geradas com o desenvolvimento do trabalho, foram estudadas e outras não necessariamente incluídas nos tratamentos testados. Os tratamentos foram: **Sistema Agrosilvipastoril**, oriundo do modelo fixo (AGP); **Sistema Silvipastoril**, também oriundo do modelo fixo (SILV); **Sistema Agrossilvipastoril Tradicional** cultivado nos anos de 1998 e 1999 (TR98); **Sistema Agrossilvipastoril Tradicional** cultivado nos anos de 2002 e 2003 (TR02); sistema convencional com **cultivo intensivo** de milho e feijão praticado por cinco anos consecutivos (1998-2002) (CI); área de **Reserva legal** de vegetação nativa de caatinga secundária pastejada no período seco, componente do modelo fixo (RL1); e, área de **Reserva legal** de vegetação nativa de caatinga secundária pastejada no período seco, (RL2).

As situações e o histórico das áreas (tratamentos) selecionadas para estudo são apresentadas na Tabela 1, e as propriedades e/ou características das áreas selecionadas na Tabela 2.

A determinação das perdas de sedimentos e água por erosão hídrica foi realizada em cada tratamento no período chuvoso de 2003, utilizando-se coletores de solo e água (Franco et al., 2002), instalados em cada tratamento dentro de uma área delimitada de 30 m². Cada coletor consiste de uma estrutura com abertura de 0,20 m de largura, inserido no solo e acoplado a uma calha móvel que sus-

tenta um saco plástico utilizado para o recolhimento dos sedimentos e água. Foram instalados seis coletores por unidade experimental, obedecendo-se aos seguintes pré-requisitos: comprimento de rampa de 10 m; distância entre coletores de 3m; e declividade entre 7 e 12 cm.m⁻¹ (Tabela 3).

O volume de água e a quantidade de sedimentos provenientes do escoamento superficial foram coletados e convertidos para kg de sedimento e litro de água por hectare, através da seguinte fórmula:

$$\text{Perda de sedimento (kg.ha}^{-1}\text{) ou água (L.ha}^{-1}\text{)} = (A \times Q/P) * LS$$

Onde:

A = fator de conversão, obtido pela divisão da largura da parcela em metro pela largura do aparelho (0,2 m);

Q = quantidade de sedimento em quilograma ou água em litro recolhido em cada coletor;

P = área da parcela útil de cada coletor, em hectare, obtida pelo comprimento da parcela (m) x largura (m) / 10.000 m²; e

LS = fator da equação de previsão de perdas de solo para a combinação entre o grau de declividade e o comprimento de rampa, obtido conforme Bertoni & Lombardi Neto (1990), através da seguinte equação:

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18}$$

Onde:

C = comprimento de rampa em metros; e

D = grau de declividade em porcentagem.

A cobertura proporcionada ao solo foi avaliada no final do período chuvoso, pelo método do número de interseções, conforme Favero et al. (2001). O método consiste na colocação sobre a área em que se quer determinar a cobertura, de uma rede de barbantes espaçados regularmente. A interseção entre dois barbantes perpendiculares define um ponto e representa uma área, conforme o espaçamento adotado. Conta-se, então, o número de interseções que estão sobre a vegetação. O somatório desses pontos, que significa o somatório das áreas que esses pontos representam em relação à área total dos pontos do conjunto, fornece a porcentagem de cobertura do solo. Foi lançado por três vezes, em cada parcela, um quadro de madeira de 1m² contendo uma rede de barbante, com os barbantes espaçados de 10 cm, definindo 100 pontos, sendo a leitura da cobertura feita diretamente em porcentagem.

Os teores totais de Ca, Mg, P, K, Na, Fe, Mn, Zn e Cu foram determinados nos sedimentos e na água coletados, a partir de uma amostra composta para cada coletor. As amostras de sedimentos foram secas em estufa

de circulação forçada de ar a 105°C por 24 horas. Amostras de 0,4 g de sedimento e 8 mL de água foram mineralizadas através de 5 e 4 ml, respectivamente, de uma mistura nitro-perclórica (4:1), adaptado conforme Lim & Jackson (1982). No extrato, os teores de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; K e Na por fotometria de emissão de chama; e o de P, colorimetricamente, de acordo com Embrapa (1997). O teor de carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley-Black, de acordo com Yeomans & Bremner, (1988).

A partir dos valores totais de sedimentos e água perdidos, respectivamente, calculou-se o conteúdo total de nutrientes perdidos.

Os dados foram analisados adotando-se o delineamento inteiramente casualizado com seis repetições. Foi feita análise de variância e comparações entre médias pelo teste Tukey, com um nível de significância de 5% de probabilidade, sendo utilizado o programa estatístico SAEG (Sistema de Análise Estatística e Genética) desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa -MG.

Tabela 1 - Histórico das áreas (tratamentos) selecionadas para estudo, localizadas na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos da Empresa Brasileira de Pesquisa (CNPAT - EMBRAPA), no município de Sobral-CE.

Tratamentos	Histórico
Sistema Agrossilvipastoril (AGP)	Tratamento oriundo do modelo fixo, onde foi adotado o cultivo em aléias, ou seja, faixas de 2,5 m de largura cultivada com feijão e milho, separadas por fileiras de leucena e outras leguminosas nativas, implantadas com espaçamento de 0,5 m entre plantas. Para o estabelecimento das culturas, a área teve a sua vegetação raleada preservando-se uma cobertura vegetal arbórea nativa de até 22%, o que equivale a aproximadamente 200 árvores por hectare. A madeira útil, obtida do raleamento, foi retirada para uso doméstico na fazenda e outra parte foi vendida. O material vegetal restante (folhas e ramos) foram enleirados perpendicularmente ao declive predominante na área. Durante o período chuvoso, a forragem produzida pelas leguminosas plantadas nas fileiras de separação das faixas de cultivo, são cortadas de duas a três vezes e a massa verde incorporada ao solo, juntamente com a originada do corte da rebrota dos troncos e arbustos presentes na área. No período seco, esta parcela é utilizada como banco de proteína, onde o rebanho permanece por uma hora diariamente, pela manhã. Todo o esterco recolhido do aprisco é aplicado a esta área.
Sistema Silvipastoril (SILV)	Tratamento oriundo do modelo fixo. Este tratamento consiste de uma área que teve sua vegetação lenhosa raleada e rebaixada, preservando-se uma cobertura vegetal arbórea de 38%, aproximadamente. O processo consta do controle das espécies lenhosas indesejáveis, rebaixamento da copa das espécies arbustivas e arbóreas de valor forrageiro e preservação de aproximadamente 260 árvores por hectare. Esta área é utilizada unicamente como piquete de manutenção dos animais. Todo material proveniente do raleamento e rebaixamento das espécies arbóreas foi incorporado ao solo.
Sistema Agrossilvipastoril Tradicional - 1998 (TR98)	Tratamento oriundo do modelo tradicional. Consiste de uma área submetida a derrubada e queima da vegetação lenhosa, cultivada com milho e feijão nos anos de 1998 e 1999. No período seco, a forragem e os resíduos culturais foram usados para suplementação alimentar do rebanho.
Sistema Agrossilvipastoril Tradicional - 2002 (TR-02)	Tratamento oriundo do modelo tradicional, sendo submetido às mesmas práticas utilizadas no sistema tradicional implantado em 1998, a exploração da área ocorreu nos anos de 2002 e 2003.
Cultivo Intensivo (CI)	Este tratamento corresponde a um sistema convencional, onde uma parcela de 1,0 ha foi desmatada e queimada em 1997 e cultivada com milho e feijão de 1998 a 2002.
Reserva Legal - 1 (RL1)	Tratamento oriundo do modelo fixo, sendo utilizada como reserva natural, onde poder-se-á fazer a retirada de madeira para consumo doméstico, confecção de cercas ou venda, de acordo com o potencial da vegetação. Esta área é utilizada como piquete de manutenção do rebanho durante o período seco. Considerada tratamento testemunha.
Reserva Legal - 2 (RL 2)	Tratamento que consiste de uma área de vegetação nativa de caatinga secundária, utilizada no período seco como piquete de manutenção dos animais e como fonte madeireira, configurando-se como sistema silvipastoril. Considerada tratamento testemunha sobretudo para a área de cultivo intensivo.

Tabela 2 - Características e/ou propriedades da camada de 12-20 cm do solo dos tratamentos estudado, localizados na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos da Empresa Brasileira de Pesquisa (CNPAT - EMBRAPA), no município de Sobral-CE.

Variáveis	Sistemas de manejo						
	AGP	SILV	TR98	TR02	CI	RL1	RL2
Areia grossa (g.dm ⁻³)	426,2	799,9	481,9	431,0	491,7	481,0	761,5
Areia fina (g.dm ⁻³)	587,4	393,2	516,3	346,0	507,0	397,5	530,2
Silte (g.dm ⁻³)	447,7	434,8	429,1	425,2	371,7	470,5	348,3
Argila (g.dm ⁻³)	239,0	161,5	339,3	445,2	296,0	351,3	163,0
pH em água	6,9	6,3	6,7	6,8	6,8	6,7	6,0
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	22,8	4,3	16,1	18,0	15,0	22,5	9,4
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	4,5	3,5	7,3	9,3	4,0	10,7	3,1
K ⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,7	0,7	1,2	0,9	0,6	1,6	0,5
Na ⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
CTC (cmol _c .dm ⁻³)	29,4	11,0	27,9	30,8	21,4	37,9	15,9
V (%)	96,1	77,7	89,7	91,9	91,0	92,0	82,5
CO (dag.dm ⁻³)	11,5	14,7	13,5	16,7	10,7	17,7	10,5
P disponível (mg.dm ⁻³)	446,5	4,1	113,0	5,5	17,0	55,8	26,2

AGP: agrossilvipastoril; SILV: silvipastoril; TR98: tradicional de 1998; TR02: tradicional de 2002; CI: cultivo intensivo; RL1: reserva legal 1; RL2: reserva legal 2.

Tabela 3 - Declividade e cobertura vegetal (CV) das parcelas experimentais utilizadas para cada coletor de sedimentos e água em 2003 na Fazenda Crioula pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos - Embrapa, Sobral-CE.

Sistemas		Coletores						Média
		1	2	3	4	5	6	
AGP	Declividade (cm.m ⁻¹)	7,0	7,0	8,0	9,0	8,0	9,0	8,0
	Cobertura vegetal (%)	92,0	95,0	97,0	96,0	95,0	95,0	95,0
SILV	Declividade (cm.m ⁻¹)	7,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,0	7,5
	Cobertura vegetal (%)	44,0	67,0	60,0	65,0	66,0	61,0	60,5
TR98	Declividade (cm.m ⁻¹)	11,0	10,0	10,0	11,0	12,0	12,0	11,0
	Cobertura vegetal (%)	90,0	94,0	97,0	22,0	17,0	64,0	64,0
TR02	Declividade (cm.m ⁻¹)	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	8,0	7,7
	Cobertura vegetal (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
CI	Declividade (cm.m ⁻¹)	12,0	12,0	10,0	12,0	12,0	12,0	11,7
	Cobertura vegetal (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
MN1	Declividade (cm.m ⁻¹)	10,0	12,0	12,0	10,0	12,0	12,0	11,3
	Cobertura vegetal (%)	27,0	13,0	20,0	13,0	75,0	30,0	29,6
MN2	Declividade (cm.m ⁻¹)	12,0	12,0	10,0	12,0	9,0	10,0	10,8
	Cobertura vegetal (%)	57,0	54,0	44,0	50,0	34,0	57,0	49,3

CV%: Cobertura vegetal em porcentagem, determinada no final do período chuvoso; AGP: agrossilvipastoril; SILV: silvipastoril; TR98: tradicional de 1998; TR02: tradicional de 2002; CI: cultivo intensivo; RL1: reserva legal 1; RL2: reserva legal 2.

Resultados e Discussão

Os valores médios de perdas de solo, água e nutrientes, nos tratamentos testados, encontram-se na Tabela 4. No geral, as perdas de solo e água foram baixas em todos os tratamentos estudados, quando comparadas a outros sistemas de exploração agrícola, inclusive com o plantio direto, uma prática reconhecidamente eficiente no controle da erosão hídrica. Melo Filho & Silva (1993), encontraram

em um Argissolo Vermelho-Amarelo, no Ceará e sob plantio direto, perdas de solo de 3,1 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e 38,6% de água. Já Seganfredo et al. (1997), também, estudando diversas combinações de culturas sob plantio direto no Rio Grande do Sul, encontraram perdas de solo de 0,53 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e 2,6% de água. A maior perda de solo (0,55 t.ha⁻¹) foi observada na área de RL1 (Tabela 4 e Figura 1),

Tabela 4 - Perdas de solo, água, carbono orgânico (CO) e nutrientes por erosão em um Luvisolo Crômico Órtico em diferentes sistemas agroflorestais no ano de 2003, Sobral-CE.

Variável		Sistemas						
		AGP	SILV	TR98	TR02	CI	RL1	RL2
CO (dag.ha ⁻¹)	Solo	1407,4 ab	607,4 b	1700,1 ab	800,1 b	258,0 b	3850,4 a	1393,9 ab
	Água	21,3 c	11,0 c	58,3 b	22,0 c	38,6 bc	130,1 a	63,8 b
	Total	1428,8 ab	618,4 b	1758,4 ab	822,1 b	137,0 c	3980,5 a	1457,7 ab
Ca (dag.ha ⁻¹)	Solo	80,3 b	17,4 b	63,2 b	51,1 b	47,3 b	361,4 a	118,4 b
	Água	14,8 b	12,8 c	142,7 a	50,5 abc	122,3 ab	118,0 abc	40,8 abc
	Total	95,2 b	30,2 b	205,9 b	101,5 b	169,7 b	479,4 a	159,2 b
Mg (dag.ha ⁻¹)	Solo	115,8 abc	37,2 c	180,2 ab	66,3 bc	9,8 c	227,4 a	46,8 bc
	Água	1,6 b	1,7 b	11,9 a	5,9 ab	6,2 ab	13,6 a	4,8 ab
	Total	117,5 abc	38,9 c	192,2 ab	72,2 bc	16,0 c	241,0 a	51,6 c
Na (dag.ha ⁻¹)	Solo	17,9 ab	6,9 b	19,6 ab	9,1 b	8,4 b	38,0 a	12,2 b
	Água	4,4 b	3,8 b	41,1 a	16,1 ab	29,2 ab	34,1 a	15,8 ab
	Total	23,4 bc	10,7 c	60,7 a	25,2 bc	37,6 ab	72,1 ab	28,0 ab
K (dag.ha ⁻¹)	Solo	148,9 ab	53,3 b	263,5 ab	69,4 b	13,3 b	279,3 a	71,3 b
	Água	3,9 c	5,6 c	48,4 a	15,5 bc	18,0 abc	35,5 ab	13,0 bc
	Total	152,8 b	58,9 b	312,0 a	85,0 b	31,2 b	316,8 a	84,3 b
P (dag.ha ⁻¹)	Solo	18,2 ab	7,0 b	19,9 ab	9,7 b	4,1 a	30,0 a	13,7 ab
	Água	0,1 b	0,3 b	1,4 a	0,3 b	10,6 ab	0,4 b	0,7 ab
	Total	18,3 ab	7,1 b	21,3 ab	10,1 b	14,4 b	37,3 a	14,4 ab
Fe (dag.ha ⁻¹)	Solo	946,0 abc	494,6 bc	1327,0 ab	607,0 bc	134,5 c	2055,5 a	375,3 bc
	Água	0,3 c	0,1 c	2,1 ab	1,0 abc	2,5 a	2,6 a	0,8 c
	Total	946,3 abc	494,7 bc	1329,1 ab	608,0 bc	137,0 c	2058,1 a	376,1 bc
Cu (dag.ha ⁻¹)	Solo	0,8 a	0,4 a	1,0 a	0,6 a	0,1 a	1,9 a	0,4 a
	Água	0,2 b	0,6 c	7,2 a	2,3 ab	4,0 ab	1,4 ab	0,6 b
	Total	1,0 a	1,0 a	8,2 a	2,9 a	4,2 a	3,3 a	0,9 a
Zn (dag.ha ⁻¹)	Solo	38,8 ab	13,8 b	42,7 ab	16,8 b	8,2 b	78,89 a	38,7 ab
	Água	0,2 b	0,2 b	2,1 a	0,4 a	1,2 ab	0,7 b	0,5 b
	Total	39,0 bc	14,0 b	44,8 ab	17,2 b	9,4 b	79,5 a	39,3 b
Mn (dag.ha ⁻¹)	Solo	13,1 b	5,2 b	21,2 ab	11,0 b	3,0 b	32,7 a	8,5 b
	Água	0,1 b	0,1 b	1,8 a	0,5 b	0,4 b	0,9 b	0,1 b
	Total	13,2 bc	5,3 bc	23,0 ab	11,5 bc	3,4 c	33,6 a	8,6 bc
Solo (t.ha ⁻¹)		0,3 ab	0,15 b	0,37 ab	0,23 b	0,11 b	0,55 a	0,22 b
Água (% da chuva)		0,04 c	0,04 c	0,43 a	0,13 bc	0,27 abc	0,29 ab	0,10 bc

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

diferindo significativamente ($p < 0,05$) das áreas TR02, RL2, SILV e CI, porém, não o foi com relação aos tratamentos TR98 e AGP. A área TR98 apresentou a maior perda de água (0,43%), diferindo significativamente das áreas TR02, RL2, AGP e SP.

Quanto aos resultados obtidos no tratamento RL1, a relação entre o estrato de vegetação arbóreo e o herbáceo, parece justificar o observado. Essa é uma área de caatinga nativa preservada, com alta densidade de árvores e alta capacidade de rebrota quando começa a estação chu-

vosa, gerando uma cobertura que restringe a passagem da radiação solar, refletindo diretamente no desenvolvimento da vegetação herbácea. A cobertura do solo proporcionada pelo estrato herbáceo nessa situação avaliada foi de 29,6% no final do período chuvoso, sendo a menor entre os tratamentos avaliados (Tabela 3).

Segundo Segnanfredo et al. (1997), entre as diversas variáveis que interferem no processo de erosão, a cobertura vegetal é, reconhecidamente, o fator isolado que exerce maior influência. Entretanto, a extensão dessa proteção

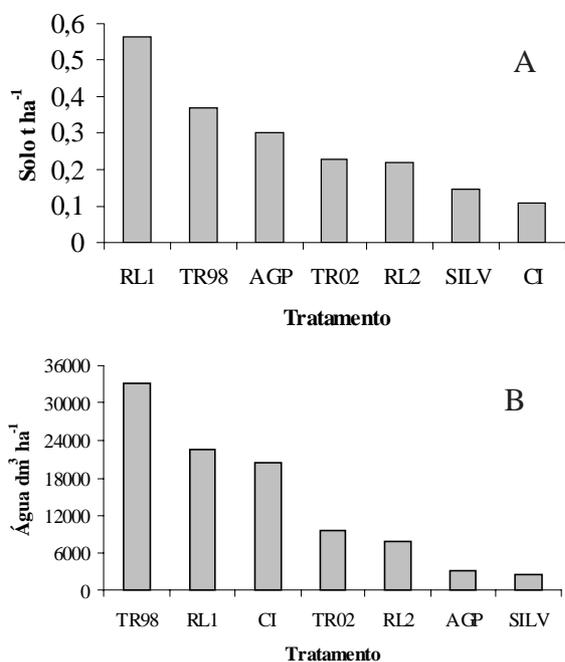


Figura 1 - Perdas de solo (A) e água (B), nos diferentes sistemas agroflorestais e convencional, de um Luvisolo Crômico Órtico, no ano de 2003, Sobral-CE.

depende do tipo de planta, de folhas e raízes. Vários são os trabalhos que evidenciam a eficiência da vegetação, da serrapilheira e dos restos culturais no controle da erosão (Melo Filho & Silva, 1993; Seganfredo et al. 1997; Shick et al., 2000a). Por outro lado, alguns pesquisadores (Brandt, 1989; Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Erskine, 1991; Seganfredo et al., 1997) ponderam a possibilidade da cobertura das árvores aumentar a erosão em alguns casos. De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990), as gotas de chuva que são retidas pela copa das árvores tendem a se unir, formando outras de maior massa. A queda destas gotas a alturas superiores a 7 m é suficiente para que estas atinjam uma velocidade terminal semelhante quando estão em queda livre, sem serem subdivididas pelo atrito do ar. Em alturas inferiores a 7 m, a velocidade das gotas será proporcional ao seu peso. Portanto, é provável que os valores de perdas de solo e água observados no tratamento RL1 estejam associados à cobertura formada pelas árvores (e seus efeitos sobre as gotas de chuva), juntamente com a menor cobertura vegetal do solo (Tabela 3).

A relação existente entre perda de solo e água com a cobertura do solo é evidenciada quando avaliam-se os resultados encontrados no tratamento RL2, que, assim como o tratamento RL1, é uma área de vegetação nativa da caatinga, porém, apresentando cobertura rasteira de 57,0%,

quase o dobro da cobertura do tratamento RL1 (Tabela 3). Devido a esse fato, o tratamento RL2 apresentou perdas de solo significativamente inferiores às encontradas no tratamento RL1, sendo que para as perdas de água as diferenças não foram significativas.

Contudo, os resultados do tratamento RL1 são compatíveis com encontrados por Albuquerque et al. (2001), em Luvisolo, também, sob vegetação de caatinga nativa no estado da Paraíba. Esses autores observaram em oito anos de avaliações, uma perda média de 0,1 t.ha⁻¹ de solo e 14,0 mm de água, havendo, porém, ano em que a perda foi de 0,9 t.ha⁻¹ de solo.

O tratamento TR98 apresentou as maiores perdas de água (0,43% da chuva); contudo, em relação a sedimentos, essas foram inferiores somente ($p < 0,05$) ao tratamento RL1. Os dados de cobertura do solo não justificam tais perdas. Provavelmente, o solo sob o tratamento TR98 apresenta uma menor capacidade de infiltração em relação aos demais. Como as perdas de sedimentos e água concentraram-se no mês de abril, tal quadro pode estar indicando que as chuvas de fevereiro e março (Figura 2) contribuíram para a saturação do solo, favorecendo assim, um maior escoamento superficial durante o mês de abril.

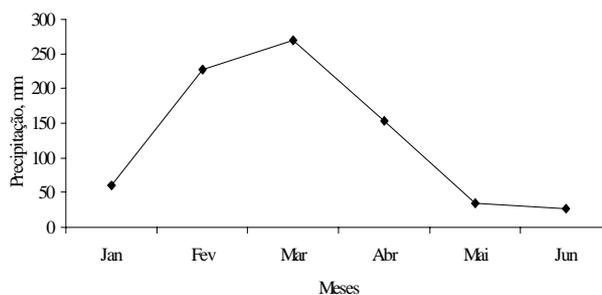


Figura 2 - Médias mensais de precipitação no ano de 2003, na Fazenda Crioula-CNPC, Sobral-CE.

Observou-se no tratamento AGP, perdas elevadas de solo, contudo, pequenas de água, comparando com os demais tratamentos estudados. Nesse tratamento, três fatores podem ter provocado esses resultados. Primeiro a presença do cultivo em aléias, formando barreiras espaçadas a cada 2,5 m contribuiu para a diminuição da velocidade da enxurrada, permitindo uma maior infiltração da água. Já as perdas de solo podem ter sido favorecidas pelo revolvimento do solo, uma vez que as perdas de solo ocorreram mais intensamente no mês de fevereiro, justamente quando a cobertura vegetal ainda estava sendo formada.

Entretanto, os valores de perdas de solo e água encontrados nas áreas AGP e TR02 são inferiores aos encontrados por Levien & Cogo (2001), quando estudavam erosão na cultura do milho sob diferentes métodos de preparo do solo e sob condições de chuva simulada. Esses autores observaram nos tratamentos aveia-milho sob plantio direto com tração animal e aveia-milho sob plantio direto tratorizado, valores de perdas de solo equivalentes a 0,6 e 0,5 t.ha⁻¹, respectivamente. Valores mais expressivos foram observados nos tratamentos sob plantio convencional, chegando a 35,2 t.ha⁻¹ na tração animal e 66,7 t.ha⁻¹ na área tratorizada.

O tratamento SILV, dentre todas as áreas foi a que perdeu menos água e apresentou a segunda menor perda de solo. Isso, provavelmente, ocorreu devido ao não revolvimento do solo, a boa cobertura vegetal (Tabela 3), além da cobertura morta existente na área, proveniente do material originado do raleamento e rebaixamento da vegetação arbórea, o que, talvez, proporcionou melhores condições físicas do solo.

Em relação ao tratamento CI, observaram-se as menores perdas de solo comparativamente aos demais tratamentos, porém uma elevada perda de água, igualando-se ($p < 0,05$) a TR98. Cabe ressaltar que, no período da coleta dos dados (janeiro a junho de 2003), esse tratamento estava sob pousio há cerca de cinco meses. Verificou-se, nessa área, uma alta frequência de gramíneas de crescimento espontâneo. Portanto, os resultados obtidos não retratam as reais perdas ocorridas durante os cinco anos de cultivo intensivo a que essa área foi submetida. Porém, as perdas de água observadas, indicam uma menor velocidade de infiltração da água, provavelmente causada pela remoção das camadas superficiais, expondo um horizonte tipicamente restritivo ao movimento de água, como é o caso do B textural, característico nos Luvissolos.

As perdas de nutrientes (macro e micronutrientes) e carbono orgânico tiveram a mesma tendência que as perdas de solo e água (Tabela 4), sendo os tratamentos RL1 e TR98 os que apresentaram as maiores perdas. Esses resultados são confirmados por outros estudos (Seganfredo et al., 1997; Schick et al., 2000b). Como as perdas de CO e nutrientes foram proporcionais as de solo e água, essas também foram mínimas, praticamente insignificantes. No solo o CO foi o constituinte perdido em maior quantidade em todos os tratamentos, concordando com Gregorich et al. (1998) e Schick et al. (2000b), devido ao seu alto teor nas camadas superficiais do solo e, ainda, por ser removido mais facilmente pela erosão, tendo em vista sua baixa densidade. Em geral, a perda total de K foi superior a de P, o que

também foi verificado por Seganfredo et al., (1997) e Schick et al. (2000b). Isso pode ter ocorrido devido a maior solubilidade do K, em relação ao P, o que facilitou o transporte pela água e, principalmente, pelo seu maior teor no solo.

Os nutrientes Ca, Mg, K e P perdidos na água apresentaram seqüência semelhante a observada por Hernani et al. (1999), ou seja $Ca > K > Mg > P$, já os mesmos nutrientes perdidos no solo apresentaram comportamento diferenciado, sendo observados de acordo com a seguinte ordem $K > Mg > Ca > P$.

Os teores totais de micronutrientes perdidos ocorreram de acordo com a seguinte ordem $Fe > Zn > Mn > Cu$, mais expressivos no solo, com exceção do Cu, com perdas maiores na água, na maioria dos tratamentos.

Conclusões

1. Dentre os sistemas agroflorestais estudados, o SILV e o TR02 foram os que mais proporcionaram redução nas perdas de solo, água e nutrientes por erosão.
2. As maiores perdas de solo ocorreram na área de reserva legal 1 (RL1), enquanto que as perdas de água foram maiores no tratamento TR98. Entretanto, os resultados obtidos neste estudo foram inferiores aos observados em outras condições e sistemas agrícolas convencionais, porém, semelhantes aos encontrados em outros sistemas agroflorestais.
3. O tratamento TR98 apresentou elevadas perdas de solo e água, evidenciando uma restrição a infiltração da água. Já no tratamento CI observou-se apenas uma alta perda de água.
4. Os teores totais de macro e micronutrientes perdidos foram proporcionais as de solo e água, portanto, maiores nos tratamentos de reserva legal (RL1) e TR98, respectivamente.

Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.136-141, 2002
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da Caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissolo em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.25, n.1, p.121-128, 2001.

- ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. Sistemas de produção agrossilvipastoril para o semi-árido nordestino. In: CARVALHO, M. M., ALVIM, M. J., CARNEIRO, J. C. (Ed). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais**. Juiz de Fora: EMBRAPA-Gado de Leite, 2001. p.101-110.
- BAGGIO, A. J. Alternativas agroflorestais para a recuperação de solo degradados na região Sul do país. In: SIMPÓSIO NACIONAL DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992 Curitiba. **Anais**. Curitiba: UFPR, 1992. p.126-131.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3.ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BRANDT, C.J. The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies. **Catena**, v.16, n.4-5. p.507-524, 1989.
- DUBOIS, J. C. L. Alternativas agroflorestais para a recuperação de solo degradados na região Norte do país. In: SIMPÓSIO NACIONAL DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais**. Curitiba: UFPR, 1992. p.107-125.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA -CNPS, 1999. 412p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA -CNPS, 1997. 212p.
- ERSKINE, J. M. Agroforestry: Its development as a sustainable, productive land-use system for low-resource farmers in southern Africa. **Forest Ecology and Management**, v.45. n.1-4, p.281-291, 1991.
- FAO. **Consulta d expertos sobre la avance de la agroforesteria en zona aidas y semiaridas da America Latina ey Caribe**, 1995. 152p. (Série zonas Aridas y Semiaridas, 1).
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.11, p.1355-1362, 2001.
- FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. de; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J. A. A. Quantificação da erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.751-760, 2002.
- GREGORICH, E.G.; GREER, K.J.; ANDERSON, D.W. et al. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. **Soil & Tillage Research**, v.47, n.3-4, p.291-302, 1998.
- HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H. ; SILVA, W. M. Sistema de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.23, n.1, p.145-154, 1999.
- LEVIEN, R.; COGO, N. P. H. Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração animal e tratorizada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.25, n.3, p.683-692, 2001.
- LIM, H. C.; JACKSON, M. L. Dissolution for total elemental analysis. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. **Methods of soil analysis: II**. Chemical and microbiological properties. ASA. 2.ed., Madison: ASA. SSSA, 1982. p.1-12.
- MACEDO, R. L. G. Sistemas agroflorestais com leguminosas arbóreas para recuperar áreas degradadas por atividades agropecuárias. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba, **Anais**. Curitiba: UFPR, 1992. p.288-297.
- MELO FILHO, J. F.; SILVA, J. R. C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um podzólico vermelho-amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.17 n.2, p.291-297, 1993.
- NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer, 1993. 499p.
- OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JUNIOR, R. N.; ROMERO, R. E. (Ed). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido brasileiro**. Fortaleza: UFC; Viçosa: SBCS, 2000. 406p.
- SÁ, I. B.; FOTIUS, G. A.; RICÉ, G. R. Degradação ambiental e reabilitação natural do trópico Semi árido brasileiro. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO, 1994, Fortaleza: ESQUEL, 1994.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26. 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro : SBCS, 1997.1 CD ROOM.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. O. Erosão hídrica em Cambissolo húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.24, n.2, p.427-436, 2000a.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.24, n.2, p.437-447, 2000b.
- SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.21, n.2, p.287-291, 1997.
- SOBRAL. PREFEITURA MUNICIPAL. Disponível na Internet. [<http://www.sobral.ce.gov.br>]; em 07 jun. 2004.
- WANDELLI, E. V.; PERIN, R.; SOUSA, S. G. Sistemas agroflorestais: uma alternativa para recuperação de áreas degradadas na Amazônia Ocidental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3. 1997, Ouro Preto. **Trabalhos voluntários: Resumos**, Ouro Preto: SOBRADE: UFV, 1997.p.488-493.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, p.1467-1476, 1988.