

Comissão 3.2 - Manejo e conservação do solo e da água

EROSÃO SUPERFICIAL EM ARGISSOLO AMARELO SOB CULTIVO PERENE E COM POUSIO FLORESTAL EM ÁREA DE RELEVO MONTANHOSO⁽¹⁾

Carlos André Ribeiro Mendes⁽²⁾, Claudio Fernando Mahler⁽³⁾ &
Aluísio Granato de Andrade⁽⁴⁾

RESUMO

A Região Serrana Fluminense possui muitas nascentes de água com as maiores áreas de remanescentes da Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. Para conciliar a preservação ambiental com a intensa produção de olerícolas nessa região de relevo montanhoso, é relevante conhecer e controlar a ação nociva da erosão. Este trabalho teve como objetivo estudar as perdas de solo por erosão superficial e suas componentes hidrológicas, em uma encosta com aproximadamente 65 cm m⁻¹ de declividade, em tratamentos sob cultivo de olerícolas em rotação, banana e deixada sob pousio florestal por três anos. O estudo foi realizado em uma microbacia no município de Bom Jardim, instalando-se quatro parcelas experimentais com 88,0 m² (4 x 22 m) de área cada uma, para o monitoramento de perdas de solo, escoamento superficial e dinâmica da água no solo. Foi feita a caracterização do solo, determinando-se características físicas, químicas e mineralógicas. Os resultados indicaram que as maiores perdas por erosão acumulada foram registradas no período de maior precipitação, entre setembro e março, correspondendo a aproximadamente 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ no tratamento sob cultivo anual e em torno de 10 t ha⁻¹ ano⁻¹ no tratamento com pousio florestal ainda no primeiro ano de desenvolvimento. Os atributos do solo que melhor se correlacionaram com a erosão foram a textura e o índice de estabilidade dos agregados. Constatou-se que o tempo utilizado nos cultivos e pousios pode dificultar a manutenção dos recursos naturais nesses locais, comprometendo a estabilização dessas encostas e sua vegetação.

Termos de indexação: perda de solo e água, olerícolas, atributos do solo, agricultura em encosta.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 12 de maio de 2009 e aprovado em 6 de dezembro de 2010.

⁽²⁾ D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ. Av. Pedro Calmon 550, Cidade Universitária, CEP 21941-901 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: mendes0601@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Associado III. COPPE/UFRJ. E-mail: cfmahler@acd.ufrj.br

⁽⁴⁾ Pesquisador. Embrapa – Cnps. E-mail: aluisio@cnps.embrapa.br

SUMMARY: *SURFACE EROSION OF AN ULTISOL UNDER PERENNIAL CROP AND FOREST FALLOW IN A MOUNTAINOUS AREA*

The mountainside region of Rio de Janeiro (Região Serrana Fluminense) has many freshwater springs and the State's largest remaining area of Atlantic Rainforest. It is important to know and control the harmful effects of soil erosion in order to harmonize environmental preservation with the intensive vegetable production in this mountain region. The purpose of this paper was to study soil loss by erosion and the hydrological components in an area with a slope gradient of 65 cm m⁻¹. The study area consisted of plots with vegetable production in a rotation system, with banana and of a five-year-old forest fallow in a small watershed of the municipality of Bom Jardim. Three experimental plots of 88.0 m² each (4 x 22 m) were installed to monitor soil loss, runoff and soil water dynamics. Soil characterization was performed by physic, chemical and mineralogy analysis. The highest soil erosion loss was recorded in the critical period between September and March, with approximately 30t ha⁻¹ yr⁻¹ from the annual crops and 10 t ha⁻¹ yr⁻¹ from forest fallow in the first year of development. The soil properties that correlated best with erosion were texture and the soil aggregate stability index. It was concluded that the time of soil use for vegetable cultivation and forest fallow can affect the maintenance of natural resources in this area, reducing slope stability and accelerating the erosive processes.

Index terms: soil and water loss, vegetable production, agriculture on slopes.

INTRODUÇÃO

O estudo da erosão superficial na Região Serrana Fluminense é de grande importância ambiental, tendo em vista o desenvolvimento de estratégias que possibilitem conciliar o desenvolvimento da agricultura com a conservação dos remanescentes da vegetação natural e recuperação das áreas degradadas. Nessa região estão situados os principais fragmentos de Mata Atlântica com intensa produção de olerícolas sob sistema de pousio florestal (Oliveira et al., 1995). O município de Bom Jardim possui desde meados do século XIX registros dessa prática. O sistema é composto em geral por três formas de manejo: cultivo permanente ou perene (banana e café), cultivo anual de olerícolas (inhame, mandioca, batata e milho) e área em pousio florestal (capoeira) (Reis, 2002).

Nos cultivos perenes, a mobilização do solo ocorre principalmente na fase de implantação das culturas, enquanto nos cultivos anuais ocorre maior revolvimento do solo tanto no plantio como também na colheita, dependendo da cultura, como o inhame, a mandioca e a batata, por exemplo. As declividades acentuadas, geralmente superiores a 35°, refletem a necessidade do uso de técnicas agrícolas conservacionistas, como o plantio em curva de nível, o uso de cobertura vegetal, cultivos consorciados, a manutenção de restos de culturas, a implantação de cordões vegetados, etc., a fim de minimizar as perdas de solo por erosão.

Com a mudança no código florestal (Decreto nº 750/1993 e CONAMA nº 06/1994), os produtores da região reduziram o tempo de pousio de 10 a 15 anos para no máximo três a cinco anos. A consequência imediata

na forma de manejo foi a intensificação do uso do solo e dos recursos hídricos (Freitas et al., 1997), o que acarreta a aceleração dos processos erosivos e a formação de áreas com variados estádios de degradação, desde a ocorrência de erosão laminar, em sulcos, e formação de voçorocas.

A erosão em encostas pode ser entendida como resultado da energia potencial da chuva e de outros fatores de erosão perante a resistência dos componentes ambientais (solo, topografia, coberturas vegetais e práticas agrícolas). As propriedades do solo que podem ser influenciadas pela erosividade são as que alteram a velocidade da infiltração da água do solo, a permeabilidade e a capacidade de retenção da água, bem como aquelas que resistem à capacidade de dispersão ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada (Guerra & Cunha, 1995).

Entre os atributos que podem influenciar a erodibilidade do solo estão a textura, o teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados e óxidos de Fe e Al (Martins Filho et al., 2001).

Estudos de perdas de solo e seus componentes hidrológicos podem contribuir significativamente para o planejamento da época de plantio e para a adaptação e, ou, desenvolvimento de práticas conservacionistas, garantindo a manutenção da produtividade (renda) e qualidade dos recursos ambientais. Nesse sentido, no presente trabalho foi avaliada a influência de diferentes formas de uso da terra com relação às perdas de solo por erosão superficial na região serrana fluminense.

Os objetivos foram determinar as perdas de solo por erosão superficial sob cultivo rotacionado de olerícolas, cultivo perene com banana e pousio da vegetação natural após três anos sem cultivo; determinar os fluxos superficiais por meio da instalação de um sistema de parcelas experimentais nas três formas de manejo citadas anteriormente; monitorar a dinâmica da água no solo, para investigação da sucção e da umidade antecedente aos eventos pluviométricos, por meio do uso de tensiômetros manuais de Hg instalados ao longo da encosta; e estudar as correlações entre a erosão superficial e os atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Em uma encosta situada no distrito de Barra Alegre, município de Bom Jardim, RJ, com altitude de aproximadamente 960 m e declividade de 65 cm m⁻¹ ($\pm 37^\circ$), foram montados três parcelas de estudo de perda de solo “padrão” Wischmeier (1959), com dimensões de 4,0 m de largura por 22,0 m de comprimento, totalizando 88,0 m² de área, que foram monitorados durante quatro anos. O solo da encosta selecionada é um Argissolo Amarelo distrófico câmbico. As parcelas foram montadas em uma área sob cultivo de bananas com idade de 15 anos, uma área sob cultivo de olerícolas (inhame, feijão, milho e vagem) em rotação e uma área em pousio florestal recente (Figura 1).

As enxurradas provenientes das parcelas causadas pelas chuvas foram coletadas separadamente em um sistema de caixas-d'água na extremidade inferior da encosta, onde foram registrados os volumes totais de escoamento superficial de cada tratamento. A cada chuva eram coletadas amostras de água e sedimentos, as quais eram colocadas em potes e levadas para



Figura 1. Vista das parcelas na encosta sob diferentes formas de cultivo e pousio florestal.

o laboratório a fim de serem processadas por meio de filtração em papel-filtro, estabelecendo-se as taxas de perdas totais de solo e água. No interior das parcelas foi instalado um conjunto de tensiômetros manuais de Hg na profundidade de 15 cm, onde se mediram os potenciais matriciais (sucções) nesses pontos. Esses potenciais foram correlacionados com as formas de manejo em cada parcela (cobertura vegetal), identificando o estado da umidade do solo em uma escala temporal antecedente aos eventos pluviométricos. O levantamento pluviométrico foi realizado com a instalação de pluviômetros situados próximos às parcelas, gerando dados de chuva a cada 24 h.

O procedimento para determinação dos atributos do solo consistiu na subdivisão das parcelas em três terços em cada topossequência dos manejos estudados, caracterizando-se como unidades amostrais de TS (terço superior da paisagem), TM (terço médio da paisagem), e TI (terço inferior da paisagem). Foram coletadas três amostras compostas por cada terço, totalizando nove repetições por parcela. As amostragens de solo para as determinações supracitadas foram realizadas na profundidade de 0–15 cm, com três amostras simples formando uma amostra composta, repetidas nas topossequências. Foram coletadas amostras deformadas para realizar caracterizações de rotina em laboratório (Embrapa, 1997): granulometria, utilizando NaOH como agente dispersante, análise química dos macroelementos, carbono orgânico e pH. Foram coletadas também amostras indeformadas na profundidade de 0–15 cm, para a caracterização física do solo, analisando-se os atributos densidade, porosidade e condutividade hidráulica, segundo os procedimentos recomendados pela Embrapa (1997), e índice de estabilidade de agregados, segundo Castro Filho et al. (1998) e Madari et al. (2005). As análises estatísticas foram análise de variância e comparações de médias pelo teste de Tukey a 5 % (Vieira & Hoffmann, 1989).

Na obtenção do teor de matéria orgânica do solo, utilizaram-se os teores de C, multiplicados pelo fator 1,724 (De Polli, 1998), o qual estabelece um limite de matéria orgânica do solo em função da estabilidade de agregados superior a 3,5 dag kg⁻¹.

Foram realizadas sondagens a trado e abertura de trincheiras, retirando amostras indeformadas, para determinação dos seguintes atributos: densidade do solo, condutividade hidráulica, porosidade total, macro e microporosidade, conforme método Embrapa (1997). Os ensaios de estabilidade de agregados foram obtidos segundo método descrito por Bertoni & Lombardi (1992).

A condutividade hidráulica foi determinada em laboratório, com o permeâmetro de carga constante. As demais amostras indeformadas retiradas no campo foram submetidas a diferentes tensões por meio da câmara extratora de Richards em laboratório, estabelecendo o percentual de saturação e as curvas características de retenção de umidade.

RESULTADOS

Os resultados da análise granulométrica e química do solo são apresentados no quadro 1.

Os dados obtidos na avaliação física do solo são apresentados no quadro 2.

Os valores do grau de flocculação encontrados – 24,8 % no tratamento de banana, 40,2 % no tratamento de olerícolas e 49,1 % no tratamento em pousio florestal – indicaram grau de estabilidade dos

agregados relativamente baixo (Mendes, 2006). Os dados obtidos na curva característica de retenção de umidade são apresentados no quadro 3.

Correlações entre os processos erosivos e os atributos do solo

Analisando os atributos físicos do solo, observou-se relação direta dessas propriedades com as perdas de solo registradas nos tratamentos experimentais, embora essa análise não deva ser feita isoladamente

Quadro 1. Análise granulométrica e química do solo na profundidade de 0–15 cm sob diferentes formas de cobertura vegetal

| Tratamento | Ar. Grossa | Ar. Fina | Silte | Argila | pH H ₂ O | C org | Al | Ca + Mg |
|---------------|------------|----------|-------|--------|---------------------|----------------------|------------------------------------|---------|
| | % | | | | | dag kg ⁻¹ | cmol _c dm ⁻³ | |
| Banana | 52,1 | 18,3 | 7,7 | 21,7 | 5,13 | 12,19 | 0,25 | 5,28 |
| Pousio | 45,8 | 14,2 | 16,7 | 24,2 | 5,36 | 11,81 | 0,37 | 5,27 |
| Olerícolas | 44,6 | 10,6 | 24,7 | 20,1 | 5,36 | 13,57 | 0,22 | 6,24 |
| CV (%) | 7,38 | 26,38 | 45,13 | 8,54 | 3,36 | 12,31 | 41,6 | 12,04 |
| Desvio-padrão | 3,5 | 3,78 | 7,4 | 1,88 | 0,18 | 1,69 | 0,09 | 0,73 |

Diferença entre médias não significativas a 5 % com o teste Tukey.

Quadro 2. Densidade, porosidade, condutividade hidráulica e índice de estabilidade dos agregados, na profundidade de 0–15 cm

| Tratamento | Ds | P total | MiP | MaP | K | DMP | DMG | IEA |
|---------------|---------------------|---------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
| | kg dm ⁻³ | % | | | cm h ⁻¹ | % | | |
| Banana | 1,17 | 51,57 | 31,50 | 20,07 | 25 | 3,06 | 1,19 | 90,12 |
| Pousio | 1,19 | 57,54 | 29,40 | 28,14 | 5 | 2,23 | 1,08 | 83,58 |
| Olerícolas | 1,21 | 57,57 | 31,80 | 25,77 | 15 | 3,01 | 1,17 | 86,79 |
| CV (%) | 4,7 | 3,9 | 5,96 | 13,1 | 30 | 28,31 | 10,87 | 37,04 |
| Desvio-padrão | 0,1 | 2,52 | 2,4 | 2,23 | 4,96 | 0,95 | 0,14 | 0,83 |

Comparações de médias pelo uso do teste Tukey com 5 % de significância não indicaram diferenças significativas entre as médias. Ds: densidade do solo; P total: porosidade total; MiP: microporosidade; MaP: macroporosidade; K: condutividade hidráulica; DMP: diâmetro médio ponderado; DMG: diâmetro médio geométrico; IEA: índice de estabilidade dos agregados (Castro Filho et al., 1998 e Madari et al., 2005).

Quadro 3. Relação da retenção de umidade do solo nas amostras retiradas na profundidade de 0–15 cm, submetidas a diferentes tensões em MPa

| Tratamento | Saturação | Tensão (MPa) | | | | | |
|---------------|-----------|--------------|------|-------|------|------|------|
| | | 0,006 | 0,01 | 0,033 | 0,1 | 0,5 | 1,5 |
| | % | % | | | | | |
| Banana | 61,9 | 31,5 | 29,9 | 25,2 | 21,6 | 18,4 | 16,3 |
| Pousio | 60,8 | 29,4 | 27,7 | 24,5 | 21,6 | 18,9 | 15,3 |
| Olerícolas | 62,1 | 31,8 | 30,3 | 25,7 | 22,2 | 18,3 | 14,6 |
| CV (%) | 3,91 | 6,01 | 6,35 | 5,98 | 5,44 | 4,2 | 2,99 |
| Desvio-padrão | 2,19 | 1,81 | 1,82 | 1,5 | 1,21 | 0,79 | 0,47 |

Os testes de médias, por meio do teste Tukey à nível de 5 %, não indicaram diferenças significativas entre as médias observadas. Succões em MPa aplicadas na câmara extratora de Richards.

para cada parâmetro. As frações granulométricas no tratamento sob pousio florestal e no tratamento sob cultivo de olerícolas não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Na avaliação da estabilidade dos agregados, o parâmetro diâmetro médio ponderado (DMP) não apresentou diferença significativa no tratamento sob cultivo de banana, no tratamento sob cultivo de olerícolas ou no tratamento em pousio florestal recente. Os valores de DMP analisados no tratamento sob cultivo de olerícolas não mostraram diferença estatística significativa dos encontrados no tratamento em pousio recente (medidos durante os anos 2001 a 2003). Portocarrero & Andrade (2002) observaram que, em áreas de pousio superiores a três anos, houve aumento dos valores de DMP, permanecendo mais estáveis do que os agregados do tratamento sob cultivo. As análises dos agregados mostraram ainda que o tratamento em pousio apresentou o menor percentual de agregados na classe maior que 2,0 mm, que é considerada a mais importante para a boa estruturação dos solos.

Não foi observada diferença estatística significativa nos valores de IEA para o cultivo da banana mesmo quando associados ao maior período sem ocorrência de revolvimento do solo. Esses valores de IEA foram semelhantes aos dados observados por Portocarrero & Andrade (2002), em área de pousio florestal de três anos de formação.

Os teores de matéria orgânica encontrados no tratamento sob cultivo de olerícolas, 2,34 dag kg⁻¹, seguido do tratamento sob cultivo de banana, 2,15 dag kg⁻¹, e do tratamento em pousio recente, 1,95 dag kg⁻¹, como pode ser observado, não apresentaram diferença estatística significativa. Guerra & Cunha (1995) relatam que solos com teores de matéria orgânica inferiores a 2,0 dag kg⁻¹ possuem baixa estabilidade de agregados. Hiel et al. (1997) verificaram que amostras de solos com menores teores de matéria orgânica apresentaram maior tendência ao selamento superficial em relação àquelas com maiores teores. Essa relação apresenta-se coerente com os valores de índice de agregados já discutidos.

Na avaliação dos atributos porosidade e densidade do solo, observou-se que no tratamento sob cultivo de olerícolas e no tratamento sob cultivo de banana não foi observada diferença estatística significativa. Esses dados explicam o baixo grau de compactação no tratamento sob cultivo de banana, pois essa área encontra-se estável, enquanto no tratamento sob cultivo de olerícolas, a cada três anos, há uma alteração entre cultivos e pousios.

A retenção de umidade do solo dos corpos de prova na câmara extratora de Richards indica a não existência de diferença estatística significativa na retenção de umidade no tratamento em pousio recente, cuja capacidade de campo (0,030 MPa) foi de 26,3 %,

comparada com o tratamento sob cultivo de olerícolas, 25,6 %, e o tratamento sob cultivo de banana, com capacidade de campo de 23,4 %. Em relação ao estado da umidade considerada limite para a sobrevivência da maioria das plantas (1,5 MPa), observou-se também a falta de diferença significativa na retenção de umidade no tratamento sob cultivo de banana, 16,28 %, quando comparada ao tratamento em pousio recente, 16,02 %, e ao tratamento sob cultivo rotacionado, 15,36 %. Essa avaliação corresponde aos resultados obtidos pelo ensaio de condutividade hidráulica.

Determinação das perdas de solo e seus componentes hidrológicos

Os dados de distribuição pluviométrica, perdas de solo, escoamento superficial e potenciais matriciais (sucção) são apresentados na figura 2.

A pluviometria mostrou-se típica de regiões tropicais, com ocorrência dos maiores volumes no período de verão, de novembro a março. Os meses de junho a agosto são os mais secos. Nos meses de dezembro ocorreram os maiores volumes de chuva, atingindo até 400 mm, expressivos em se tratando de uma localidade com altitude elevada em condições de clima tropical.

Observaram-se grandes perdas de solo por ocasião da implantação da cultura de milho (outubro/novembro de 2001), em decorrência das intensas precipitações ocorridas nesse período. Inicialmente, o tratamento sob cultivo de olerícolas foi cultivado com milho, prática executada na região após a colheita do inhame (meses de agosto e setembro). Considerando que a densidade de plantio do milho praticada na região é menor do que a realizada no plantio convencional (quatro plantas por m²), o uso de herbicidas e capina com enxada nos cultivos de milho, feijão e inhame, na época de maior ocorrência de chuvas, intensificou as perdas de solo nesses períodos, devido à maior exposição da superfície do solo ao impacto das gotas de chuva. À medida que a umidade do solo se aproxima da faixa de capacidade de campo, observou-se aumento do escoamento superficial e o provável arraste das partículas.

Os valores médios de escoamento superficial das águas pluviais indicaram que no tratamento de cultivo de olerícolas ocorreram os maiores volumes de enxurrada. No período de janeiro a julho de 2004, os valores referentes ao escoamento superficial, em relação aos eventos pluviométricos, em percentual foram: 1,7 % no tratamento sob cultivo de banana, 4,6 % no tratamento sob cultivo de olerícolas e 1,1 % no tratamento em pousio. Do mesmo modo, nos períodos de 2002, 2003 e 2004, esses valores foram em torno de: 1,25 % no tratamento sob cultivo de banana, 2,5 % no tratamento sob cultivo de olerícolas e 1,0 % no tratamento em pousio. Esse comportamento também foi observado nos estudos realizados por Freitas (2003).

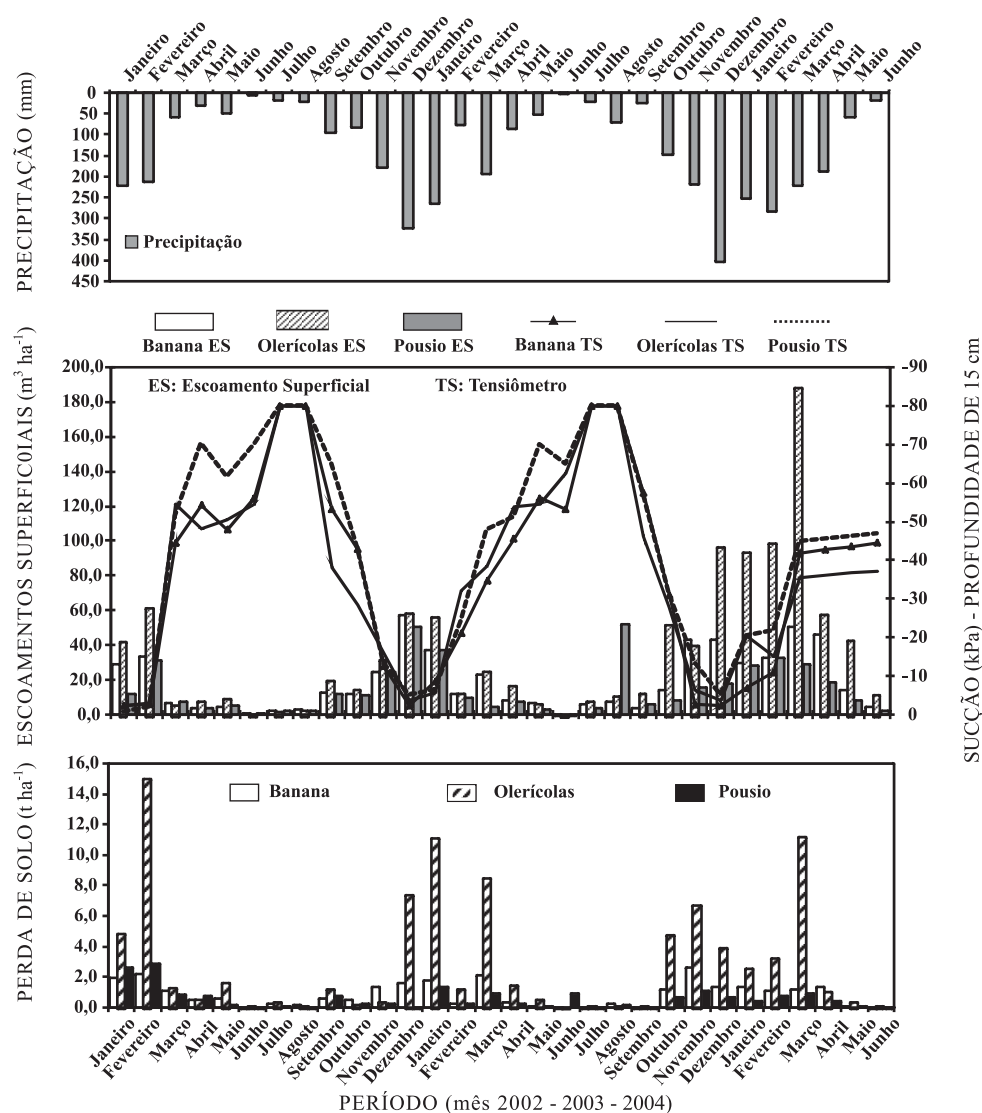


Figura 2. Distribuição pluviométrica, sucção do solo na profundidade de 0–15 cm, escoamentos superficiais e perdas de solo, em diferentes formas de coberturas vegetais, avaliadas no período de 2002, 2003 e 2004.

As maiores taxas de erosão superficial ocorrem principalmente no período de maior precipitação, de outubro a fevereiro, em que as perdas de solo foram aproximadamente 75 % do total anual. As maiores perdas de solo foram registradas no tratamento sob cultivo de olerícolas, seguido pelos tratamentos de cultivo de banana e sob pousio florestal. As maiores massas de solo perdidas foram registradas no tratamento com cultivo de milho (tratamento de olerícolas), sendo de 14,98 t ha⁻¹ com pluviosidade de 214 mm em fevereiro de 2002; 11,05 t ha⁻¹ com pluviosidade de 266 mm em janeiro de 2003, registrada no tratamento com cultivo de feijão; e 11,2 t ha⁻¹ com pluviosidade de 222,5 mm em março de 2004, registrada no tratamento com cultivo de inhame. A análise do estado da umidade no solo na encosta indica elevado grau de saturação nesses períodos, favorecendo o escoamento superficial e, conseqüentemente, o arraste de materiais para as

partes mais baixas da encosta. O tratamento sob pousio florestal foi o que apresentou os menores valores de perdas de solo (2,87 t ha⁻¹ em fevereiro de 2002, pousio de seis meses; 1,32 t ha⁻¹ em janeiro de 2003, pousio de um ano e meio; e 0,9 t ha⁻¹ em março de 2004, pousio de aproximadamente três anos). Observou-se tendência de redução da erosão superficial nesse tratamento, devido à maior proteção do solo proporcionado pelas espécies florestais pioneiras de crescimento rápido.

Os tensiômetros manuais revelaram-se bastante sensíveis às alterações de infiltração e evapotranspiração da água no solo. Entre os meses de março e setembro atingiram os potenciais matriciais de -50 a -80 kPa (-0,050 a -0,080 MPa), com pouca variação em decorrência da pluviosidade nesses períodos. A partir de setembro, com a chegada das chuvas, eleva-se o grau de umidade do solo, até que se atinjam potenciais matriciais de -10 kPa (-0,010 MPa). No tratamento

sob cultivo de olerícolas, os tensiômetros apresentaram os menores potenciais ao longo de três anos de monitoramento, indicando maior umidade nesses pontos da encosta. A umidade do solo antes de uma determinada chuva regula a menor ou maior taxa de infiltração em função do tempo. Se uma determinada chuva for precedida por outros dias chuvosos, é mais provável que o solo tenha dificuldade em reter mais água, pois está próximo à saturação, tendo sua capacidade de infiltração diminuída, permitindo a ocorrência do escoamento superficial (Avelar, 2003).

Relação entre chuva e escoamento/erosão superficial

As relações entre distribuição pluviométrica, perdas de solo e escoamento superficial são apresentadas nas figuras 3, 4 e 5.

Pode-se observar que houve relação positiva entre as precipitações e os escoamentos superficiais registrados no tratamento sob cultivo de banana ($R^2 = 0,83$), indicando relação direta da intensidade da chuva com o volume do escoamento encosta abaixo. A relação da precipitação com as perdas de solo foi menor do que a variável escoamento superficial ($R^2 = 0,62$). No tratamento sob cultivo de olerícolas também foi constatada boa relação entre as precipitações e os escoamentos superficiais registrados nos tratamentos ($R^2 = 0,83$). A relação da precipitação com as perdas de solo também foi superior às observações no tratamento sob cultivo de banana, porém ainda muita baixa ($R^2 = 0,64$). Finalmente, o tratamento em pousio florestal recente apresentou a melhor relação entre as precipitações e os escoamentos superficiais registrados nos três tratamentos ($R^2 = 0,85$). Entre-

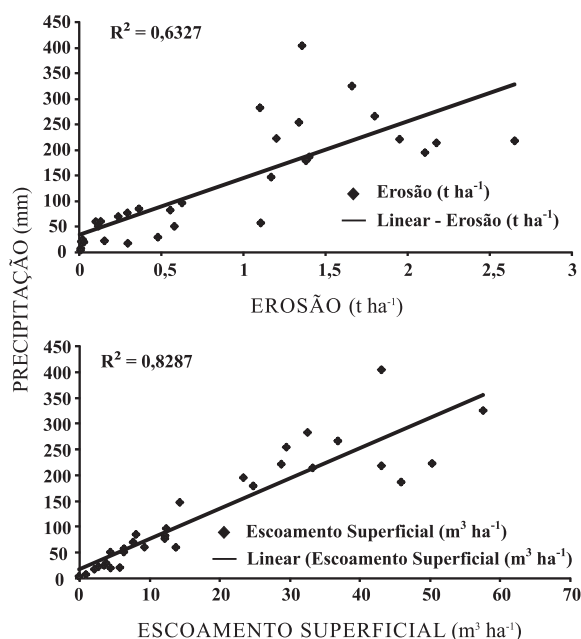


Figura 3. Relação entre as precipitações, perdas de solo e escoamento superficial no tratamento sob cultivo de banana.

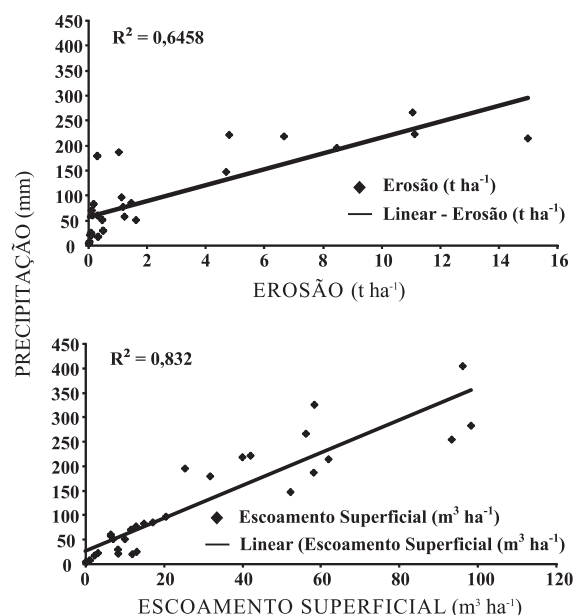


Figura 4. Relação entre as precipitações, perdas de solo e escoamento superficial no tratamento sob cultivo de olerícolas.

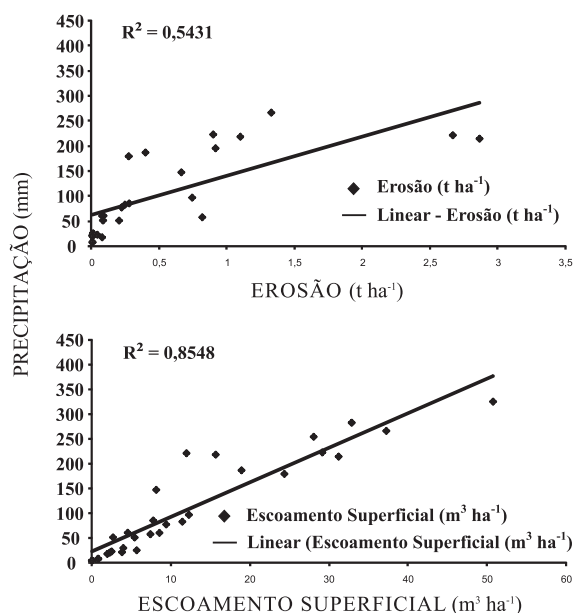


Figura 5. Relação entre as precipitações, perdas de solo e escoamento superficial no tratamento sob pousio florestal.

tanto, a relação da precipitação com as perdas de solo foi inferior às observações dos demais tratamentos ($R^2 = 0,54$).

DISCUSSÃO

As frações granulométricas apresentaram-se maiores onde ocorreram as maiores perdas de solo,

resultados esses coerentes com as observações de Eltz et al. (2001), os quais consideram que, quanto maior o teor de argila dispersa em água, menores as taxas de infiltração da água no solo e maior a erodibilidade entre sulcos. Esses autores consideram como limite crítico para esse processo o teor de argila igual ou superior a 35 %. De acordo com Guerra & Cunha (1995), a erodibilidade tende a aumentar principalmente com o aumento do teor de silte no solo.

Quanto à estabilidade dos agregados, percebeu-se que os valores de DMP foram compatíveis com as observações de Santos et al. (2002), indicando que valores de DMP inferiores a 2,3 mm são mais suscetíveis aos processos erosivos. No atributo DMG, os dados observados contrariam as observações de Bissonnais (1996) para solos com DMG maior do que 2,0 mm, nos quais a estabilidade dos agregados em água e sua resistência ao impacto das gotas de chuva são muito estáveis à erosão e não formam crosta superficial. Isso indica que, apesar de a falta de revolvimento do solo ser um fator relevante para o aumento do DMP, o crescimento da vegetação de capoeira (pousio florestal) parece ter implicações mais positivas na estrutura dos solos do que o cultivo de banana.

Os resultados de porosidade total e densidade do solo não mostraram diferenças significativas, não sendo, pois, possível fazer qualquer inferência sobre efeitos de alternância dos ciclos de cultivo e os períodos de descanso em intervalos de tempo cada vez menores nas camadas inferiores desse solo até 30 cm.

O manejo adotado no tratamento sob cultivo de olerícolas promoveu evapotranspiração menor, associada à posição na encosta, área de influência de recarga hidráulica, levando a uma maior umidade do solo. Essa demanda hídrica no subsolo potencializou a ação das gotas nessas superfícies, com aumento do escoamento superficial e maior arraste de partículas de solo para as seções inferiores das encostas.

No período entre os meses de novembro e dezembro verificaram-se as maiores perdas de solo em todos os tratamentos experimentais, principalmente no tratamento sob cultivo de milho, inhame e feijão, pois essas espécies não dispõem de sistema radicular com profundidade suficiente para absorver água nos horizontes mais profundos do perfil da encosta, além de apresentarem pouca proteção do solo pela cobertura vegetal, associado ao estado de umidade próximo à saturação do solo, o que aumenta o fluxo de escoamento superficial, pelas dificuldades de infiltração das chuvas, havendo maiores perdas de solo nessas superfícies.

As maiores perdas de solo foram observadas no tratamento sob cultivo de olerícolas, seguido pelo tratamento sob cultivo de banana e pelo pousio florestal. Isso provavelmente deve-se ao intenso revolvimento do solo realizado na fase de preparo para o plantio, à falta de práticas que reduzam a velocidade

do escoamento superficial e à pequena taxa de cobertura vegetal proporcionada pelas culturas. No tratamento sob cultivo de banana, observou-se que o manejo adotado na região – limpeza das touceiras nos meses de dezembro e janeiro – favoreceu os fluxos superficiais encosta abaixo, considerando-se que é nessa época que ocorrem as maiores precipitações. Esses fluxos são atribuídos tanto à presença de serrapilheira recente, pouco degradada, quanto ao estado de umidade na camada superficial do solo, próximo à saturação, promovendo pouca infiltração da água no perfil do solo. Outras culturas perenes podem ser mais indicadas para áreas em declive, como as da Região Serrana Fluminense, uma vez que as perdas de solo foram muito menores em comparação ao cultivo de olerícolas. A produção de olerícolas sob o sistema de cultivo praticado na microbacia em estudo acarreta a cada ano cerca de 30 t ha⁻¹ de perdas de solo e 260 m³ ha⁻¹ de escoamento superficial.

O tratamento em pousio florestal, sem introdução de espécies e sem introdução da espécie, apresentou menores valores de perdas de solo, em razão da grande quantidade de disposição da cobertura vegetal nessa gleba e da arquitetura radicular. Apesar disso, essas perdas no primeiro ano de avaliação foram consideradas altas, em torno de 10 t ha⁻¹, reduzindo conforme o desenvolvimento vegetativo das espécies observadas. Por meio da análise da infiltrabilidade da água na profundidade avaliada (0–15 cm), não se observou diferença estatística significativa do solo entre as áreas, assim como para a estabilidade. Observações feitas por Portocarrero & Andrade (2002) indicam que, em áreas com pousio florestal com idade de 4–5 anos, ocorre uma inversão desse comportamento. Essas observações têm comprovado, portanto, que se trata de uma prática benéfica ao solo, aos recursos hídricos e à biodiversidade em geral, devendo seu tempo ser estendido para que esses benefícios sejam ainda maiores.

Deve-se considerar que entre os meses de agosto e outubro o tratamento sob cultivo de olerícolas encontrava-se em descanso, dispondo de grande quantidade de restos culturais, formando uma cobertura morta no terreno. A partir desse período, iniciavam-se nos tratamentos os plantios de verão. Pode-se observar que as perdas de solo foram bastante significativas nesse período, em razão da intensidade de chuvas ocorridas na época da implantação das culturas. Comportamento semelhante também foi observado por Kunzmann et al. (1998) e Freitas (1998).

O estudo da dinâmica da água no solo monitorado pelos tensiômetros revelou que as maiores sucções ocorreram no tratamento em pousio florestal. A composição por espécies vegetais pioneiras e de crescimento rápido, com arquitetura radicular variada e maior percentual de cobertura vegetal, acelerou a absorção hídrica nessas áreas, proporcionando a estabilidade da encosta, facilitando a infiltração e reduzindo o escoamento superficial e a erosão superficial. Todos os

tratamentos indicaram que nos meses de fevereiro e março há elevação do potencial matricial, em razão do decréscimo das precipitações pluviais.

Pode-se dizer que a relação dos eventos de chuva com as perdas de solo pode ser avaliada considerando a duração deles, e não somente o volume de precipitação, pois volumes iguais de precipitações em diferentes tempos de ocorrência provocam processos erosivos diferenciados ao longo da encosta.

O escoamento superficial manteve relação direta com as taxas de sedimentos, enquanto as precipitações em relação às perdas de solo apresentaram correlações pouco consistentes. Eltz et al. (2001) consideram que chuvas que conduzem à mesma erosividade podem provocar perdas de solo diferentes, dependendo da umidade antecedente à chuva e da variação da sua intensidade. Nesse caso, pode-se esperar que as chuvas naturais com pico de máxima intensidade no seu final produzam maior perda de solo e água do que chuvas com picos de maior intensidade no início ou no meio. Entretanto, observações feitas por Bender (1985) apontam que, quanto menor o grau de saturação do solo, maior é a erosão quando submetido às chuvas. Nesses casos, a erosão é muito intensa nos instantes iniciais, sofrendo redução gradativa ao longo do tempo, sendo esse comportamento compatível com o que se observa em solos colapsíveis: quanto maior a sucção inicial, maior o colapso quando do umedecimento. Portanto, é de se esperar que o horizonte subsuperficial onde o solo é colapsível sofra maior erosão que aquele sobrejacente.

Tendo em vista os resultados obtidos durante três anos de pesquisa *in situ*, observou-se que o plantio de banana é mais indicado para áreas em declive, como as da Região Serrana Fluminense, uma vez que as perdas de solo foram muito menores em comparação com as do cultivo de olerícolas.

Observaram-se menores perdas de solo no pousio florestal do que nos outros tratamentos, comprovando ser ele uma prática benéfica ao solo, aos recursos hídricos e à biodiversidade em geral, devendo seu tempo ser estendido para que esses benefícios sejam otimizados.

Os atributos de solo avaliados não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos estudados.

No caso do sistema de cultivo utilizado, pode-se indicar o consorciamento com outras espécies vegetais que possibilitem maior proteção do solo, como os sistemas agroflorestais, que têm se mostrado uma alternativa viável para garantir a produção de alimentos com maior preservação dos recursos naturais.

Por fim, o período de pousio utilizado não tem sido suficiente, sendo necessário ampliá-lo e adotar sistemas de cultivo conservacionistas para garantir a sustentabilidade da produção agrícola nessas condições.

CONCLUSÕES

1. Existe relação inversa entre umidade do solo/escoamento superficial e precipitação, associada às perdas de solo, o que pode ser observado nos tratamentos sob cultivo de olerícolas, cultivo de banana e em pousio florestal.

2. O sistema de cultivo utilizado, com predomínio de espécies de olerícolas de ciclo curto e sistema radicular superficial, sem uso de práticas de conservação do solo, como o plantio direto e a implantação de cordões vegetados, associado à inclinação acentuada da encosta, não garante uma proteção adequada do solo contra a ação erosiva das chuvas torrenciais.

3. Os resultados indicaram que as maiores perdas por erosão acumulada foram registradas no período de maior precipitação, entre setembro e março, correspondendo a cerca de $30 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no tratamento sob cultivo anual e $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no tratamento com pousio florestal ainda no primeiro ano de desenvolvimento.

4. Os atributos do solo que melhor se relacionaram com a erosão foram a textura e o índice de estabilidade dos agregados.

5. O período de tempo utilizado para os pousios não tem sido suficiente para recompor a estruturação do solo e, conseqüentemente, a formação de agregados estáveis, que possibilitem maior resistência aos processos erosivos.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o constante apoio do CNPq, da COPPE/UFRJ e da Embrapa Solos ao desenvolvimento deste trabalho. O segundo autor agradece também o constante apoio da CAPES, do CNPq, do DAAD e da FAPERJ. Agradecem também ao Engo, M.Sc., doutorando, Manoel Isidro de Miranda Neto da COPPE/UFRJ, e ao sr. André Lopes da Embrapa, pelo auxílio na revisão do texto.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE JUNIOR, S.A. & BASTOS, E.A. Recomendações Técnicas para o uso de Tensiômetros de Mercúrio. Teresina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/CNPAMN, 1995.126p. (Documentos, 15)
- AVELAR, A.S. Características hidrológico - erosivas de solos em encostas montanhosas sob diferentes coberturas vegetais no Município de Bananal (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., Rio de Janeiro, 1995. Anais... Rio de Janeiro, 1995.

- BENDER, H. Erosion: Un probleme de resistance au cisalhament en fonction du chemin des contraintes umedant infiltration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE GEOMECHANIS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOIL, 1., Brasília, 1985. Proceedings... Brasília, ABMS, 1985. v.2. p.15-25.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 3.ed. São Paulo, Ícone, 1992. 355p.
- BISSONNAIS, Y.L. Aggregate satability and assesment of soil crustability and arodibility: I. Theory and methodology. Europ. J. Soil Sci., 47:425-437, 1996.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. R. Bras. Ci. Solo, 22:527-538, 1998.
- De-POLLI, H. Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1998. 179p.
- ELTZ, F.L.F.; MEHL, H.U. & REICHERT, J.M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. R. Bras. Ci. Solo, 25:485-493, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPQ, 1997. 212p.
- FREITAS, M.M.; VILELA, C.L.; COUTINHO, B.H.; MALANGUTTI, A. & COELHO NETO, A.L. Solos agrícolas sob pousio e resultantes hidroerosivas da regeneração espontânea: Bacia do Rio Boa Vista, Nova Friburgo, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Rio de Janeiro, 1997. Resumo... Rio de Janeiro, 1997. (Resumo, 26)
- FREITAS, M.M. Comportamento Hidrológico e Erosivo de Bacia Montanhosa sob Uso Agrícola: Estação Experimental do Rio Boa Vista, Nova Friburgo - RJ. Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, 1998. 104p. (Tese de Mestrado)
- FREITAS, M.M. Funcionalidade hidrológica dos cultivos de banana e territorialidades na paisagem do Parque Municipal de Grumari – Maciço da Pedra Branca – RJ. Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, 2003. 380p. (Tese de Doutorado)
- GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B., orgs. Processos erosivos nas encostas. geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, Bertrand, 1995. p.149-209.
- HIEL, J.W.; JUO, A.S.R. & McINNES, K. Soil properties influencing surface sealing of some sandy soils in the Sahel. Soil Sci., 162:459-469, 1997.
- KUNZMANN, M.; PRINZ, D.; PALMIERI, F.; COELHO, R.G.; GOUVEIA, R.F.; NUNEZ, J.E.V.; EIRA, P.A.; LEMOS, A.L. & PAULA, J.L. Avaliação de perda de solo para diferentes manejos do solo no município de Paty do Alferes, RJ: Um aspecto do Projeto Desusmo. In: WORKSHOP NACIONAL DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL EM REGIÕES DE RELEVO ACIDENTADO, 3., Paty do Alferes, RJ. Anais... Rio de Janeiro, Embrapa-CNPQ, 1998. CD ROM.
- MADARI, B.A.; PEDRO MACHADO, L.O.A.; ELENO TORRES, B.; ANDRADE, G.A. & VALENCIA, L.I.O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. Soil Tillage Res., 80:185-200, 2005.
- MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, V.P. & MARQUES JÚNIOR, J. Efeitos da densidade do solo na erosão de um Latossolo Vermelho devido ao tráfego. Eng. Agríc., 21:23-31, 2001.
- MENDES, C.A.R. Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim - RJ. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. 237p (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, R.R.; LIMA, D.F.; DELAMÔNICA, P.; TOFFOLI, D.D. & SILVA, R.F. Roça caçara: Um sistema primitivo auto-sustentável. Ci. Hoje, 18:44-51, 1995.
- PORTOCARRERO, H. & ANDRADE, G.A. Dinâmica da agregação em Argissolo Amarelo sob agricultura perene e com pousio em área de Floresta Atlântica, Bom Jardim, RJ. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Cuiabá, 2002. Anais... Cuiabá, 2002. CD ROM.
- REIS, L.L. Sistema de agricultura Migratória na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro: Avaliação de indicadores de sustentabilidade. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 126p. (Tese de Mestrado)
- SANTOS, C.A.; SOBREIRA, F.G. & COELHO NETO, A.L. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto – MG. R. Esc. Minas, 55:285-290, 2002.
- VIEIRA, S. & HOFFMANN, R. "Estatística experimental". São Paulo, Atlas, 1989. 178p.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 23:246-249, 1959.