



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**AVALIAÇÃO DE PRÁTICAS DE MANEJO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E NA
PERDA DE SOLO EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

**FORTALEZA
2015**

ANDRÉ LUIZ TORRES DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE PRÁTICAS DE MANEJO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E NA
PERDA DE SOLO EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientadora: Prof. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

FORTALEZA
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O45a Oliveira, André Luiz Torres de.
Avaliação de práticas de manejo nos atributos químicos e na perda de solo em região semiárida / André Luiz Torres de Oliveira. – 2015.
87 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2015.
Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.
Coorientação: Prof. Dr. Henrique Antunes de Souza.

1. Erosão no semiárido. 2. conservação do solo. 3. substâncias húmicas. I. Título.

CDD 631.4

ANDRÉ LUIZ TORRES DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE PRÁTICAS DE MANEJO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E NA
PERDA DE SOLO EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientadora: Prof. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Henrique Antunes de Souza
Embrapa Caprinos e Ovinos

Prof. Dr. Julius Blum
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e aos meus guias espirituais que sempre iluminaram o meu caminho.

Aos meus pais, pela lealdade e por todo amor dedicado a mim no decorrer da minha vida, pela grande ajuda e incentivo a dar continuidade à vida acadêmica. Sem a força de vocês acredito que nada seria possível.

À professora Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, pela sua competência, ensinamentos científicos, brilhante orientação e, acima de tudo, pela sua paciência, confiança e amizade, que foram muito importantes nos momentos mais difíceis desta pesquisa, e por sempre estimular o meu crescimento e amadurecimento pessoal e profissional.

Ao Dr. Henrique Antunes de Souza, pelo seu total apoio e incentivo à realização desta pesquisa, pela ajuda na organização das informações e contribuições no melhoramento desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Julius Blum, pela sua participação na banca examinadora e contribuições no melhoramento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias, pela grande orientação na estatística desta pesquisa.

Ao projeto do Governo Federal “Programa Brasil Sem Miséria” – PBSM/Embrapa, pela grande iniciativa e financiamento desta pesquisa.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Ciências do Solo, pela oportunidade de realização do curso em nome do coordenador de Pós-graduação, Raimundo Nonato de Assis Júnior, pela excelente qualidade de ensino proporcionado.

À doutoranda Isabel Cristina, pelo apoio e contribuição no melhoramento deste trabalho.

Aos companheiros de Mestrado e colegas de pesquisa que estiveram juntos durante essa caminhada, pelo excelente convívio e amizade: Gleiciane Silva, Josimar de Azevedo, Cillas Pollicarto, Kaio Gráculo, Alcione, Deodato Aquino e Wesley Lívio.

À FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela concessão da bolsa de estudo.

À toda comunidade Quilombola Barriguda, em especial aos agricultores Francisca (Fanca), Zequinha e Dico que disponibilizaram parte das suas terras para a instalação do experimento.

Ao João Paulo pela ajuda e apoio na etapa direta de campo.

A todos aqueles que, de alguma maneira, incentivaram e colaboraram para a realização desta pesquisa.

Meu muito obrigado!

*Quem te dará
a terra
se não forem
tuas mãos?*

*Quem te dará
a terra
se não forem
teus braços?*

*Quem te dará
a terra
se não fores tu
trabalhador do campo
que semeias
com suor
e sangue
o silêncio
que geme na terra
o teu canto?*

Quem?

(Carlos Prinzato)

RESUMO

As características edafoclimáticas do semiárido, associadas a práticas não conservacionistas de uso e manejo, tornam o ambiente susceptível à erosão. As práticas conservacionistas de manejo representam alternativas aos sistemas convencionais em regiões semiáridas, podendo reduzir as perdas por erosão e melhorar atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Supõe-se que o enleiramento de garranchos em nível e os sistemas agroflorestais resultam em melhores condições químicas do solo e em menor produção de sedimentos após eventos chuvosos quando comparados com áreas em pousio. Já o plantio morro abaixo deve resultar em piores condições químicas do solo e em maior produção de sedimentos após eventos chuvosos em comparação à prática do pousio. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos de práticas de manejo nos atributos químicos do solo, bem como no escoamento superficial e na produção de sedimentos em região semiárida. O estudo foi realizado em uma comunidade tradicional Quilombola localizada em Tamboril (CE). As práticas de manejo estudadas foram MF1 - plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível; PMB2 - plantio de palma forrageira morro abaixo; PMF3 - plantio de palma forrageira em consórcio com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível e SAF4 - sistema agroflorestal. Cada prática de manejo foi comparada com uma área adjacente de regeneração natural (pousio). Informações sobre a produção de sedimentos foram obtidas em parcelas de 1m², sob condições de chuvas naturais. Foram instaladas três parcelas em cada área de estudo, totalizando 24 parcelas nas quais foram realizadas coletas no período de fevereiro a junho de 2015 que corresponde à estação chuvosa na região. As coletas para determinar o volume escoado superficialmente e os sedimentos transportados foram realizadas a cada evento de chuva erosiva, no acumulado de 24 horas. Amostras compostas de solo foram coletadas em pontos aleatórios de cada área, nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m com 5 repetições cada, totalizando 80 amostras. Foram determinados valores de pH, teores de macronutrientes (Ca, Mg, P, K), micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn) e de sódio (Na), além da percentagem de saturação de alumínio (m%), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), percentagem de saturação de bases (V%) e fracionamento da matéria orgânica (ácidos fúlvicos, húmicos e húmica), quantificando o carbono (C) e nitrogênio (N) de cada fração. Por meio dos resultados dessa pesquisa foi constatado que as áreas de manejo MF1 e PMB2 apresentaram maiores perdas de solo (2.420,24 e 8.647,09 g, respectivamente) e água (203,14 e 224,33 L, respectivamente) em relação às áreas PMF3 e SAF4 (832,56 e 355,17 g de perda de solo; 153,33 e 199,40 L de perda de água). Em relação às áreas de

manejo e seus respectivos pousios, foi observado que MF1 apresentou perda de solo 63,27% maior em relação a R1, já na área PMB2 essa diferença foi de 73,01% em relação a R2. As menores variações foram encontradas nas áreas PMF3 e SAF4 com 9,54% e 8,73% a mais de perda de solo em relação às suas respectivas áreas de pousio R3 e R4. O sistema de consórcio PMF3 (palma forrageira, milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível) e SAF4 (sistema agroflorestal) foram tão eficientes quanto o pousio (R3 e R4) para controle das perdas de solo e água. Não houve efeitos do enleiramento de garrancho em nível na melhoria dos atributos químicos do solo nas áreas MF1 e PMF3; entretanto, para o sistema agroflorestal constataram-se melhorias na fertilidade do solo em termos dos teores de carbono orgânico (CO) e fósforo (P).

PALAVRAS CHAVE: Erosão no semiárido; conservação do solo; substâncias húmicas.

ABSTRACT

Soil and climatic characteristics of the semi-arid region, associated with non-conservationist practices of use and management, make the environment susceptible to erosion. The conservation management practices represent alternatives to conventional systems in semi-arid regions, which may reduce losses by erosion and improve physical, chemical and biological aspects of the soil. It is assumed that the windrowing of twigs in level and agroforestry result in better soil chemical conditions and in lower production of sediments after rainfall events when compared with fallow areas. The downhill cultivation may result in worse soil chemical conditions and in higher production of sediments after rainfall events when compared with fallow areas. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effects of management practices on soil chemical properties, as well as on surface runoff and on the production of sediments in the semi-arid region. The study was performed in a traditional Quilombola community (Brazilian hinterland settlement founded by people of African origin) in the city of Tamboril (CE). The management practices studied were MF1 – maize and beans cultivation with windrowing of twigs in level; PMB2 – downhill cultivation of cactus pear; PMF3 – cultivation of cactus pear intercropped with maize and beans with windrowing of twigs in level, and SAF4 – agroforestry system. Each management practice was compared to an adjacent area of natural regeneration (fallow area). Information on the production of sediments was obtained in portions of 1m² under regular rainfall conditions. Three portions were installed in each study area, in a total of 24 portions, in which collections were held from February to June 2015, which corresponds to the rainy season of the region. The collections needed to determine the surface runoff volume and the carried sediments were performed after each erosive rainy event, in the period of 24 hours. Soil samples were collected at random spots of each area in depths of 0-0.05 and 0.05-0.10 m with 5 repetitions each, in a total of 80 samples. Values of pH, macronutrients (Ca, Mg, P, K) levels, micronutrients (Fe, Zn, Cu e Mn) and sodium (Na) levels were determined, besides percent aluminum saturation (m%), sum of the bases, cation exchange capacity (CEC), percent base saturation (V%) and fractionation of organic matter (fulvic and humic acids and humin) with quantification of carbon (C) and nitrogen (N) of each fraction. Based on the results of this research, it was found that the management areas MF1 and PMB2 had higher soil loss (2,420.24 and 8,647.09 g, respectively) and water loss (203.14 and 224.33 L, respectively) than the areas PMF3 and SAF4 (832.56 and 355.17 g of soil loss; 153.33 e 199.40 L of water loss). Regarding the management areas and their respective fallow areas, it was observed that

MF1 presented a soil loss of 63.27% higher than R1, and for the PMB2 area, this difference was of 73.01% compared to R2. The smallest variations were found in areas PMF3 and SAF4 with 9.54% and 8.73% more of soil loss when compared to their respective fallow areas, R3 and R4. The intercropped system PMF3 (cactus pear, maize and beans with windrowing of twigs in level) and SAF4 (agroforestry system) were as efficient as the fallow areas (R3 and R4) when it comes to controlling soil and water losses. There was no effect of the windrowing of twigs in level on the improvement of soil chemical properties in areas MF1 and PMF3; however, for the agroforestry system, improvements on soil in terms of organic carbon (OC) and phosphorus (P) levels were found.

KEYWORDS: Erosion in the semi-arid region; soil conservation, humic substances.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização geográfica do município de Tamboril no Estado do Ceará.....	33
Figura 2. Localização e disposição das áreas de estudo na comunidade “Barriguda” no município de Tamboril-CE. MF1 – plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível, R1 – área de regeneração natural adjacente ao manejo MF1; PMB2 - palma morro abaixo, R2 – área de regeneração natural adjacente ao manejo PMB2; PMF3 - palma consorciada com o plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível, R3 – área de regeneração natural adjacente ao manejo PMF3 e SAF4 - sistema agroflorestal, R4 – área de regeneração natural adjacente ao manejo SAF4.....	35
Figura 3. Área MF1 – Manejo com enleiramento de garrancho em nível nas culturas do milho e feijão. Área antes da implantação das culturas (a); área após a implantação das culturas (b); presença de erosão em sulco em MF1 (c) e área adjacente em pousio.....	36
Figura 4. Área PMB2 - plantio de palma morro abaixo (a e b); presença de erosão em sulco na área PMB2 (c); área R2 em pousio adjacente ao manejo PMB2 (d).....	38
Figura 5. Área PMF3 com plantio de palma forrageira com enleiramento do mato em nível (a, b, c); área R3 em pousio adjacente à área PMF3(d).....	39
Figura 6. Área SAF4 caracterizada por um Sistema agroflorestal (a, b, c); área R4 em pousio adjacente ao SAF4 (d).....	40
Figura 7. Parcelas de erosão de 1m ² (a) e coletor de sedimentos (b).....	41
Figura 8. Parcela de erosão instalada em uma das áreas de estudo.....	42
Figura 9. Amostras de escoamento de água por erosão para quantificação da perda de solo.....	43
Figura 10. Alíquota de amostra de perda de solo (a) e material seco em estufa a 65° (b).....	43
Figura 11. Precipitação pluvial dos meses de fevereiro à junho de 2015 do município de Tamboril – CE.....	48
Figura 12. Perda de solo nos manejos MF1, PMB2, PMF3 e SAF4 nos meses de avaliação.....	49
Figura 13. Perdas de solo por erosão nas áreas em pousio R1, R2, R3 e R4 nos meses de avaliação.....	49
Figura 14. Total das perdas de solo por erosão nas áreas de manejo cultivadas e em pousio.....	51

Figura 15. Perdas de água nas áreas de cultivo MF1, PMB2, PMF3 e SAF4 nos meses de avaliação.....	52
Figura 16. Perda de água nas áreas em pousio R1, R2, R3 e R4 ao longo dos meses estudados.....	52
Figura 17. Total de perda de água por escoamento superficial para as áreas de manejo e pousio.....	53
Figura 18. Biplot dos componentes principais: relação das áreas estudadas com a perda de solo, perda de água, teor de fósforo (P) no solo e frações húmicas da matéria orgânica (C-FAH, C-FAF e C-HUM) do solo.....	56
Figura 19. Dendograma das inter-relações referentes às áreas de manejo MF1, R1, PMB2, R2, PMF3, R3, SAF4 e R4.....	59
Figura 20. Valores da quantidade de perda de solo (g) durante os meses de avaliação nas áreas de avaliação.....	76
Figura 21. Perdas de água total (L) em cada mês nas áreas de avaliação.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Componentes ambientais para o município de Tamboril - CE.....	33
Tabela 2. Área ocupada por cada manejo avaliado, altitude, declividade, classes de declive e de relevo dos locais de avaliação.....	37
Tabela 3. Porcentagem de areia, silte, argila e classificação textural do solo de cada área de estudo em Tamboril – CE.....	45
Tabela 4. Resumo da ANOVA para pH, carbono orgânico (CO), macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), sódio (Na) e alumínio (Al) no solo das áreas de estudo.....	60
Tabela 5. Resumo da ANOVA para micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e acidez potencial (H+Al) no solo das áreas de estudo.....	61
Tabela 6. Médias dos atributos químicos de rotina que diferiram em resposta ao manejo e profundidade nas áreas de estudo.....	62
Tabela 7. Médias de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e acidez potencial (H+Al) no solo, que diferiram em função do manejo e da profundidade.....	66
Tabela 8. Interação profundidade x manejo para os atributos químicos Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), pH, Cálcio (Ca), Alumínio (Al) e Saturação por alumínio (m%) das respectivas áreas estudadas MF, PMB, PMF e SAF.....	67
Tabela 9. Resumo da ANOVA para carbono e nitrogênio nas substâncias húmicas (FAH, FAF e Humina) no solo.....	70
Tabela 10. Médias de carbono e nitrogênio nas substâncias húmicas (FAH, FAF e Humina), que diferiram em função do manejo e profundidade no solo.....	71
Tabela 11. Efeito da interação profundidade x manejo nos teores de nitrogênio da fração ácidos fúlvicos (N-FAF) para a área PMF3 e R3.....	73
Tabela 12. Efeito da interação profundidade x manejo nos teores carbono da fração ácidos fúlvicos (C-FAF) e nitrogênio da fração ácidos húmicos (N-FAH) para área SAF.....	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Comunidades tradicionais e sua importância.....	18
2.2 Principais formas de uso do solo em comunidades tradicionais no semiárido.....	19
2.3 Riscos de degradação dos solos no semiárido.....	20
2.4 Erosão e suas consequências.....	23
2.5 Formas de mensurar a erosão do solo.....	24
2.6 Atributos químicos do solo em resposta ao manejo.....	27
2.7 Práticas de manejo que contribuem com a conservação do solo.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Caracterização geral do local de estudo.....	32
3.1.1 Clima, relevo, solos e vegetação.....	33
3.1.2 Características gerais da comunidade.....	33
3.1.3 Organizações que atuam na comunidade.....	34
3.2 Estudo sobre perdas de solo e água.....	35
3.2.1 Caracterização específica das áreas de estudo.....	35
3.2.1.1 Descrição detalhada de cada manejo.....	36
3.2.2 Parcela de erosão.....	41
3.2.2.1 Quantificação das chuvas e das perdas de solo e água.....	42
3.3 Avaliação de atributos químicos do solo mediante as práticas de manejo.....	44
3.3.1 Amostragem de solo.....	44
3.3.2 Análises químicas.....	44
3.3.2.1 Atributos químicos de rotina.....	44
3.3.2.2 Extração e fracionamento quantitativo das substâncias húmicas.....	45
3.4 Análises estatísticas.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1 Influência do manejo nas perdas de água e solo por erosão.....	47
4.1.1 Análise multivariada.....	55
4.2 Atributos químicos do solo.....	60
4.2.1 Atributos de rotina.....	60
4.1.2 Fracionamento químico das substâncias húmicas.....	69
CONCLUSÃO.....	74

ANEXOS.....	76
REFERÊNCIAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento dos impactos ambientais, maior atenção passou a ser dada aos grupos de indivíduos que habitam o meio rural e utilizam os recursos naturais como fonte de sua sobrevivência. Esses grupos são conhecidos como povos tradicionais. O reconhecimento dessas populações, assim como dos conhecimentos dos quais são detentoras, é fundamental para que esses indivíduos possam atuar como agentes responsáveis pela proteção do ambiente no qual estão inseridos.

Povos ou comunidades tradicionais são caracterizados como grupos que culturalmente utilizam práticas que são resgatadas de geração a geração por meio dos seus antepassados. A princípio, existe uma relação harmoniosa desses povos com a natureza, mas vale salientar que nem sempre essa relação equilibrada acontece. Com o aumento da população da comunidade e da demanda por alimentos, haverá maior intensificação e pressão sobre o uso da terra por meio de práticas de manejo inadequadas e de caráter exploratório, como por exemplo, o corte e a queima dos resíduos vegetais; tempo de pousio insuficiente para que o solo possa recuperar sua capacidade produtiva; prática de plantio morro abaixo; desmatamento e retirada da madeira e revolvimento e pulverização do solo com umidade inadequada. Todas essas práticas aumentam a vulnerabilidade do solo à erosão, o que reduz a sustentabilidade do agroecossistema, colaborando para intensificar a exaustão de parte dos recursos naturais, como se tem constatado em diversas áreas agrícolas no semiárido brasileiro.

A adoção de práticas de caráter conservacionista na agricultura depende de transferências de tecnologias; no entanto, essas transferências nem sempre são realizadas de modo eficiente por órgãos governamentais. Na maioria dos casos, a introdução dessas tecnologias é feita por iniciativa de organizações não governamentais (ONGs), atuando na difusão de práticas ecológicas e compatíveis com a realidade local. Com atuação direta dessas organizações em comunidades rurais, tem-se observado a adoção de práticas de caráter conservacionista do solo em áreas de cultivo, como o enleiramento dos restos vegetais em nível, redução do uso do fogo no preparo do solo e plantio em nível. Entretanto, nem todos os agricultores adotam essas práticas por desconhecer seus efeitos na produção agrícola e na conservação do ambiente.

Nesse sentido, é fundamental avaliar os efeitos das práticas conservacionistas na qualidade do solo. Isso permitirá que os agricultores conheçam melhor o potencial produtivo

de sua terra e entendam a importância da utilização do manejo ecológico na melhoria e incremento de sua produção.

Com base nestas informações, neste estudo foram testadas as seguintes hipóteses:

1) As práticas conservacionistas (enleiramento de garrancho em nível e sistema agroflorestal) adotadas na comunidade tradicional quilombola diminuem as perdas de solo e água, e melhoram atributos referentes à fertilidade do solo. 2) A prática de manejo “morro abaixo”, ainda utilizada por agricultores tradicionais, favorece a maior perda de solo após eventos de chuva e piora as condições de fertilidade do solo em comparação à prática do pousio.

O objetivo geral deste estudo foi avaliar as perdas de solo e água e a fertilidade do solo em resposta a práticas de uso do solo em comunidade quilombola no semiárido cearense. Os objetivos específicos do estudo foram: avaliar a perda de solo e água após eventos chuvosos em solos submetidos às práticas do plantio do milho e feijão com enleiramento do mato em nível, plantio de palma forrageira morro abaixo, plantio de palma forrageira e consórcio com as culturas do milho e feijão entre enleiramento do mato em nível, sistema agroflorestal e pousio, e avaliar os atributos químicos de rotina e os teores de carbono e nitrogênio nas frações químicas da matéria orgânica do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Comunidades tradicionais e sua importância

Diante à crise ambiental, abordagens sobre a sustentabilidade tornaram-se evidentes nos últimos anos. Nesse sentido, as discussões acerca dos povos e comunidades tradicionais e sua relação com o seu respectivo território são importantes para a melhor compreensão da exploração dos recursos naturais por esses povos (PEREIRA e DIEGUES, 2010).

A sociedade brasileira considerou durante o processo constituinte que existem no interior do país populações culturalmente distintas capazes de utilizar e, ao mesmo tempo, conservar os recursos naturais. Esses grupos humanos passaram a serem chamados de populações tradicionais, consideradas importantes atores responsáveis pela proteção do ambiente natural no qual estão inseridos (DIEGUES *et al.* 1999).

No Brasil, o decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007, refere-se ao termo “populações tradicionais” como povos ou comunidades tradicionais, os quais são definidos pelo Artigo 3 como:

I – Povos e Comunidades Tradicionais: grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, que ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição (BRASIL, 2007).

O objetivo central desta política é promover o desenvolvimento sustentável por meio do reconhecimento, garantia dos direitos territoriais, sociais, econômicos, culturais e ambientais, além do respeito, valorização da identidade e das formas de organizações daquelas populações (BRASIL, 2007).

As populações ou comunidades tradicionais normalmente são apontadas como povos que apresentam boa relação com a natureza, preservando e garantindo a conservação dos recursos naturais. Porém, como afirma Pereira e Diegues (2010), nem sempre isso é fato, visto que algumas práticas adotadas por comunidades tradicionais promovem a perda da sustentabilidade no que se refere ao uso do solo, como é o caso do uso do fogo que continua sendo adotado sem as devidas precauções, pois se trata de um método de difícil substituição,

de baixo custo e acessível, já que ainda não existem tecnologias acessíveis aos pequenos agricultores (CABRAL, 2014).

Como em todo território brasileiro, no interior e em regiões costeiras do estado do Ceará também são encontrados coletivos humanos que utilizam práticas e tradições ancestrais. Porém, não se sabe o número preciso de comunidades existentes no litoral, muito menos nas demais comunidades mais interioranas da região. Em decorrência da falta de apoio e assistência técnica de qualidade, estas comunidades acabam sendo desprezadas sem o reconhecimento perante o Estado. Entretanto, é preciso salientar o papel importante de organizações não governamentais – ONGs, particularmente as quase 800 que integram a Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA). Elas trazem para o meio popular técnicos de nível superior que auxiliam na busca por práticas de pensar a convivência com o semiárido (DUQUE, 2008).

2.2 Principais formas de uso do solo em comunidades tradicionais no semiárido

Observam-se, em meio às longas estações secas características do semiárido brasileiro, a falta de alternativas de infraestrutura hídrica indispensáveis à convivência com as secas, fazendo com que as populações rurais exerçam maior pressão sobre os recursos naturais da Caatinga, deixando como consequência o ambiente vulnerável à desertificação (MELO; PEREIRA; DANTAS NETO, 2009).

No entanto, busca-se um melhor entendimento a respeito das formas de uso do solo, da apropriação dos espaços por comunidades tradicionais, sobre os impactos que podem ser observados, as possíveis modificações e dinâmicas em decorrência da iniciativa de políticas de conservação nestas áreas (BRASILEIRO, 2009).

Segundo Williams e Schirmer (2012), as alterações no uso da terra promovem mudanças no aspecto social em comunidades rurais. Em populações tradicionais esse fato é evidenciado na utilização de práticas comuns como a queima da vegetação e cultivo da área até a exaustão da fertilidade natural do solo, seguida pelo abandono da área (MAMEDE e ARAÚJO, 2008). Ainda hoje a agricultura familiar persiste em utilizar a queima dos restos vegetais para limpar o terreno, em decorrência da baixa fertilidade dos solos, elevado custo de fertilizantes e corretivos e devido à precarização de políticas adequadas de fomento e assistência técnica para essas famílias (ABREU SÁ *et al.*, 2007).

Entretanto, o uso do fogo perde a sustentabilidade na medida em que aumenta a população da comunidade e a demanda por áreas para produzir mais alimentos, não havendo tempo suficiente de pousio para que o solo se recupere. Conforme destacado por Albuquerque *et al.* (2002), o uso do fogo na agricultura contribui para a intensificação dos processos erosivos, tendo como consequência a fragilização do ecossistema. Em termos de efeito no solo, o uso do fogo acarreta mudanças de natureza física, química e biológica, afetando negativamente a agricultura (ABREU SÁ *et al.*, 2007).

Nesse sentido, é importante refletir sobre formas sustentáveis de trabalhar a agricultura com modelos de desenvolvimento rural que se amparem em princípios agroecológicos (MOREIRA e CARMO, 2007), ou seja, uma agricultura socialmente justa, ecologicamente sustentável e economicamente viável. Práticas conservacionistas de baixo custo passam a ser consideradas alternativas promissoras para a sustentabilidade do uso da terra por agricultores de comunidades tradicionais. Entretanto, tendo em vista as peculiaridades edafoclimáticas do semiárido, é necessário avaliar a funcionalidade dessas práticas para a conservação dos recursos naturais.

2.3 Riscos de degradação dos solos no semiárido

Regiões semiáridas são caracterizadas por apresentar altas temperaturas, precipitações abaixo de 1000 mm, vegetação composta principalmente por arbustos cuja produção de fitomassa é baixa, perdendo as folhas nos meses mais secos. O Nordeste do Brasil é uma das regiões semiáridas mais densamente povoadas do mundo. A renda média "per capita" é muito baixa e a população depende diretamente do bioma Caatinga para o seu sustento (BRASILEIRO, 2009). O bioma Caatinga é marcado pelo clima semiárido quente, conforme a classificação climática BSh de Köppen; apresenta precipitação pluvial entre 400 e 650 mm, chuvas irregulares concentradas em 2 a 3 meses do ano com período seco variando de 6 a 8 meses (CUNHA *et al.*, 2001).

De acordo com Jacomine (1996), a região semiárida contempla grande diversidade de litologias e material originário de relevo e de regime de umidade do solo. Esses fatores resultam em diversas classes de solo que se destacam pela extensão das áreas ocupadas: Latossolos (21%), Neossolos Litólicos (19%), Argissolos (15%), Luvisolos (13%), Planossolos (10%), Neossolos Quartzarênicos (9%), Neossolos Regolíticos (4%) e Cambissolos (4%). Nesses solos, o binômio algodão-pecuária e a exploração da vegetação

para produção de lenha, madeira e carvão foram os principais agentes de degradação (SÁ *et al.*, 1994).

Jacomine (1996) dividiu o semiárido em três áreas conforme a natureza do material originário: áreas do cristalino, áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos e áreas sedimentares. Sobre a base cristalina os solos geralmente são rasos (cerca de 0,60 m), com baixa capacidade de infiltração de água, alto escoamento superficial e reduzida drenagem natural. Nas bacias sedimentares os solos geralmente são profundos (superiores a 2 m, podendo ultrapassar 6 m), com alta capacidade de infiltração de água, baixo escoamento superficial e boa drenagem natural.

Cerca de 82% da área no semiárido apresenta solos de baixo potencial produtivo, seja por limitações de fertilidade, de profundidade do perfil, por limitações de drenagem, elevados teores de sódio trocável ou baixos teores de matéria orgânica. Em geral, há predomínio de solos que apresentam drenagem deficiente devido à presença de horizonte subsuperficial adensado, ocorrência de argilas de alta atividade que se contraem e expandem de maneira mais acentuada por efeito dos alternados ciclos de secagem e umedecimento do solo (SILVA, 2000).

Observa-se no semiárido a presença de solos com alto grau de erosão, perdendo seu potencial produtivo em virtude da agricultura praticada na maioria das propriedades, inclusive naquelas em que se pratica a agricultura familiar com a utilização de práticas tradicionais como o desmatamento, queima da vegetação, pressão sobre o uso da terra até a exaustão da fertilidade natural do solo seguida pelo abandono da área (AGUIAR *et al.*, 2006).

O uso indiscriminado dos recursos naturais, associado às características da região (altas temperaturas, baixa precipitação, solos jovens e baixa produção de biomassa), acelera a degradação das terras, causando redução na biodiversidade e qualidade do solo (BREMAN e KESSLER, 1997). A redução do potencial produtivo das terras agrícolas tem sido atribuída, principalmente, às práticas inadequadas de manejo, o que torna o solo mais suscetível à erosão hídrica. A erosão acelera a degradação do ambiente, principalmente pela remoção de solo, incluindo perdas de matéria orgânica e nutrientes que contribuem para a redução da produtividade (BARTON *et al.*, 2004).

Segundo Silva (2009), a degradação dos solos por erosão tem crescido nos últimos anos, principalmente em regiões semiáridas onde grande parte da população depende de atividades econômicas ligadas à agricultura. De acordo com Koopmans (2005), anualmente milhões de hectares de vegetação nativa em florestas secas são cortadas para lenha e produção

de carvão vegetal e pecuária extensiva. Grandes extensões da região semiárida do Brasil foram degradadas pelas práticas da agricultura tradicional (SOUSA *et al.*, 2012).

Além das chuvas e da cobertura vegetal, a topografia desempenha papel importante nos processos de erosão. O tamanho e a quantidade de materiais particulados em escoamentos de água estão associados com as variações de declividade (LU; VALLADARES e BATISTELLA, 2004).

O estabelecimento das linhas de plantio paralelas à inclinação aumenta os riscos de solo por erosão. Feitosa *et al.*, (2013), caracterizando atividades agropecuárias em comunidade rural no município de Sobral, observaram que o plantio morro abaixo ainda é uma prática bastante utilizada em comunidades rurais tradicionais do semiárido cearense. Os autores constataram a realização do plantio morro abaixo por 60% das famílias avaliadas. Essa prática, aliada ao desmatamento da vegetação natural e às queimadas, contribui para o aumento da erosão. Alterações nas propriedades químicas e físicas do solo, diminuição do carbono e o esgotamento das reservas de nutrientes disponíveis são resultados da ação erosão em solos (SILVA, 2011).

A degradação causada pela fragilidade dos solos e as práticas de manejo não é observada apenas no semiárido brasileiro. Analisando as formas de uso da terra por povos tradicionais Pirineus na Espanha central, Navas e Machín (2005) consideraram que os solos das áreas utilizadas para agricultura apresentaram grande sensibilidade a processos erosivos. De fato, as limitações edáficas associadas às práticas agrícolas intensivas realizadas durante séculos pelos Pirineus, tais como a transformação de florestas em campos agrícolas seguida pelo abandono da terra, são fatores que tornaram essas regiões extremamente frágeis, tanto do ponto de vista ambiental quanto socioeconômico (SHARMA *et al.*, 2005).

2.4 Erosão e suas consequências

Um problema que muito tem contribuído para a degradação ambiental é a erosão, pois essa tem sido a principal causa da redução da fertilidade e capacidade produtiva dos solos agrícolas. A erosão se caracteriza por ser o processo físico que envolve a desagregação, transporte e deposição de sedimentos, que sofre influência de fenômenos naturais tais como: água, vento ou gravidade, além de interferências antrópicas, resultando em erosão acelerada (USDA-NRCS, 2008). Costa *et al.* (2015) sugerem o assoreamento e a contaminação dos cursos hídricos como efeitos indiretos da erosão.

Pruski (2006) define a erosão como o desprendimento e transporte de material (partículas de solo, nutrientes e matéria orgânica) em um determinado local e que são causados pela água e pelo vento, ao passo em que a sedimentação é a deposição ou ganho do material transportado pelo escoamento superficial. Entre os fatores que influenciam na magnitude do processo erosivo estão as chuvas, a infiltração de água no solo, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e a natureza do solo.

A desagregação é definida como a liberação de partículas dos agregados que é provocada, especialmente, pelo impacto das gotas da chuva diretamente sobre a superfície do solo. As partículas, uma vez desprendidas, podem permanecer próximas ao agregado ou serem transportadas (CARVALHO *et al.*, 2002). O transporte ou arraste das partículas finas desagregadas se dá quando o solo está saturado ou quando a intensidade da chuva é superior à taxa de infiltração de água no solo, ocasionando o início do escoamento superficial (INÁCIO *et al.*, 2007). No estágio final do processo, a deposição das partículas normalmente culmina em locais mais baixos que podem ser depressões naturais do terreno ou em corpos hídricos como rios, lagos e açudes.

Cavichiolo (2005) classifica a erosão hídrica em três formas: laminar, sulcos e voçorocas, destacando que as mesmas podem ocorrer isoladamente ou simultaneamente. Erosão laminar caracteriza-se pelo arraste de camada fina e relativamente uniforme pela precipitação pluvial e pelo escoamento superficial. Constitui uma das formas mais danosas de erosão, pois remove a camada superficial do solo onde se encontra a matéria orgânica, os nutrientes e os insumos agrícolas, podendo alterar as condições para ocorrência dos processos microbianos essenciais para a fertilidade do solo, decomposição do material orgânico e disponibilidade dos nutrientes para as plantas (SILVA *et al.*, 2008).

Segundo Lafayette, Cantalice, e Coutinho (2011), a erosão em sulcos é considerada a segunda fase do processo físico da erosão hídrica; ocorre quando o escoamento hídrico se concentra em pequenas depressões devido às irregularidades da superfície do terreno, promovendo a elevação da tensão de cisalhamento, que é considerado o principal agente de desagregação e transporte dos sedimentos nos sulcos.

De acordo com Zglobicki, *et al* (2015), voçorocas são canais profundos formados pela ação do fluxo concentrado, resultando na retirada de grande quantidade de sólidos. Representam uma das formas mais agressivas de erosão hídrica, pois promovem grandes alterações nas áreas em que se formam. Zglobicki *et al.* (2015) salientam ainda que voçorocas estão comumente associadas às atividades agrícolas, podendo ser formadas a partir do

desmatamento progressivo que permite o escoamento intensivo das águas mediante chuvas torrenciais.

Os efeitos negativos da erosão incluem a redução da fertilidade do solo, redução da sua capacidade de armazenamento de água, perdas de matéria orgânica, poluição da água e assoreamento (CERDAN *et al.*, 2010). Adicionalmente há aumento no risco de desertificação, destruição das nascentes, modificação da calha dos rios pelo desmoronamento e deposição de sedimentos no leito, formação de sucros indesejáveis no terreno e poluição dos corpos hídricos provocando aumento da turbidez na água (CARVALHO, 2008). Todos esses pontos negativos podem refletir em aspectos sócio-econômicos, tais como abandono das terras e o declínio das comunidades rurais (BAKKER *et al.*, 2005).

2.5 Formas de mensurar a erosão do solo

Fluxos de água e sedimentos são processos físicos relevantes a serem modelados em regiões semiáridas, cuja compreensão depende de parâmetros da vegetação e eficiência do manejo do solo (PINHEIRO; COSTA; ARAÚJO, 2013).

Os Estados Unidos são, provavelmente, o único país onde os dados de erosão foram coletados durante longo período de tempo utilizando metodologia padronizada (CERDAN *et al.*, 2010). Na Europa os dados de erosão foram coletados por meio de uma série de projetos de investigação baseados em várias metodologias, sendo a maioria dos dados coletados em campo em parcelas de erosão sob chuva natural, similares às utilizadas para calibração e validação da Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation – USLE). Embora o tamanho das parcelas, as metodologias, bem como a duração do período de estudo variem consideravelmente, estes dados apresentam uma riqueza de informações sobre as reais taxas de erosão na Europa (CERDAN *et al.*, 2010).

Em geral, existe uma busca para o conhecimento dos processos de erosão do solo que ocorrem em parcelas de diferentes tamanhos e dos fatores que determinam a variabilidade natural, como uma base para obtenção de dados de perda de solo de boa qualidade (BAGARELLO e FERRO, 2004).

Zobisch, Klingspor e Oduor. (1996) comentam que entre as causas da variabilidade na medição da perda de solo, a perturbação humana tem sido relatada como uma importante fonte de variação. Desse modo, várias questões são cruciais antes da instalação de um projeto experimental para obtenção de dados de boa qualidade, tais como: adequação de

escalas espaciais e temporais, representação de condições naturais e redução da perturbação no ambiente.

As técnicas para mensuração da erosão se dividem em duas categorias: métodos indiretos e diretos. As técnicas de medição indiretas não quantificam o transporte de partículas do solo, mas são utilizadas para determinar a erosão ou a taxa de sedimentação em uma determinada área. Constituem exemplos desse método a utilização de pinos de erosão para medir as mudanças na elevação da superfície do solo (GIBBENS *et al.*, 1980) ou a técnica de isótopo (CHAPPELL *et al.*, 1996). Essas técnicas indiretas fornecem informações de um ponto com uma resolução temporal comparando as variações diárias e anuais. Os métodos diretos de medição da erosão hídrica por escoamento superficial consistem normalmente na quantificação e produção de sedimentos apurados na saída de parcelas de erosão de diferentes escalas espaciais durante e imediatamente após eventos (VISSER, STERK; RIBOLZI, 2004).

As parcelas de erosão continuam a ser um dos métodos mais utilizados para estimar as taxas de erosão de campo a curto e médio período de tempo. Alguns autores como Ollesch e Vacca (2002) recomendam estudos de longo prazo com duração superior a três anos para obter resultados confiáveis.

A vantagem da utilização de parcelas fechadas é que elas permitem uma comparação de respostas hidrológicas na mesma escala espacial com exatamente o mesmo tamanho da área de drenagem. Como desvantagem, Romero-Díaz *et al.* (1999) observaram que após vários anos de funcionamento de parcelas fechadas pode haver esgotamento do material disponível para desagregação devido ao surgimento de uma camada de proteção sobre a superfície do solo.

Medidas em parcelas abertas de diferentes tamanhos são mais adequadas para o monitoramento das taxas de erosão em longo prazo, uma vez que os fluxos de água e sedimentos não são perturbados pelos limites das bordas em parcelas fechadas. No entanto, a manutenção em longo prazo de tais parcelas envolve um investimento substancial de tempo e dinheiro (BOIX-FAYOS *et al.*, 2006).

As parcelas fechadas de menor tamanho como as de 1 m² apresentam menores perdas de solo e água quando comparadas com as parcelas de 20 m², o que se deve à menor velocidade do fluxo e à limitação na capacidade de transporte das parcelas menores. Segundo Chaplot e Le Bissonais (2000), que utilizaram parcelas de 1 a 10 m², a erosão e o transporte são limitados pelo impacto das gotas da chuva e a reduzida velocidade de fluxo. Assim, dados

de perdas de solo obtidos em escala de parcelas são difíceis de extrapolar ao nível da bacia hidrográfica porque a heterogeneidade de uma bacia é sempre maior do que a de uma parcela.

De acordo com Stroosnijder (2005), medições da taxa de erosão em parcelas de pequena e média escala são ideais para calcular perda de solo, enquanto as escalas de maior tamanho podem ser utilizadas para avaliar produção de sedimentos.

Os estudos em parcelas de escalas espaciais são importantes tendo em vista o fornecimento de informações da quantidade de solo agrícola que será deslocado. O conhecimento da quantidade de solo deslocado de áreas agrícolas é importante, pois esse processo resulta no empobrecimento dos campos, redução de armazenamento de água e potencial de poluição dos corpos hídricos (CERDAN *et al.*, 2010).

De Vente e Poesen (2005) afirmam que com o aumento da área de drenagem é esperado aumento na produção de sedimentos. Os autores comentam ainda que em condições extremas como, por exemplo, alta erodibilidade, baixa cobertura vegetal e elevada intensidade de precipitação, alta produção de sedimentos pode ocorrer nas parcelas. A fim de minimizar a variabilidade devido ao erro experimental causado por variações incontroláveis do solo, cultura, tratamento ou equipamento, parcelas experimentais para estudos de erosão devem apresentar, pelo menos, três repetições (RUTTIMAN *et al.*, 1995).

Para ter uma boa descrição das transferências de dados de perdas de solo entre as parcelas é preciso não só entender os fatores que influenciam a erosão, mas também os processos que atuam nas diferentes escalas espaciais (MEDEIROS, 2009).

Conforme Boix-Fayos *et al.* (2006), a aquisição de dados reais de perda de solo é um assunto muito complexo que envolve problemas técnicos que são difíceis de resolver. Os autores ressaltam que os dados devem ser interpretados de acordo com o método e escala de medição. Muitas vezes os dados de erosão disponíveis de uma área não refletem as reais taxas de precisão para a mesma, mas devem ser interpretados comparando tratamentos ou microambientes entre parcelas (BOIX-FAYOS *et al.*, 2006).

Santos (2012) ressalta a importância da obtenção de dados de erosão do solo em diferentes escalas espaciais em regiões como o semiárido brasileiro. Segundo o autor, dados gerados em campo são muito escassos nessa região. Dessa forma, estudos que possibilitem mensurar perdas de solo e nutrientes em regiões semiáridas, permitem acompanhar e obter uma melhor análise das práticas atuais de uso do solo e contaminação dos corpos hídricos.

2.6 Atributos químicos do solo em resposta ao manejo

A falta de entrada de nutrientes no solo, aliada às práticas de manejos tradicionais como o sistema de corte e queima, normalmente é observada em sistemas de agricultura de subsistência em regiões do semiárido brasileiro. Essas práticas de manejo influenciam atributos químicos do solo e as altas taxas de escoamento durante a estação chuvosa, o que contribui para o declínio da fertilidade dos solos nessas regiões.

No que se refere aos atributos utilizados rotineiramente na avaliação da fertilidade do solo, existem inúmeros trabalhos na literatura que ressaltam o aumento na disponibilidade de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) mineralizados imediatamente após o uso do fogo (GATTO *et al.*, 2003; RHEINHEIMER *et al.*, 2003). Estudos realizados por Matos *et al.* (2012) indicaram maiores valores de pH no sistema manejado com queima da vegetação devido ao efeito fertilizador das cinzas no solo. No entanto, esses efeitos podem desaparecer em médio prazo devido a lixiviação dos nutrientes pela ação das chuvas.

O sucessivo uso do fogo reduz gradualmente o estoque de nutrientes do solo sem permitir sua reposição (REDIN *et al.*, 2011). Além disso, conforme informado por Mazoyer e Roudart (2010), a prática do uso do fogo e o clima quente durante a estação seca, aliados a solos sem cobertura, contribuem para maior aquecimento, promovendo a desidratação dos colóides das argilas, o que reduz ainda mais a capacidade do solo estocar nutrientes.

Cassol *et al.* (2004) ressaltam as modificações na taxa de infiltração e evapotranspiração da água, na porosidade e no aumento do grau de suscetibilidade à erosão hídrica e eólica em solos sem cobertura. Knicker (2007) salienta a importância da cobertura morta sobre o solo na proteção contra a lixiviação de nutrientes. Avaliando a perda de solo e nutrientes por erosão em área de caatinga no município de Iguatú-CE, Lobato *et al.* (2009) observaram a matéria orgânica como o constituinte perdido em maior quantidade em relação aos atributos de fertilidade do solo.

D'Andrea *et al.* (2004) afirmam que para avaliar a viabilidade ambiental de um determinado agroecossistema deve-se monitorar a qualidade do solo. Essa qualidade tem sido atribuída à matéria orgânica do solo (MOS) que atua como fonte de nutrientes, aumenta a retenção de cátions, atua na complexação de metais, auxilia na retenção e infiltração de água e é fonte de carbono e energia para os microrganismos funcionando como componente fundamental na manutenção da sustentabilidade dos solos (MIELNICZUK, 2008). Cunha *et al.* (2005) atribuem os prejuízos nas características químicas, físicas e biológicas do solo à

baixa quantidade e qualidade da MOS, devido a remoção da vegetação natural para fins de cultivo agrícola.

Geralmente a quantidade do carbono orgânico total (COT) é avaliada em estudos sobre a qualidade do solo; porém, essa avaliação muitas vezes não é suficiente para detectar alterações na qualidade do solo, devendo-se recorrer ao fracionamento da matéria orgânica, pois, de acordo com Vergutz *et al.* (2010), as frações carbono em ácidos fúlvicos (C-AF), carbono em ácidos húmicos (C-AH) e carbono na humina (C-HUM) têm demonstrado maior sensibilidade às mudanças no uso do solo.

As substâncias húmicas representam uma parte da matéria orgânica e são compostas por substâncias orgânicas amorfas, heterogêneas e com comportamento químico similar, estruturas químicas complexas, de natureza particular, sem composição específica e de maior estabilidade do que os materiais que as originam (BENITES, MADARI e MACHADO, 2003). De acordo com Benites (2003), as substâncias húmicas são originadas por meio do processo de humificação a partir de transformação de compostos com morfologia conhecida como celulose, lignina, proteínas, lipídios e outras substâncias da decomposição química e biológica. As principais transformações que ocorrem durante a decomposição dos resíduos orgânicos e a humificação são: perda de polissacarídeos e componentes fenólicos, modificação das estruturas de lignina e enriquecimento em estruturas aromáticas não lignínicas recalcitrantes (ZECH *et al.*, 1997).

Conforme já mencionado, o uso do fogo na agricultura é uma prática tradicional muito comum utilizada principalmente por agricultores que possuem baixo nível tecnológico. No entanto, tal prática tem efeitos sobre os atributos químicos do solo, podendo ainda influenciar no processo de degradação quando não é estabelecido pelo o agricultor o tempo de pousio suficiente para que a terra possa se recuperar. Knicker (2007) salienta que o impacto do fogo na quantidade e qualidade da MOS depende, especialmente, da sua intensidade, tipo de vegetação e textura do solo. Potes *et al.* (2010) relatam que o uso do fogo no preparo da terra favorece o maior teor de matéria orgânica em camadas subsuperficiais e, de modo geral, maior proporção de estruturas quimicamente mais lábeis, de menor recalcitrância, comparativamente às áreas que não são tratadas com o fogo.

De acordo com a Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas – IHSS (SWIFT, 1996), as substâncias húmicas são divididas quimicamente em três constituintes principais: fração ácidos fúlvicos, fração ácidos húmicos e fração humina. Essa divisão tem como base a solubilidade desses compostos em que apresentam as seguintes características: fração ácidos fúlvicos – cor amarelo-parda e solúvel em qualquer valor de pH da solução;

fração ácidos húmicos – cor castanho-escuro e solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído; fração humina – insolúvel e que permanece ligada à matriz mineral do solo (CAMARGO, 1999).

A Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) recomenda um método para a extração das substâncias húmicas de material de solo e posterior fracionamento em ácidos húmicos, fúlvicos e humina, baseado na solubilidade diferencial destas frações em meio alcalino e ácido (MACHADO, 1999). Contudo, este método é laborioso e deve ser empregado quando se pretende extrair substâncias húmicas com alto grau de pureza para fins de caracterização.

Outro método simplificado e de baixo custo foi desenvolvido por Benites *et al.* (2000), adaptando a metodologia padrão da IHSS para extração e fracionamento, visando a quantificação das frações húmicas. As informações geradas pela adoção desta metodologia podem ser úteis em trabalhos de classificação de solos, como indicadores do efeito do manejo ou para estudos de dinâmica de carbono no solo (SWIFT, 2001), fornecendo informação complementar ao teor de carbono orgânico total do solo.

2.7 Práticas de manejo que contribuem com a conservação do solo

Considerando que a degradação dos solos tem efeito direto sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas (NAVAS e MACHÍN, 2005), as práticas de conservação são importantes ferramentas na manutenção da sustentabilidade de sistemas agrícolas. Se as práticas conservacionistas forem acessíveis aos agricultores e adequadas às condições edafoclimáticas locais, maiores serão as chances de que passem a ser efetivamente utilizadas nas comunidades tradicionais.

Albuquerque *et al.* (2002) ressaltam a importância da utilização de práticas conservacionistas na agricultura (manutenção da cobertura do solo, o plantio entre leiras do mato em nível e a presença de árvores no sistema), permitindo o controle da perda de nutrientes, aumento da matéria orgânica, retenção de solo e água durante o período das chuvas, otimizando os atributos químicos e físicos do solo.

O pousio é uma prática que permite recuperar a fertilidade de solos submetidos ao uso do fogo, mas é preciso ter biomassa e tempo suficientes para que essa recuperação aconteça. De acordo com Nunes; Araújo Filho e Menezes (2006) a sustentabilidade na Caatinga foi praticada no passado, quando os agricultores permitiam extensos períodos de

pousio após o uso da terra, visto que a densidade populacional era baixa favorecendo a recuperação da vegetação natural e da fertilidade do solo. No entanto, a pressão demográfica em extensas áreas do Nordeste fez com que reduzisse o período de pousio para menos de 10 anos (NUNES, ARAÚJO FILHO e MENEZES, 2009). Hoje, a agricultura de subsistência é praticada em áreas onde a vegetação encontra-se em estágio sucessional arbustivo, com a fertilidade do solo ainda não recuperada, causando queda na produtividade dos cultivos (CARVALHO, 2002).

No estudo realizado por Nunes; Araújo Filho e Menezes (2006) foi constatado que o pousio por cinco anos favoreceu a restauração da qualidade de um solo da Caatinga que havia sido manejado com o uso do fogo seguido do cultivo. Esse favorecimento foi demonstrado por meio de melhorias nos indicadores químicos, físicos e biológicos. Salientam ainda os autores que nas áreas de pousio com período de cinco anos houve favorecimento da presença do extrato arbóreo responsável pelo aporte de matéria orgânica em maior quantidade na superfície do solo, permitindo a recuperação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo mais próximas das condições de fertilidade de área de mata nativa utilizada como controle.

O plantio em nível representa uma estratégia eficiente no controle da erosão. Seu uso em substituição ao plantio morro abaixo tem sido eficaz na redução do arraste de partículas de solo por enxurradas provenientes das chuvas de alta intensidade concentradas em curto período, como demonstraram Albuquerque *et al.* (2002). Esses mesmos autores, analisando os efeitos de cobertura e práticas conservacionistas do solo, observaram que parcelas com plantio de palma em nível apresentaram redução de 85% das perdas de solo em relação ao plantio de palma morro abaixo, evidenciando o efeito protetor da cobertura vegetal e das práticas conservacionistas. Além disso, o plantio em nível, ao reduzir a erosão, favorece a manutenção da fertilidade do solo.

Sistemas agroflorestais (SAFs) têm sido apontados como alternativa eficiente ao uso da terra. Esses sistemas são considerados de produção agrícola sustentável, pois conciliam a produção de alimentos e florestal (LIMA *et al.*, 2007), havendo maior diversificação da produção que possibilita maior viabilidade na agricultura familiar. Os SAFs proporcionam maior cobertura do solo pela produção de serapilheira, contribuindo com a conservação do solo de modo que, além de elevar e diversificar a renda adicionam benefícios ambientais às atividades produtivas (AGUIAR *et al.*, 2006).

Os SAFs apresentam-se como alternativa às práticas de manejo insustentáveis em regiões onde a prática do corte e queima ainda se faz presente na rotina dos agricultores.

Compreende-se que com a implantação de sistemas agroflorestais não haverá mais interesse em usar o fogo para o preparo das áreas, já que o fogo poderá comprometer os componentes arbóreos. Ferreira *et al.* (2009), estudando sistemas agroflorestais na agricultura familiar como alternativa para diversificação da produção e redução de queimadas no nordeste paraense, observaram que com a implantação de SAFs pelos agricultores houve diminuição não só na quantidade do número de queimadas, mas também na abertura de novas áreas.

Avaliando os teores de nutrientes da serapilheira e do solo em sistema agroflorestal em área de transição no norte do Piauí, Lima *et al.* (2007) verificaram que os maiores teores de nutrientes no solo sob SAF estão associados ao maior aporte de resíduos de forma contínua e à maior eficiência do processo de ciclagem de nutrientes. Portanto, o sistema pode ser considerado excelente alternativa para melhoria da qualidade do solo e do ambiente.

Norgrove *et al.* (2009) ressaltam que a presença de componentes florestais arbóreos nos SAFs adicionados a uma grande biodiversidade de espécies, propicia a deposição contínua de resíduos vegetais, resultando em melhoria na qualidade da matéria orgânica do solo. Ainda que no que diz respeito à qualidade da matéria orgânica do solo, os SAF's têm se mostrado eficientes em manter e, às vezes, em elevar os teores de nitrogênio (N) e carbono (C) do solo, preservando sua qualidade. Iwata *et al.* (2012), estudando os efeitos de sistemas agroflorestais nos atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do cerrado piauiense, constataram que o aporte de material orgânico e a grande biodiversidade dos sistemas agroflorestais aumentaram os teores de C e N, garantindo maior permanência deste material e maiores efeitos benéficos promovidos pela matéria orgânica do solo.

Moraes *et al.* (2007), analisando frações húmicas sob diferentes sistemas agroflorestais no semiárido, constatou maiores formações de humina em sistemas agroflorestais em que havia ausência de perturbação. No sistema agrosilvipastoril, que sofreu intensa perturbação com presença de animais, o autor constatou a transformação de humina em ácidos húmicos e fúlvicos.

A manutenção de restos vegetais enleirados no solo constitui outra prática de caráter conservacionista. A princípio, essa prática já é favorável pelo fato de eliminar a necessidade do fogo para o preparo da área em que será feito o cultivo. O enleiramento do mato em nível ocorre na fase de preparo inicial do solo e, segundo Nunes *et al.* (2008), é uma prática eficaz no controle da erosão, proporcionando maior abundância da fauna em comparação com as queimadas, podendo ser considerada como prática conservacionista do solo. Esses mesmos autores, ao analisarem os efeitos positivos do enleiramento do mato em nível na qualidade do solo, constataram valores intermediários de carbono orgânico total

(COT) e carbono da biomassa microbiana (CBM), afirmando ser uma prática de manejo menos agressiva ao ambiente em relação à queimada quanto aos indicadores de qualidade de solo.

Estudos disponíveis na literatura (ARAÚJO FILHO e BARBOSA, 2000) ressaltam a influência da manipulação da vegetação da Caatinga seguida de práticas conservacionistas no aumento da produtividade em até 60% na cultura do milho, além da manutenção de indicadores de qualidade do solo por meio da incorporação da matéria orgânica e utilização de leiras dos resíduos provenientes do mato durante o preparo da área. Resultados encontrados por Nunes *et al.* (2009) mostraram valores intermediários de COT em sistemas onde os resíduos provenientes do desmatamento foram reunidos em leira.

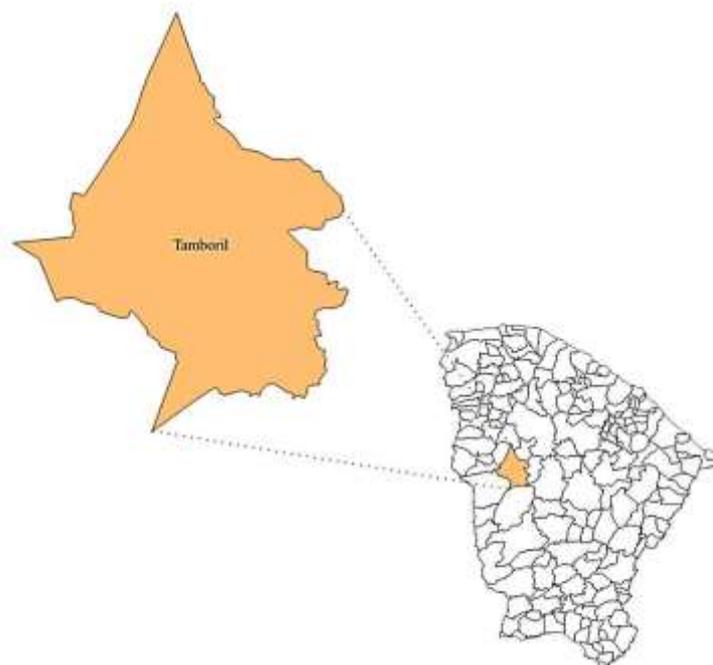
O entendimento da importância de práticas conservacionistas em regiões com características edafoclimáticas peculiares, bem como a avaliação dos impactos dessas práticas na qualidade do solo visando a identificação do manejo adequado, são importantes no planejamento conservacionista; pois, além de permitirem a difusão do conhecimento de práticas ecológicas entre os agricultores no campo, contribuem para sustentabilidade de sistemas agrícolas nessas regiões.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização geral do local de estudo

A área de estudo está inserida numa comunidade quilombola denominada Barriguda, no município de Tamboril (Figura 1), território dos Inhamuns, centro-oeste do interior do Estado do Ceará. As coordenadas geográficas do município são 04°49'56" de latitude sul 40°19'14" de longitude oeste, com altitude de 322 metros.

Figura 1. Localização geográfica do município de Tamboril no Estado do Ceará.



Fonte: Autor

3.1.1 *Clima, relevo, solos e vegetação*

O clima da região é do tipo BSw'h' (Tropical quente semiárido), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura entre 26 a 28 °C. A precipitação média anual é de 685,7 mm e o período chuvoso se concentra nos meses de janeiro a abril IPECE (2009). As características do relevo, solos e vegetação da região estão informadas na Tabela 1.

Tabela 1. Componentes ambientais para o município de Tamboril - CE.

Relevo	Solos	Vegetação
Depressão setaneja e Maciços residuais.	Luvissolos, Neossolo Litólico, Planossolo Nátrico e Argissolos Vermelho Amarelo.	Caatinga Arbustiva Aberta Floresta Caducifólia Espinhosa e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial.

3.1.2 *Características gerais da comunidade*

Atualmente a comunidade é habitada por 46 famílias, sendo a terra o único bem que vem sendo passado de geração a geração, o que mostra a importante relação dos agricultores com a terra.

Grande parte das famílias vive na comunidade e trabalha no campo, apenas duas famílias realizam atividades adicionais à agricultura que estão ligadas ao comércio local. A mão de obra concentra-se no casal de agricultores e, em alguns casos, com ajuda de mais um único membro da família. De modo geral, as atividades desenvolvidas na terra são à base da mão de obra familiar, com trabalho vinculado à agricultura e pecuária.

Embora algumas famílias não dependam apenas da agricultura e pecuária para seu sustento, a vida social e econômica dos trabalhadores da comunidade é influenciada pela qualidade da terra, já que quase o total das famílias se beneficia dos produtos que a terra oferece.

É comum encontrar sinais de erosão nas áreas da comunidade devido ao relevo declivoso na maior parte dos locais e aos impactos que práticas agrícolas inadequadas têm causado. Dentre as práticas agrícolas consideradas inadequadas à conservação do solo, na comunidade são praticadas: exploração intensiva da Caatinga, plantio “morro abaixo”, cultivo em terrenos declivosos sem adoção de práticas conservacionistas e a queima dos restos vegetais no preparo do solo para o plantio.

As sementes das culturas são dos próprios agricultores (sementes crioulas), armazenadas e conservadas por eles, mas há agricultores que utilizam sementes provenientes do governo estadual (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará - Ematerce). As culturas perenes e anuais são responsáveis pelos principais produtos consumidos na comunidade. Dentre as culturas anuais mais produzidas destacam-se o milho, feijão, mandioca, fava, mamona, jerimum e melancia. Dentre as culturas perenes são encontradas a palma forrageira, pastos nativos e cultivados, frutíferas, tais como acerola, mangueira, cajueiro, bananeira, tangerina, umbu e graviola.

A pecuária também se destaca como uma atividade importante na produção de alimentos na comunidade. A criação de galinhas caipiras, gado leiteiro, ovinos, caprinos e suínos, bem como a produção de ovos são conduzidas em pequena escala, apenas para consumo familiar.

3.1.3 Organizações que atuam na comunidade

A comunidade Barriguda atualmente é atendida e recebe apoio de três instituições, como o Projeto Dom Helder Câmara (PDHC), que é um programa de ações referenciais de combate à pobreza e apoio ao desenvolvimento rural sustentável no semiárido do nordeste; a Cáritas Diocesana Crateús, que desenvolve ações em Tamboril e em municípios vizinhos,

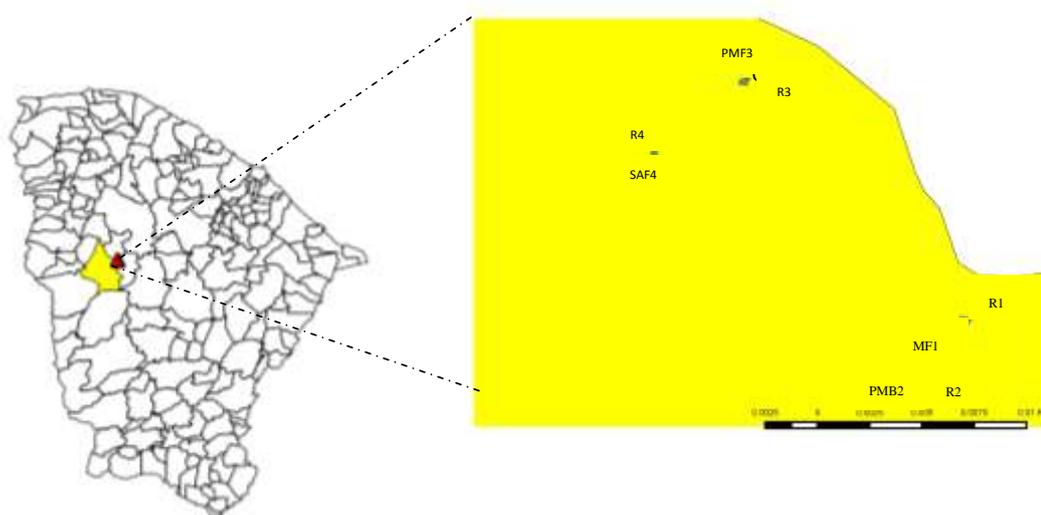
Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará – Ematerce e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

3.2 Estudo sobre perdas de solo e água

3.2.1 Caracterização específica das áreas de estudo

O estudo das perdas de solo e água foi realizado no local descrito no item 3.1. Nesse local foram selecionadas áreas (Figura 2) em que são adotadas quatro práticas de manejo: MF1 – plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível; PMB2 - palma morro abaixo; PMF3 - palma consorciada com o plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível e SAF4 - sistema agroflorestal. Para cada manejo foi selecionada uma área adjacente de regeneração natural, variando de 10 a 15 anos em pousio.

Figura 2. Localização e disposição das áreas de estudo na comunidade “Barriguda” no município de Tamboril-CE. MF1 – plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível, R1 – área de regeneração natural adjacente ao manejo MF1; PMB2 - palma morro abaixo, R2 – área de regeneração natural adjacente ao manejo PMB2; PMF3 - palma consorciada com o plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível, R3 – área de regeneração natural adjacente ao manejo PMF3 e SAF4 - sistema agroflorestal, R4 – área de regeneração natural adjacente ao manejo SAF4.



Fonte: Autor, utilizando o Software QGIS 2.4.

3.2.1.1 Descrição detalhada de cada manejo

Área MF1 (Consórcio do plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível)

A área MF1 foi desmatada em 2010 quando apresentava características de mata nativa. No mesmo ano a área foi preparada de modo tradicional (corte e queima da vegetação) e recebeu o plantio de feijão e milho cujas produtividades médias foram 238,76 e 477,52 kg ha⁻¹, respectivamente. Em janeiro de 2013 foi realizado um novo preparo da área, o qual foi manual utilizando foice e enxada. Separou-se o material fibroso de arbustos (garranchos) para construção de leiras niveladas e com espaçamento de 6 m cortando a declividade do terreno (Figura 3a). As atividades desenvolvidas no período de 2013 a 2014 foram: plantio do milho, feijão, fava e mandioca.

As culturas do milho e feijão foram estabelecidas consorciadas (Figura 3b) entre leiras no início do período chuvoso de 2015 (fevereiro). Os valores de produtividade média de feijão e milho foram 358,13 e 1.432,5 kg ha⁻¹, respectivamente. Na área MF1 foi identificada ocorrência de erosão em sulco e laminar (Figura 3c).

Uma área adjacente a este manejo foi adotada para ser utilizada como referência (R1). Essa área foi caracterizada por apresentar período de pousio de quinze anos, com vegetação arbustiva/herbácea (Figura 3d).

A declividade da área MF1 variou de 21,3 a 29,2 % (Tabela 2), resultando na classe declive “D” (20 - 45 %) e relevo forte ondulado.

Figura 3. Área MF1 – Manejo com enleiramento de garrancho em nível nas culturas do milho e feijão. Área antes da implantação das culturas (a); área após a implantação das culturas (b); presença de erosão em sulco em MF1 (c) e área adjacente em pousio (d).





Fonte: Autor

Tabela 2. Área ocupada por cada manejo avaliado, altitude, declividade, classes de declive e de relevo dos locais de avaliação.

Manejo	Área (m²)	Altitude (m)	Declividade (%)	Classes de declive (%)	Classes de relevo
MF1	1.675,34	941-950	21,3	> 20 a < 45	Forte ondulado
R1	164,92	953-959	29,2	> 20 a < 45	Forte ondulado
PMB2	1.876,96	944-957	38,8	> 20 a < 45	Forte ondulado
R2	706,56	944-954	34,3	> 20 a < 45	Forte ondulado
PMF3	3.107,87	751-831	9,6	> 8 a < 20	Ondulado
R3	1.475,20	831-836	11,2	> 8 a < 20	Ondulado
SAF4	2.101,13	829-832	10,4	> 8 a < 20	Ondulado
R4	929,10	825-829	9,6	> 8 a < 20	Ondulado

Nota: Classes de declive e de relevo segundo modelo proposto pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Embrapa (2006).

Os dados topográficos das áreas estudadas referentes à declividade e altitude (Tabela 2) foram obtidos a partir de pontos georreferenciados por meio de GPS Garmin. Os pontos obtidos foram trabalhados junto ao banco de dados geomorfométricos do Brasil, disponível no site <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>, e processados no software QGIS 2.4.

Área PMB2 (Plantio de palma forrageira morro abaixo)

A área PMB2 (Figuras 4a e 4b) teve a cultura da palma forrageira, cultivar Gigante, implantada no ano de 2011. O plantio de palma foi estabelecido acompanhando a declividade do terreno com espaçamento de 1,0 x 1,0 m. Antes do plantio de palma a área foi utilizada para cultivo em consócio de milho e feijão. Em PMB2 foi constatada ocorrência de erosão laminar e em sulco (Figura 4c). A área R2, adjacente a PMB2, foi caracterizada por ser de regeneração natural com dez anos em pousio, apresentando vegetação herbácea e arbustiva (Figura 4d). Quanto à topografia, PMB2 foi caracterizada por apresentar declividade entre 34,3 e 38,8 %, resultando em classe de declive “D” (20 - 45 %) que significa relevo forte ondulado.

Figura 4. Área PMB2 - plantio de palma morro abaixo (a e b); presença de erosão em sulco na área PMB2 (c); área R2 em pousio adjacente ao manejo PMB2 (d).



Fonte: Autor

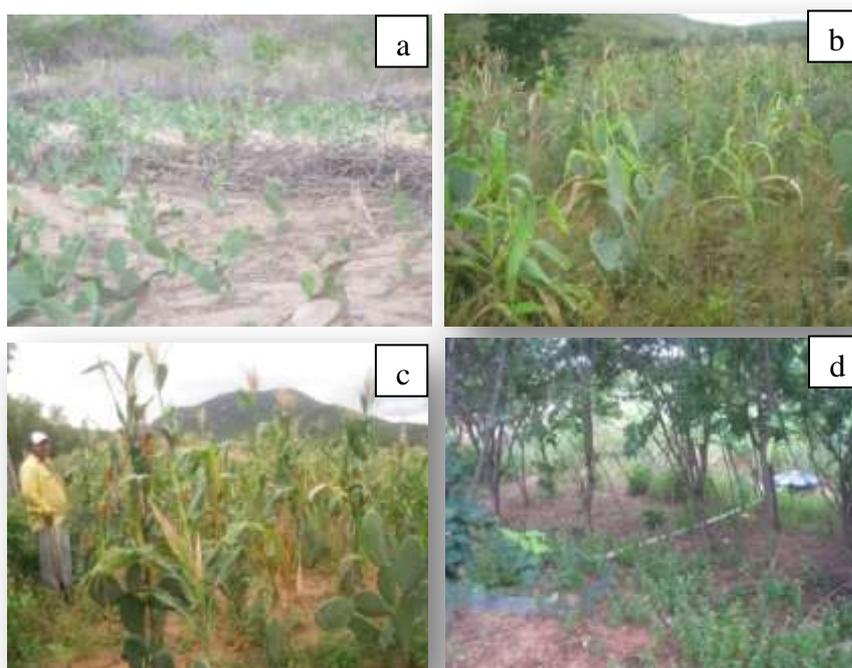
Área PMF3 (Plantio consorciado de palma forrageira, milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível)

A área PMF3, por ocasião da realização deste estudo, apresentava palma forrageira (cultivar Gigante) implantada há quatro anos em cultivo adensado (espaçamento de 0,20 x 0,80 m), em linhas de nível contra a declividade do terreno, consorciada com milho e feijão. As culturas anuais foram implantados no início do período chuvoso (fevereiro de 2015) e dispostas entre leiras dos garranchos com espaçamento de 4 m de distância (Figuras 5a, 5b e 5c). As produtividades médias de feijão e milho no ano de 2015 foram de 96 e 321 kg ha⁻¹, respectivamente.

A área R3 que constituiu o pousio referente ao PMF3, por ocasião da realização deste estudo, estava a quinze anos sem interferência humana, sendo caracterizada pela presença de vegetação com porte herbáceo e arbóreo-arbustivo (Figura 5d).

Não foi registrada presença de erosão na área em PMF3 e, com relação à topografia, a área apresenta declividade de 9,6 a 11,2%, resultando em classe de declive “C” (8 a 20%) que significa relevo ondulado (Tabela 2).

Figura 5. Área PMF3 com plantio de palma forrageira com enleiramento do mato em nível (a, b, c); área R3 em pousio adjacente à área PMF3(d).



Fonte: Autor.

Área SAF4 (Sistema Agroflorestal)

A área SAF4 foi constituída por um sistema agroflorestal localizado próximo à margem de um riacho, apresentando afloramento de rochas. Em 2012 foram cultivados feijão e milho em consócio às espécies arbóreas, com produtividade média de 453,43 e 531,2 kg ha⁻¹, respectivamente. Em 2015 não foi realizado cultivo na área que foi caracterizada pela presença das seguintes espécies vegetais: Marmeleiro (*Croton sonderianus*), Jurema Branca (*Cordia oncocalyx*), Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*), Barriguda (*Ceiba glaziovii*), Mandacará (*Cereus jamacaru*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), Feijão Bravo (*Cynophalla flexuosa*), Mororó (*Combretum leprosum*), Maniçoba (*Manihot glaziovii*), Imburana de espinhos (*Commiphora leptophloeos*), Facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), Catingueira (*Poincianella bracteosa*) e Pau Mocó (*Luetzelburgia auriculata*) (Figuras 6a, 6b e 6c).

A área R4, por ocasião da execução deste trabalho, estava em pousio de aproximadamente quinze anos, sem histórico de exploração e apresentando vegetação herbácea e arbóreo-arbustiva (Figura 6d).

No que se refere à topografia, a área SAF4 apresentou declividade de 9,6 a 10,4% sendo caracterizada pela classe de declividade “C” (8 – 20%) que significa relevo ondulado (Tabela 2).

Figura 6. Área SAF4 caracterizada por um Sistema agroflorestal (a, b, c); área R4 em pousio adjacente ao SAF4 (d).





Fonte: Autor

3.2.2 Parcelas de erosão

A influência das práticas de manejo nas perdas de solo e água foi estudada por meio de experimento em campo, utilizando as oito áreas já mencionadas onde foram alocadas parcelas de erosão. Foram montadas três parcelas de erosão em cada manejo, bem como três parcelas de erosão nas áreas de vegetação natural adjacentes às áreas manejadas. As parcelas foram monitoradas a partir do início do período chuvoso, de fevereiro a junho de 2015.

As parcelas de erosão foram construídas com chapas de zinco galvanizadas, apresentando formato circular com as seguintes dimensões: 1,28 m de diâmetro e 1m² de área, instaladas no sentido da inclinação do terreno em cada área. As parcelas instaladas no campo tiveram uma altura de 0,30 m e foram enterradas a uma profundidade de 0,15 m para evitar as influências externas (Figura 7a).

Figura 7. Parcelas de erosão de 1m² (a) e coletor de sedimentos (b).



Fonte: Autor

A extremidade inferior da parcela foi conectada a uma tubulação de PVC e a um sistema coletor, constituído por um tanque com capacidade de 200L, ao qual foi acoplado um balde com capacidade de 20 L para auxiliar nas coletas (Figura 7b). Esse mesmo modelo de parcelas de erosão (Figuras 7a, 7b e 8) foi utilizado por Santos (2012), que mensurou a erosão do solo no semiárido em diferentes escalas espaciais.

Figura 8. Parcela de erosão instalada em uma das áreas de estudo.



Fonte: Autor.

3.2.2.1 Quantificação das chuvas e das perdas de solo e água

Os registros diários de precipitações foram obtidos por meio de dados da FUNCEME a partir do posto pluviométrico localizado em Tamboril-CE. O escoamento da parcela experimental também foi registrado a cada 24 horas do acumulado de cada evento chuvoso por meio da medição da altura da água nos tanques. Para a quantificação da perda de água por escoamento superficial, mediu-se o volume total de água armazenado por meio de recipiente com indicadores de volumes e com auxílio de esponja para esvaziar a água armazenada dentro de cada tanque coletor a cada evento de chuva.

Para quantificar as perdas de solo foram efetuadas coletas do escoamento superficial a cada 24 horas do acumulado de cada evento chuvoso em cada tanque coletor. As amostras de escoamento foram armazenadas em garrafas com capacidade de 1 litro (Figura

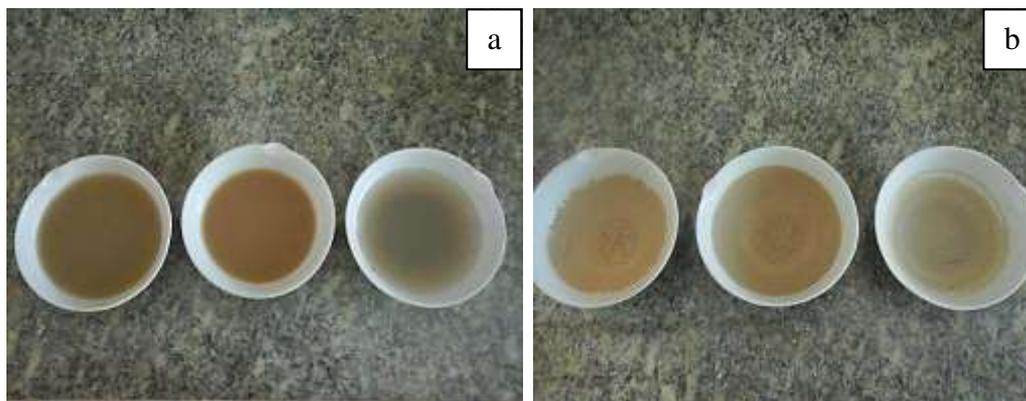
10) após agitação do material acumulado nos tanques coletores. Na sequência, as amostras foram enviadas para o Laboratório de Manejo do Solo da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici (Fortaleza – CE), onde foram mantidas sob refrigeração até a realização das análises. No preparo para as análises, as amostras foram homogeneizadas, posteriormente foram retiradas alíquotas de 300 ml que foram colocadas em cadinhos de porcelana (Figuras 11a e b) para posterior secagem em estufa a 60°C. Depois de seco, o material foi pesado em balança analítica e os valores referentes a cada parcela de erosão foram registrados para posterior análise estatística

Figura 9. Amostras de escoamento de água por erosão para quantificação da perda de solo.



Fonte: Autor.

Figura 10. Alíquota de amostra de perda de solo (a) e material seco em estufa a 65° (b).



Fonte: Autor.

3.3 Avaliação de atributos químicos do solo mediante as práticas de manejo

3.3.1 Amostragem de solo

Nas mesmas áreas em que foram instaladas as parcelas de erosão foram coletadas amostras deformadas de solo para avaliar efeitos do manejo em atributos químicos. As amostras foram coletadas em duas profundidades (0-0,05 e 0,05-0,10 m) e com cinco repetições. Cada amostra foi composta por cinco subamostras retiradas em mini-trincheiras abertas em pontos aleatórios nas áreas. Após coleta, as subamostras foram homogeneizadas para obter amostras compostas, acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório de Manejo de Solo da UFC onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, caracterizando Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

3.3.2 Análises químicas

3.3.2.1 Atributos químicos de rotina

Foram determinados os seguintes atributos: pH, carbono orgânico (CO), fósforo (P), nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) e micronutrientes: Zinco (Zn), Ferro (Fe), Cobre (Cu) e Manganês (Mn).

As determinações dos atributos químicos foram feitas seguindo procedimentos descritos em Embrapa (1997). O carbono foi determinado pelo método de Walkley-Black, segundo metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988), adaptada por Mendonça e Matos (2005). A análise física granulométrica para determinação da textura dos solos (Tabela 3) foi realizada pelo método da pipeta de acordo com o manual da Embrapa (1997).

Tabela 3. Porcentagem de areia, silte, argila e classificação textural do solo de cada área de estudo em Tamboril – CE.

Manejo	Prof. (cm)	% Argila	% Areia	% Silte	Classificação textural
MF1	0-10	10,1	78,7	11,2	arenoso
MF1	10-20	14,1	76,7	9,2	franco arenoso
R1	0-10	17,0	60,8	22,2	franco arenoso
R1	10-20	21,1	59,9	18,9	franco argilo arenoso
PMB2	0-10	25,5	64,5	10,0	franco argilo arenoso
PMB2	10-20	24,2	66,0	9,8	franco argilo arenoso
R2	0-10	4,0	76,4	19,5	arenoso
R2	10-20	18,1	62,9	19,0	franco arenoso
PMF3	0-10	12,1	62,0	19,7	franco arenoso
PMF3	10-20	18,1	65,2	16,6	franco arenoso
R3	0-10	11,2	69,6	19,2	franco arenoso
R3	10-20	16,1	68,6	15,3	franco arenoso
SAF4	0-10	18,1	54,1	27,8	franco arenoso
SAF4	10-20	18,1	51,9	30,0	franco
R4	0-10	20,1	56,9	23,0	franco argilo arenoso
R4	10-20	22,2	58,8	19,0	franco argilo arenoso

3.3.2.2 Extração e fracionamento quantitativo das substâncias húmicas

As substâncias húmicas (SH) foram extraídas segundo o método da solubilização em meio básico, de acordo com Mendonça e Matos (2005), utilizando-se amostras de 0,5 g de solo nas quais foram adicionados 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ e procedeu-se agitação vertical por uma hora a 120 rpm. Após 12 horas de repouso, realizou-se centrifugação (3.000 rpm 20 min), o extrato foi separado e o procedimento foi repetido mais duas vezes. No resíduo resultante adicionou-se 30 mL de NaOH 1 mol L⁻¹ e realizou-se agitação para homogeneização. A solução alcalina foi acidificada a pH 2,0 com ácido sulfúrico (20%), deixada em repouso por 12 h e, em seguida, centrifugada para separação das SH.

Baseando-se na solubilidade diferencial em soluções ácidas ou alcalinas, foram obtidas três frações distintas: ácidos húmicos (AH), solúveis em álcali e insolúveis em ácido; ácidos fúlvicos (AF), solúveis em álcali e ácido e a humina (HUM), insolúvel em ambos.

A determinação do C orgânico em cada fração (C-AF, C-AH e C-HUM) foi realizada pela oxidação com solução de dicromato de potássio a 0,167 mol L⁻¹ e ácido sulfúrico concentrado, com aquecimento em bloco digestor (Mendonça e Matos, 2005). A porcentagem de carbono orgânico foi calculada com base no volume da solução de sal de

Mohr gasto na titulação da amostra (V), do branco aquecido (Vba) e do branco não aquecido (Vbn), conforme as equações:

$$A_{\text{FAF,FAH}} = [(V_{\text{ba}} - V_{\text{am}}) (V_{\text{bn}} - V_{\text{ba}}) / V_{\text{bn}}] + (V_{\text{ba}} - V_{\text{am}})$$

Em que:

Vba = volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento;

Vbn = volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento;

Vam = volume gasto na titulação da amostra.

$$\text{CO}_{\text{FAF,FAH}} (\text{dag kg}^{-1}) = (A)(\text{molaridade Sulf Ferroso})(3)(100)(\text{vol. total (mL)})$$

Em que:

3 = resultado da relação entre o número de mols de Cr_2O_7^- que reage com Fe^{2+} (1/6), multiplicado pelo número de mols de Cr_2O_7^- que reage com o C^0 (3/2), multiplicado pelo peso equivalente do C (1/2);

100 = fator de conversão de unidade (mg mg^{-1} para dag kg^{-1});

Vol. total = refere-se ao volume total obtido na extração de cada fração;

Vol. alíquota = refere-se a quantidade de extrato utilizado para determinação do C;

Peso da amostra = refere-se a quantidade de solo utilizada na extração das substâncias húmicas;

Para quantificação do Nitrogênio (N) em cada fração (N-AF, N-AH e N-HUM), foram pipetados 20 mL do extrato em tubos de digestão de 100 mL, adicionando 1 mL de H_2O_2 30% e 2,0 mL de H_2SO_4 , deixando esfriar por 15 minutos. Em seguida, foi adicionado 0,7 g de mistura de digestão e as amostras foram colocadas no bloco digestor com temperatura inicial a 110°C até que o volume fosse reduzido para aproximadamente 5 mL. Logo após, a temperatura foi elevada até 375°C por duas horas. Em seguida, as amostras foram destiladas utilizando 5 mL de ácido bórico e tituladas com HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$.

Os valores do nitrogênio presente nas frações AF e AH foram calculados pelas equações a seguir:

$$\text{N1} (\text{mgL}^{-1}) = \frac{(V_{\text{am}} - V_{\text{br}}) \times [\text{H}^+] \times 14}{\text{volume alíquota (L)}}$$

Em que:

Vam = volume de HCl gastos na titulação da amostra (mL);

Vbr = volume de HCl gastos na titulação do branco (mL);

[H^+] = concentração real do ácido clorídrico;

14 = massa atômica do N;

Volume alíquota = refere-se a quantidade de extrato utilizado para determinação do N.

$$N_{FAF, FAH} (\text{mg Kg}^{-1}) = \frac{N1 (\text{vol. total (mL)})}{\text{peso da amostra (g)}}$$

Em que:

vol. Total = refere-se ao volume total obtido na extração de cada fração;

peso da amostra = refere-se a quantidade de solo utilizada na extração das substâncias húmicas.

3.4 Análises estatísticas

Os resultados referentes ao volume de água escoado e a quantidade de perda de solo nas parcelas foram analisados em conjunto com as informações de atributos químicos do solo (P, CO) e frações das substâncias húmicas (C-FAF, C-FAH e C-HUM). Os resultados foram submetidos à análise multivariada por componentes principais (ACP) utilizando o Software SAS (1996), com o objetivo de verificar quais atributos permitem distinguir áreas com alternativas de manejo que sejam mais conservacionistas ou de maior potencial de degradação do solo.

Os resultados dos atributos químicos do solo foram analisados considerando para cada manejo o delineamento experimental inteiramente casualizado com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram analisados dois tratamentos (tipo de manejo e pousio), nas subparcelas foram analisadas as camadas de solo (0-0,05 e 0,05-0,10 m), considerando-se cinco repetições. Realizou-se a análise da variância (ANOVA), mediante constatação de diferença significativa, foi aplicado o teste de Tukey em nível de 1 e a 5% de probabilidade para comparação de médias utilizando o software SAS.

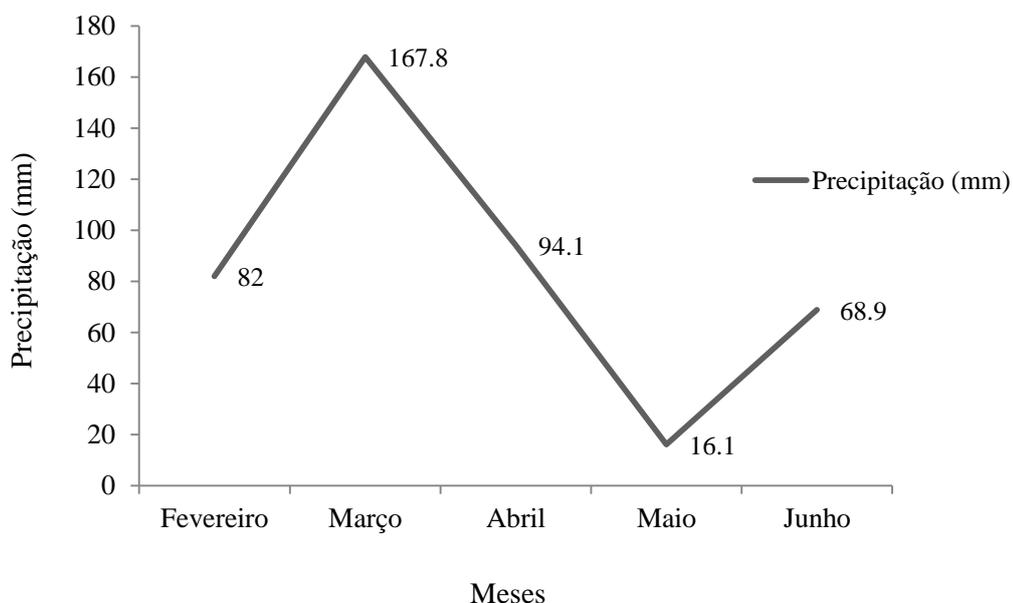
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Influência do manejo nas perdas de água e solo por erosão

As precipitações mensais no local de estudo foram irregulares ao longo do período de avaliação. Na Figura 11 verifica-se que os maiores valores de precipitação ocorreram no

mês de março (167,8 mm), seguido dos meses de abril (94,1 mm) e fevereiro (82,0 mm). Já os menores valores de precipitação foram observados em junho (68,9 mm) e maio (16,1 mm).

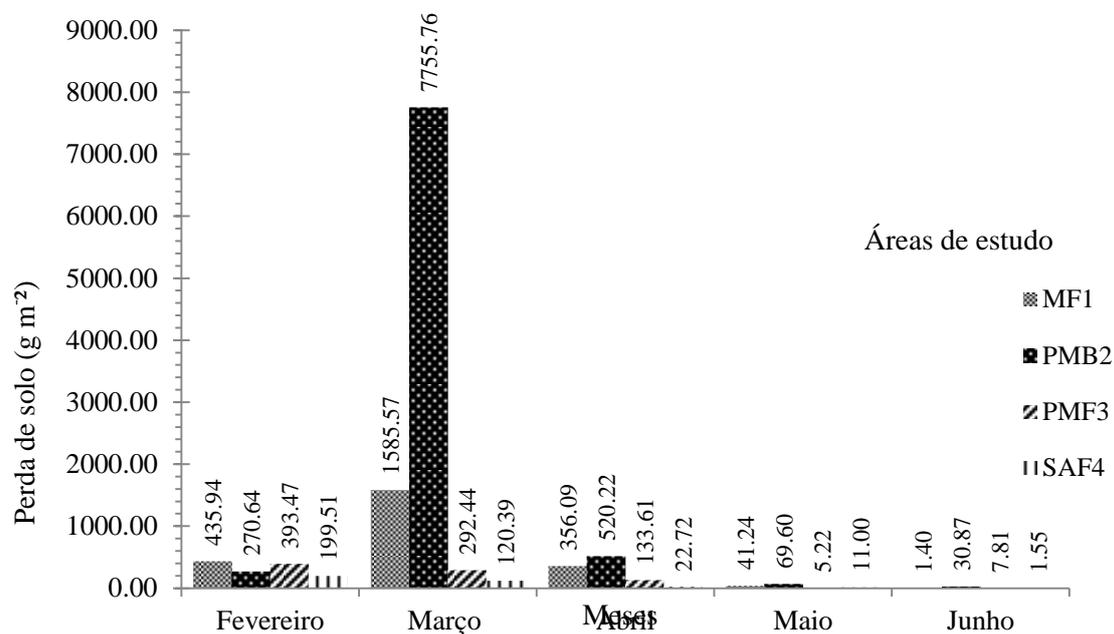
Figura 11. Precipitação pluvial dos meses de fevereiro à junho de 2015 do município de Tamboril – CE



Fonte: Funceme, 2015.

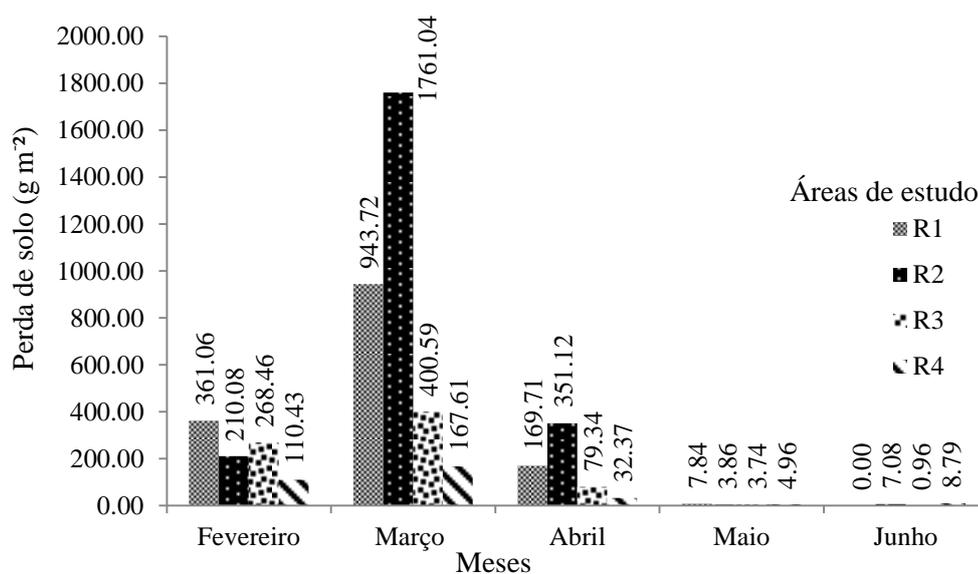
As maiores perdas de solo foram observadas em março, tanto nas áreas manejadas quanto nas áreas sob pousio (Figuras 12 e 13). Nas áreas manejadas as perdas de solo ocorreram na seguinte ordem: PMB2>MF1>PMF3>SAF (Figura 12). Nas áreas em pousio, a ordem de perda de solo foi a seguinte: R2>R1>R3>R4 (Figura 13).

Figura 12. Perda de solo nos manejos MF1, PMB2, PMF3 e SAF4 nos meses de avaliação.



Fonte: Autor.

Figura 13. Perdas de solo por erosão nas áreas em pousio R1, R2, R3 e R4 nos meses de avaliação.



Fonte: autor.

No mês de março, quando ocorreram as maiores precipitações e as maiores perdas de solo e água, a vegetação ainda não havia se desenvolvido totalmente. Na região em que foi

realizado este estudo a estação chuvosa começa em janeiro ou fevereiro, após uma longa estação seca (junho a dezembro) que reduz consideravelmente a biomassa da vegetação. Mesmo com o início das chuvas, um período é necessário até que a vegetação desenvolva plenamente sua biomassa, de modo que em fevereiro e março o solo ainda não está totalmente protegido por essa vegetação. Essa dinâmica de desenvolvimento de biomassa após um período de seca é descrita em Morgan (2005), explicando a maior susceptibilidade do solo à erosão no início do período chuvoso.

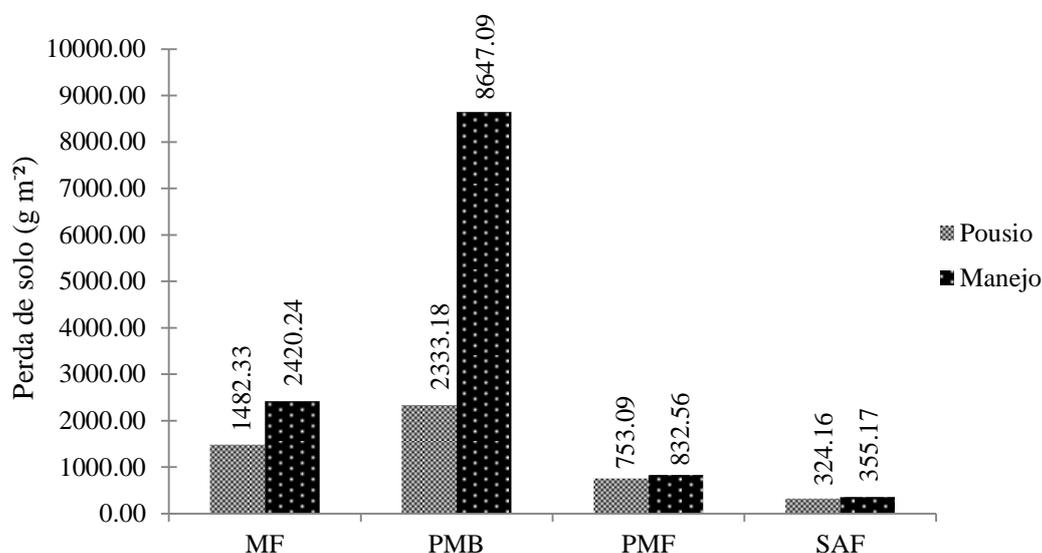
Embora tenha ocorrido maior precipitação no mês de abril em comparação a fevereiro, a perda de solo em abril foi 20,53% menor do que a registrada em fevereiro (Figura 13). Isso também pode ser explicado pela proteção da vegetação, que provavelmente havia se desenvolvido mais em abril do que em fevereiro, atuando mais efetivamente contra a ação direta da erosividade (DASS *et al.*, 2011; INÁCIO *et al.*, 2005).

A variação na erosividade das chuvas também é um fator que pode ter influenciado perdas de solo nas áreas estudadas, uma vez que chuvas menos erosivas também podem ter contribuído com menores perdas de solo no mês de abril. Estudos realizados por Morgan (2005) demonstraram que precipitações de longa duração e baixa intensidade podem provocar a erodibilidade dos solos tanto quanto um evento de curta duração e alta intensidade, promovendo em ambos os casos o escoamento superficial.

Resultados obtidos por Silva *et al.* (2009), ao avaliar os índices de erosividade das chuvas no semiárido pernambucano, indicam maiores índices erosivos no mês de abril em comparação aos meses de fevereiro e março, demonstrando maior potencial erosivo da chuva em abril. Aguiar *et al.* (2006), quantificando a perda de solo e água por erosão no município de Sobral – CE, confirmaram que maiores perdas de solo e água se concentram no mês de abril, indicando desse modo eventos com grande potencial erosivo nesse mês em relação aos demais meses.

Ao analisar o total da perda de solo nas áreas estudadas (Figura 14), percebe-se que PMB2 (palma morro abaixo) foi a área que apresentou o maior valor (8.647,09 g m⁻²), seguida pela área MF (2.420,24 g m⁻²). Nas áreas de manejo PMF3 (palma em consórcio com milho e feijão + enleiramento de garrancho em nível) e SAF4 (sistema agroflorestal) ocorreram menores perdas de solo (832,56 g m⁻² e 355,17 g m⁻², respectivamente). A área R2, pousio associado ao PMB2, apresentou maiores perdas de solo em relação às demais áreas de pousio (Figura 14), mostrando que este resultado tem forte relação com o efeito da declividade (Tabela 2) nas perdas de solo.

Figura 14. Total das perdas de solo por erosão nas áreas de manejo cultivadas e em pousio.

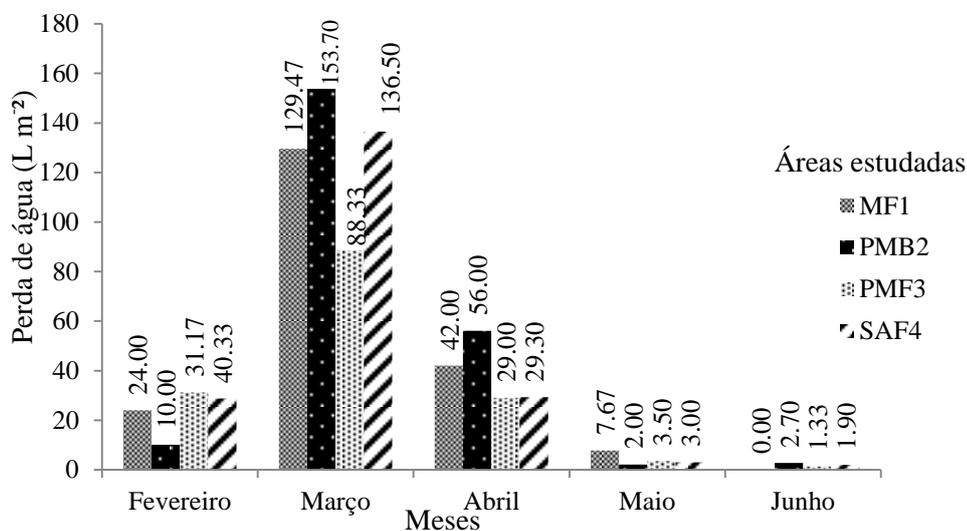


Fonte: Autor.

Comparando as variações das perdas de solo em valores percentuais entre a área de manejo e o pousio, foi observado que a área MF1 apresentou perdas de solo 63,27% a mais em relação ao pousio R1, na área PMB2 essa diferença foi de 73,01% em relação ao pousio R2. Já as menores variações foram encontradas para área PMF3 e SAF4 com 9,54% e 8,73% a mais de perda de solo em relação a suas respectivas áreas de pousios R3 e R4.

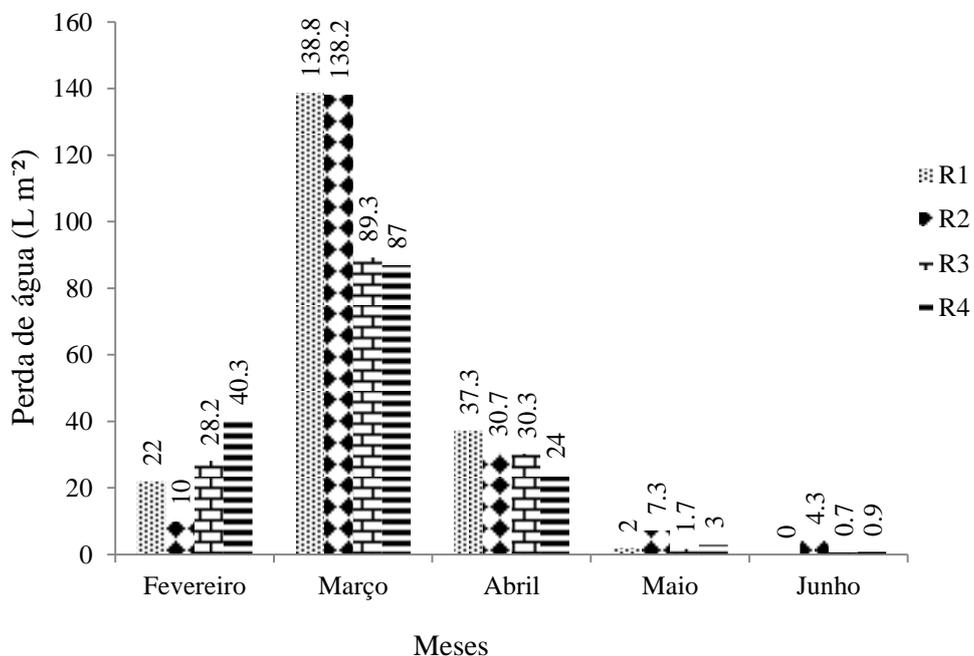
Similarmente ao observado para as perdas de solo, as maiores perdas de água ocorreram no mês de março, tanto para as áreas manejadas quanto para as áreas em pousio (Figuras 15 e 16). Entretanto, houve mudança na sequência de perda de água entre as áreas manejadas, com a seguinte ordem de escoamento: PMB2>SAF4>MF1> PMF3 (Figura 15). A ordem de perda de água nas áreas sob pousio foi: R1≥R2>R3>R4 (Figura 16).

Figura 15. Perdas de água nas áreas de cultivo MF1, PMB2, PMF3 e SAF4 nos meses de avaliação.



Fonte: Autor.

Figura 16. Perda de água nas áreas em pousio R1, R2, R3 e R4 ao longo dos meses estudados.



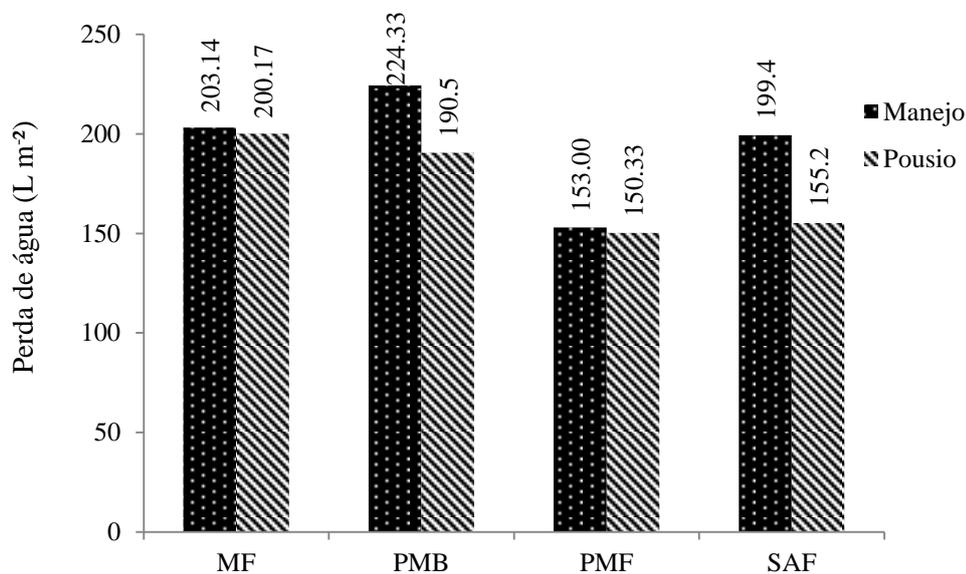
Fonte: Autor

Na Figura 17 constata-se que, similarmente ao ocorrido com a perda de solo, a maior perda de água ocorreu em PMB2 (224,33 L m⁻²), seguida pela perda em MF1 (203,14 L

m⁻²). Nas áreas de manejo PMF3 (palma em consórcio com milho e feijão + enleiramento de garrancho em nível) e SAF4 (sistema agroflorestal) ocorreram menores perdas de água (153 L m⁻² e 155 L m⁻², respectivamente).

Comparando as variações das perdas de água em valores percentuais entre as áreas de manejo e o pousio, foram observadas maiores variações percentuais para a área PMB2 e SAF4 que obtiveram perdas de água em 15,1% e 22,16% a mais em relação as suas áreas de pousio. Já as menores variações percentuais foram observadas para MF1 e PMF3 apresentando 1,5% e 1,74% a mais de perda de água em relação ao pousio.

Figura 17. Total de perda de água por escoamento superficial para as áreas de manejo e pousio.



Fonte: Autor.

Maiores perdas de solo e água na área PMB2 podem ser explicadas pelo manejo caracterizado pela insuficiente cobertura de solo proporcionada pela palma forrageira e pelo plantio morro abaixo associado à posição íngreme da área (34 a 38% de declividade). As linhas de plantio estabelecidas a favor do declive não contribuem na contenção do escoamento superficial, não havendo tempo suficiente para infiltração da água no solo, favorecendo ainda mais o escoamento superficial. Resultados semelhantes foram observados por Santos, Silva e Srinivasan (2011), avaliando perdas de água e solos por meio de parcelas experimentais no semiárido da Paraíba. Os autores verificaram maior volume escoado em área de palma morro

abaixo comparado com o cultivo da palma em nível que reduziu em torno de 94,6% as perdas de solo comparado com o cultivo morro abaixo.

Por outro lado, as práticas de manejo mais conservacionistas do solo, como PMF3 (palma consorciada com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível) e SAF4 (Sistema agroflorestal) contribuíram com as menores perdas de solo. Contudo, esse resultado está relacionado não só ao maior acúmulo de resíduos na camada superficial do solo nessas áreas, mas também à menor declividade. O acúmulo de resíduos na superfície do solo contribui com a redução nas perdas de solo e água, pois protege o solo contra o impacto das gotas de chuvas, uma vez que a água perde força quando em contato com resíduos orgânicos e com a vegetação, favorecendo sua infiltração. Por outro lado, a menor declividade também contribuiu com a redução de perdas de solo e água. Diversos estudos mostram o efeito da declividade e da cobertura nos processos de desprendimento e transporte de solo pela ação hídrica (AGUIAR *et al.*, 2006; PIRES *et al.*, 2006).

Os valores de perda de solo e água encontrados neste estudo para a área de 1 m² das parcelas de erosão foram maiores em relação ao encontrado por outros autores. Dunjó, Pardini e Gispert (2004), quantificando a perda de solo em parcelas de 1m² no semiárido mediterrâneo europeu verificaram perdas de água variando entre 0,84 a 47 L m⁻² e de solo entre 11,26 a 648,43 g m⁻², respectivamente, ao longo de um ano de observação. Já Santos (2011), avaliando a perda de solos em microparcelas de 1m² durante o período de três anos de observação, encontrou valores de perda de solo de 0,22 g m⁻² ano⁻¹ em área de Caatinga raleada no semiárido cearense.

Ao converter os valores de perda de solo para a área de um hectare, tem-se 24,2 t ha⁻¹ em MF1; 86,5 t ha⁻¹ em PMB2; 8,3 t ha⁻¹ em PMF3 e 3,6 t ha⁻¹ no SAF4. Esses valores são superiores ao encontrado na literatura para regiões semiáridas. Lobato *et al.* (2009), avaliando perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas na região de Iguatu – CE, constataram perdas de solo variando de 11,30 a 77,47 kg ha⁻¹ durante os meses de avaliação na estação chuvosa (janeiro a maio), e com perdas totais de solo variando entre 96,36 a 130,68 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Albuquerque *et al.* (2001), em oito anos de estudos em área de Caatinga em Sumé – PB, encontraram perdas médias de solo de 100 kg ha⁻¹ano⁻¹ e 170 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente para caatinga nativa e caatinga nova, em parcelas experimentais, e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em macroparcelas experimentais.

Outros resultados de perda de solo encontrados na literatura variam de 0,01 t ha⁻¹ ano⁻¹ (10 kg ha⁻¹ ano⁻¹) para ecossistemas naturais e sistema agroflorestal multiestratificado,

até 47 t ha⁻¹ ano⁻¹ para plantações de árvores sem cobertura morta e plantas invasoras (FRANCO *et al.*, 2002).

Considerando os possíveis efeitos do tipo de parcela utilizada superestimando as perdas de solo quantificadas neste estudo, convém mencionar que Chaplot e Le Bissonais (2000), ao utilizar parcelas de 1 a 10 m², constataram que a erosão e o transporte são limitados pelo impacto das gotas da chuva e a reduzida velocidade de fluxo. Adicionalmente, Stroosnijder (2005) afirma que medições da taxa de erosão em parcelas de pequena e média escala são ideais para calcular perda de solo, enquanto as escalas de maior tamanho podem ser utilizadas para avaliar produção de sedimentos.

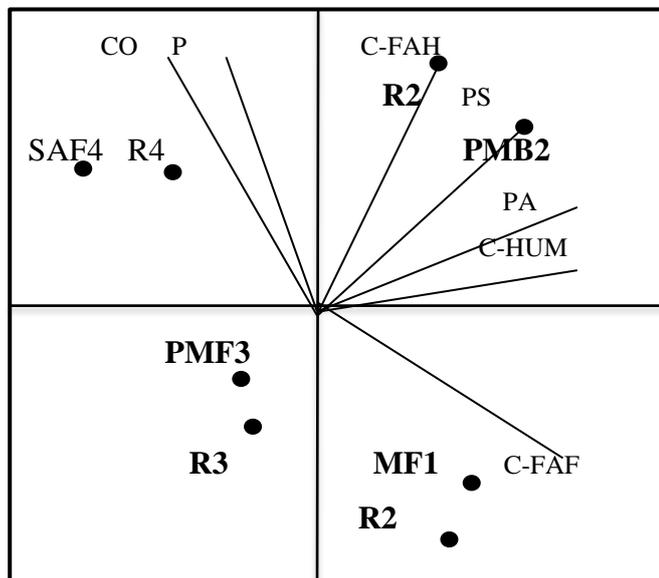
As áreas de manejo que apresentaram maiores perdas de solo estão dispostas na seguinte sequência: PMB2>MF1>PMF3>SAF4, R2>R1>R3>R4. A mesma sequência de perdas de solo nas áreas identificadas pelos números 1 e 2 indica boa similaridade entre as áreas manejadas com cultivos e suas áreas adjacentes em pousio no que se refere a outros fatores que influenciam a erosão.

As áreas de pousio (Figura 17) apresentaram menor perda de água em relação às áreas de cultivo. Esse resultado deve-se à maior proteção do solo proporcionada pela vegetação de regeneração quando comparada à proteção proporcionada pelas plantas de milho, feijão e da palma forrageira. Albuquerque *et al.* (2002) salientam que a diferença da perda de solo e água de uma área cultivada para uma área de regeneração de Caatinga é atribuída aos constantes revolvimentos e remoção da cobertura da superfície do solo durante os preparos iniciais de cultivo, favorecendo a desagregação e transporte das partículas do solo. Logo, o pousio contribuiu para reduzir a erosão quando comparado com os manejos com cultivos.

4.1.1 Análise multivariada

Os resultados da análise multivariada por ACP estão apresentados no gráfico biplot (Figura 18).

Figura 18. Biplot dos componentes principais: relação das áreas estudadas com a perda de solo, perda de água, teor de fósforo (P) no solo e frações húmicas da matéria orgânica (C-FAH, C-FAF e C-HUM) do solo.



PS – Perda de solo; PA – Perda de água; P – Fósforo; C-FAH – Carbono na fração ácidos húmicos; C-FAF – Carbono na fração ácidos fúlvicos; C-Humina – Carbono na fração humina e CO – Carbono orgânico.

Fonte: Autor.

No primeiro quadrante da Figura 18, no sentido horário, os atributos são C-FAH, perda de solo, perda de água e C-Humina. As áreas R2 (pousio) e PMB2 (palma morro abaixo) estão mais próximas a esses atributos, indicando que se caracterizam por apresentarem os maiores valores, principalmente de C-FAH e de perda de sedimento por escoamento superficial. Essa análise confirma que em R2 e PMB2 houve menor aporte de resíduos orgânicos capazes de aumentar os teores de C-FAF. Além disso, dentre os manejos avaliados, PMB2 (palma morro abaixo) apresentou maior perda de solo e água por erosão, em virtude de seu caráter não conservacionista.

Nestas condições, o plantio de palma forrageira morro abaixo pode levar à redução na fertilidade do solo por meio da perda de nutrientes e de matéria orgânica, bem como à perda da qualidade da água em cursos hídricos. A ausência de práticas conservacionistas e adoção de sistemas inadequados de manejo do solo, associados ao relevo inclinado e a longos comprimentos de rampa, pode refletir em empobrecimento do solo e contaminação dos locais de deposição da erosão (BERTOL *et al.*, 2004).

Os teores de C-FAF foram superiores nas áreas MF1 e R1, conforme apresentado no segundo quadrante (sentido horário) da Figura 18. O predomínio das frações menos estáveis em detrimento às frações mais estáveis reflete as taxas diferenciadas de aporte de resíduos orgânicos e de decomposição da matéria orgânica. Na área PMB2 o aporte de resíduos orgânicos deve ter sido inferior em função do menor potencial da palma forrageira em formar de serapilheira e da própria erosão ocorrida na área. Isso contribuiu com menores teores de C-FAF, que corresponde a uma fase mais inicial de transformação da MOS, e favoreceu o C-HUM que representa uma fração mais estabilizada da MOS. De outro modo, o aporte constante de materiais vegetais e a renovação do sistema radicular favorecem a formação de ácidos fúlvicos (LABRADOR MORENO, 1996).

O maior teor de argila (25,5%) encontrado em PMB2 (Tabela 3) é outro fator que pode ter contribuído para presença de C-HUM. Conforme salientam Gárcia *et al.* (2004), a textura do solo influencia a quantidade e distribuição da MOS. Logo, a fração argila do solo tem correlação com as frações mais recalcitrantes da MOS. É provável que essa fração esteja associada à fração mineral do solo (CANELAS *et al.*, 2000; BENITES *et al.*, 2003 e BARRETO *et al.*, 2008). O predomínio da fração humina em solos está relacionado com a maior estabilidade, o que favorece a agregação, além de ser a fração que mais armazena carbono (BENITES *et al.*, 2003).

Já o maior aporte de matéria orgânica fresca na área de mata em pousio R2, proporcionou maior acúmulo de C-FAH. Conforme salienta Leite *et al.* (2003), em ambientes sem perturbação do solo há maior polimerização de compostos húmicos, aumentando a proporção de ácido húmicos em relação aos ácidos fúlvicos. Por sua vez, Stevenson (1994) afirma que o aumento do estoque de ácidos húmicos ocorre em função dos processos de herança de compostos de matéria orgânica fresca, em ambientes sem intervenção humana.

No terceiro quadrante estão as áreas PMF3 e R3 que se caracterizam por baixos valores de C-FAH, C-Humina, menor perda de solo e água. No quarto quadrante estão os atributos CO e P associados às áreas SAF4 (sistema agroflorestal) e R4 (pousio). O maior aporte de CO em SAF4 era esperado, uma vez que os sistemas agroflorestais proporcionam maior aporte de resíduos orgânicos no solo em virtude da presença de espécies arbóreo/arbustivas, favorecendo maiores teores de CO (OELBERMANN *et al.*, 2004). Portanto, resultados dessa pesquisa corroboram com o trabalho de Lima *et al.* (2011) que observaram aumento nos teores de CO em SAF's realçando a eficiência do manejo agroflorestal na melhoria da qualidade do solo. Maia *et al.* (2006), em estudo avaliando SAF no semiárido brasileiro, também constataram maiores teores de CO e frações húmicas em

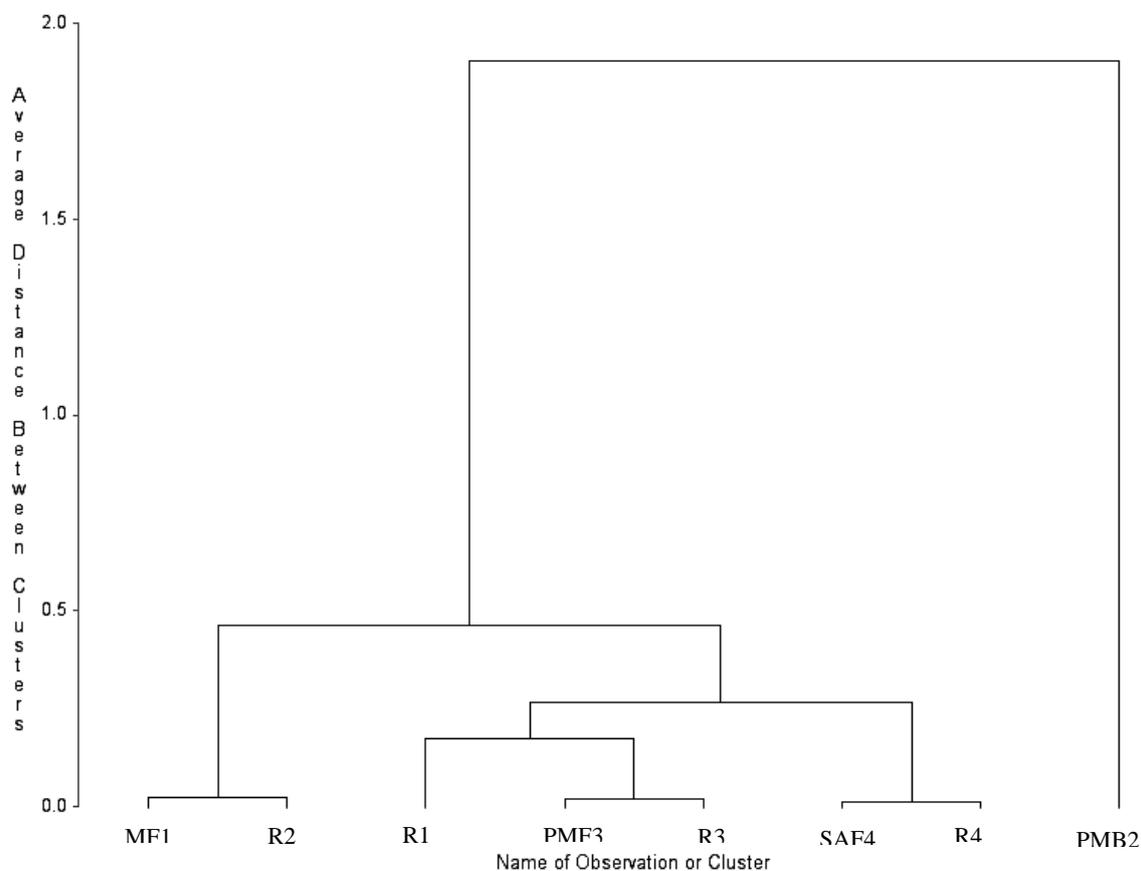
função da adição de resíduos vegetais e maior acúmulo de serapilheira proporcionados pelas espécies arbórea/arbustiva.

Os maiores teores de P no solo das áreas SAF4 e R4 também eram esperados em virtude do maior aporte de resíduos vegetais no solo aumentando a ciclagem do P, uma vez que esse elemento apresenta-se em baixas concentrações na região semiárida. Além disso, a menor perda de solo nessas áreas também deve ter favorecido maiores teores de P. Outra explicação para o acúmulo desse elemento na área SAF4 e R4 é a baixa mobilidade do P no solo. De acordo Falleiro *et al.* (2003), devido à baixa mobilidade do P no solo, a ausência de revolvimento e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo proporcionam aumento nos teores do elemento. Já os estudos de Lima *et al.* (2011) mostraram a capacidade das raízes de árvores no processo de ciclagem do fósforo, trazendo-o de camadas mais profundas para a superfície do solo.

Os menores teores de CO e P associados às áreas MF e PMF refletem os impactos das práticas de cultivo nos solos da região. Ainda que nessas áreas tenha sido feito o enleiramento do mato, as culturas do milho, feijão e da palma forrageira não favoreceram o aporte de carbono orgânico. Os menores teores de P resultam da exportação do nutriente pelas culturas, sem que tenha sido feita reposição por meio de insumos (minerais ou orgânicos). Isso mostra que há necessidade de outras práticas conservacionistas que contribuam com o aporte de matéria orgânica e de nutrientes nesses solos. Souza *et al.* (2014), avaliando a fertilidade de solos em área de sequeiro de agricultores familiares em municípios do sertão dos Inhamuns - CE, diagnosticaram valores de fósforo na faixa de classificação baixa em 50% das propriedades avaliadas, em áreas de manejo submetidas às práticas de queimada, capina com trator e enxada, destoca com enleiramento dos garranchos e área de pastagem e de capoeira.

Na Figura 19 é apresentado o dendograma no qual se constata que as áreas mais similares multivariadamente são SAF4 e R4, seguidas por PMF3 e R3. Esse resultado mostra a eficiência dos manejos adotados em PMF3 e SAF4, uma vez que estas áreas apresentaram similaridades quando comparadas com as suas respectivas áreas de pousio R3 e R4, conforme apresentado nas Figuras 14 e 18 nas quais foram verificadas menores perdas de solo e água nas áreas PMF e SAF. Por outro lado, observa-se que a área de manejo PMB2 apresenta-se na Figura 19 como sendo a área mais distante das demais, em virtude de sua característica não conservacionista, tendo em vista a maior perda de solo e água nessa área.

Figura 19. Dendrograma das inter-relações referentes às áreas de manejo MF1, R1, PMB2, R2, PMF3, R3, SAF4 e R4.



Fonte: Autor, utilizando o Software SAS.

Diante desses resultados, pode-se confirmar o efeito positivo do manejo conservacionista na proteção do solo tanto da área PMF3 (plântio da palma forrageira em consócio com milho, feijão e enleiramento de garrancho em nível), quanto da área SAF4 (sistema agroflorestal). O efeito protetor dessas áreas pode ser equiparado às áreas de vegetação em pousio, já que as mesmas proporcionaram maior cobertura sobre o solo, o que contribuiu para menores perdas de solo e água por erosão. Além disso, por se aproximarem mais dos sistemas naturais, a resiliência desses sistemas de manejo poderá permitir o restabelecimento da capacidade de suporte de nutrientes aos níveis aceitáveis semelhantes às áreas de regeneração natural. Entretanto, na área PMF3, há necessidade de atentar para a reposição de nutrientes exportados pela colheita dos grãos.

4.2 Atributos químicos do solo

4.2.1 Atributos de rotina

Conforme apresentado nas Tabelas 3 e 4, respostas significativas para o fator isolado “manejo” foram encontradas para atributos de rotina nas áreas de manejo e regeneração: MF1 e R1 (pH, Na, Mg, Fe Mn, Zn, SB, m%, H+Al), PMF3 e R3 (pH, K, Ca, Mg, SB, CTC, V%, m%) e SAF4 e R4 (Na, Al, Fe, Mn, m%). Respostas ao fator isolado “profundidade” foram observadas nas áreas MF1 e R1 (Zn, CTC), PMB2 e R2 (P), PMF3 e R3 (pH, Fe, Mn, Zn) e SAF4 e R4 (CO, P, Na, Al). Interações entre os fatores de estudo foram observadas nas áreas MF1 e R1 (Zn), PMB2 e R2 (Ca, Fe, Mn, Cu), PMF3 e R3 (pH) e SAF4 e R4 (Al, m%).

Tabela 4. Resumo da ANOVA para pH, carbono orgânico (CO), macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), sódio (Na) e alumínio (Al) no solo das áreas de estudo.

FV	Valor de F								
	pH	CO	N	P	K	Na	Ca	Mg	Al
Área MF									
Manejo	7,34*	0,01 ns	2,02 ns	0,6 ns	4,26 ns	34,4**	1,23 ns	8,83*	0,00 ns
Manejo x rep.	0,27 ns	0,62 ns	0,54 ns	1,23 ns	0,84 ns	0,26 ns	2,12 ns	0,8 ns	0,00 ns
Profundidade	1,58 ns	0,17 ns	1,61 ns	0,66 ns	0,28 ns	0,62 ns	1,15 ns	1,11 ns	0,00 ns
Prof.x Manejo	0,85 ns	0,17 ns	0,68 ns	0,07 ns	2,2 ns	0,02 ns	0,46 ns	0,03 ns	0,00 ns
CV % (a) ¹	1,28	87,9	83,8	8,12	4,28	0,12	13,9	5,23	0,00
CV % (b) ²	8,29	58,5	58,5	63,2	36,2	33,5	24,2	18,4	0,00
Área PMB									
Manejo	0,52 ns	0,89 ns	1,94 ns	0,03 ns	0,93 ns	0,02 ns	5,02 ns	0,33 ns	1,00 ns
Manejo x rep.	1,63 ns	0,81 ns	1,09 ns	1,94 ns	0,75 ns	6,33**	0,82 ns	0,9 ns	1,00 ns
Profundidade	0,15 ns	1,23 ns	0,12 ns	6,14*	5,00 ns	3,33 ns	1,75 ns	1,87 ns	1,00 ns
Prof.x Manejo	1,22 ns	5,16 ns	4,68 ns	0,27 ns	2,04 ns	3,33 ns	8,00*	0,27 ns	1,00 ns
CV % (a)	2,78	49,3	77,8	9,40	2,05	0,51	9,55	8,00	2,53
CV % (b)	5,41	30,7	31,8	45,2	32,9	13,1	34,8	19,8	16,2
Área PMF									
Manejo	11,19*	2,67 ns	0,52 ns	3,57 ns	14,2**	2,88 ns	15,1**	27,3**	0,55 ns
Manejo x rep.	1,75 ns	0,74 ns	0,9 ns	0,67 ns	4,09*	6,96**	0,46 ns	0,67 ns	1,00 ns
Profundidade	6,84*	0,53 ns	0,58 ns	0,91 ns	1,77 ns	0,36 ns	0,56 ns	1,09 ns	3,25 ns
Prof. xManejo	15,6**	0,04 ns	0,26 ns	3,95 ns	0,85 ns	0,09 ns	3,81 ns	0,88 ns	0,55 ns
CV % (a)	2,64	134,8	178,9	3,69	8,61	2,69	14,1	18,2	4,86
CV % (b)	5,01	51,9	54,25	48,6	24,1	25,8	46,6	32,7	23,0
Área SAF									

Manejo	0,67 ns	4,88 ns	1,61 ns	0,41 ns	1,51 ns	6,67*	3,76 ns	0,05 ns	12,37**
Manejo x rep.	2,87 ns	1,79 ns	0,9 ns	1,22 ns	1,88 ns	2,5 ns	1,63 ns	0,70 ns	1,00 ns
Profundidade	3,69 ns	5,65*	1,96 ns	7,69*	2,60 ns	6,00*	2,4 ns	0,39 ns	29,78**
Prof. X Manejo	1,66 ns	0,19 ns	0,05 ns	0,03 ns	0,65 ns	2,67 ns	0,0 ns	2,41 ns	12,37**
CV % (a)	3,54	59,5	102,2	4,65	26,8	0,18	9,15	16,2	4,38
CV % (b)	4,61	22,8	55,5	39,1	23,4	13,7	24,7	38,0	23,7

** , * e ns: significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

¹CV(a) a nível de parcelas; ²CV (b) a nível de sub-parcelas.

Tabela 5. Resumo da ANOVA para micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e acidez potencial (H+Al) no solo das áreas de estudo.

FV	Valor de F								
	Fe	Mn	Cu	Zn	SB	CTC	V%	m%	H+Al
Área MF									
Manejo	26,8**	11,2*	0,08 ns	19,7 **	9,36*	0,25 ns	3,56 ns	8,09*	8,79*
Manejo x rep.	1,16 ns	2,18 ns	0,9 ns	1,28 ns	1,01 ns	1,12 ns	0,99 ns	1,04 ns	0,31 ns
Prof.	4,83 ns	0,63 ns	1,35 ns	11,7**	1,83 ns	13,2**	3,49 ns	2,18 ns	0,06 ns
Prof. x Manejo	0,16 ns	1,47 ns	0,29 ns	17,9**	0,03 ns	1,54 ns	0,52 ns	0,25 ns	0,44 ns
CV% (a) ¹	16,2	14,2	32,5	25,5	8,71	28,9	139,9	43,8	4,11
CV% (b) ²	1,71	2,53	8,53	6,43	15,7	17,0	18,7	13,6	24,4
Área PMB									
Manejo	0,33 ns	4,19 ns	5,54*	0,34 ns	0,52 ns	25,65**	76,5**	5,78*	1,25 ns
Manejo x rep.	0,75 ns	0,98 ns	1,7 ns	0,56 ns	0,9 ns	1,65 ns	0,35 ns	0,24 ns	0,39 ns
Prof.	1,61 ns	0,78 ns	4,04 ns	1,44 ns	1,44 ns	1,08 ns	0,83 ns	2,29 ns	0,93 ns
Prof. x Manejo	5,34*	6,26*	7,83*	1,16 ns	3,14 ns	0,5 ns	3,12 ns	4,66 ns	2,77 ns
CV% (a)	46,5	12,6	10,4	34,9	13,7	18,5	49,5	25,9	3,54
CV% (b)	25,6	3,01	34,7	60,5	20,8	11,8	17,6	22,2	17,6
Área PMF									
Manejo	0,73 ns	1,43 ns	0,6 ns	0,01 ns	31,8**	6,94*	34,4**	9,23*	0,04 ns
Manejo x rep.	1,73 ns	0,74 ns	0,96 ns	0,28 ns	0,54 ns	0,76 ns	0,59 ns	0,73 ns	0,83 ns
Prof.	6,03*	95,1**	3,21 ns	15,45**	1,01 ns	0,2 ns	2,73 ns	0,09 ns	0,06 ns
Prof. x Manejo	0,39 ns	0,09 ns	0,01 ns	0,00 ns	2,13 ns	1,7 ns	0,96 ns	0,79 ns	0,59 ns
CV% (a)	77,4	57,0	18,3	20,4	26,2	50,7	71,8	163,7	18,8
CV% (b)	30,7	35,5	73,0	69,0	32,2	26,5	16,3	34,3	29,8
Área SAF									
Manejo	11,4**	8,53*	4,17 ns	0,2 ns	0,16 ns	0,24 ns	0,01 ns	6,38*	0,22 ns
Manejo x rep.	0,90 ns	0,61 ns	0,51 ns	1,01 ns	1,17 ns	2,52 ns	0,38 ns	0,78 ns	1,12 ns
Prof.	7,00*	0,93 ns	1,02 ns	0,09 ns	0,68 ns	0,00 ns	1,20 ns	12,9**	0,48 ns
Prof. X Manejo	1,5 ns	0,00 ns	0,62 ns	2,71 ns	1,85 ns	2,98 ns	0,26 ns	12,1**	0,63ns
CV% (a)	12,5	49,1	2,62	3,42	22,6	27,2	68,4	122,3	7,50
CV% (b)	3,87	4,21	18,3	14,7	26,1	11,0	24,0	27,2	14,7

**, * e ns: significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

¹CV(a) a nível de parcelas; ²CV (b) a nível de sub-parcelas. MF1 - plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível; PMB2 - plantio de palma forrageira morro abaixo; PMF3 - plantio de palma forrageira em consórcio com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível e SAF4 - sistema agroflorestal. .

As médias dos atributos químicos que diferiram em resposta ao manejo e à profundidade são apresentadas nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 6. Médias dos atributos químicos de rotina que diferiram em resposta ao manejo e profundidade nas áreas de estudo.

	pH (H ₂ O)	CO(g kg ⁻¹)....	N	P (g dm ⁻³)	K	Nacmol _c dm ⁻³	Ca	Mg	Al
Manejo		Área MF							
MF1	6,6a	6,5a	5,0a	0,18a	0,33a	0,03b	1,0a	1,7b	1,0a
R1	6,3b	7,0a	6,1a	0,14a	0,45a	0,05a	1,2a	2,1a	1,0a
Profundidade		Área PMB							
0-5	5,9 ^a	9,5a	6,0a	0,3a	0,29a	0,04a	0,9a	2,1a	1,0a
5-10	5,8 ^a	8,9a	7,1a	0,2b	0,21a	0,05a	1,1a	2,4a	0,9a
Manejo		Área PMF							
PMF3	5,7b	7,7a	6,2a	0,19a	0,21b	0,04a	1,0b	1,7b	0,8a
R3	6,3 ^a	7,9a	7,3a	0,27a	0,51a	0,07a	1,8a	3,3a	0,9a
Profundidade		Área SAF							
0-5	6,1 ^a	6,2a	7,4a	0,25a	0,3a	0,05a	1,5a	2,7a	1,0a
5-10	5,8b	7,4a	6,1a	0,2a	0,3a	0,06a	1,2a	2,3a	0,8a
Manejo		Área SAF							
SAF4	5,7 ^a	4,1a	4,8a	0,23a	0,28a	0,04a	0,7a	1,6a	0,6b
R4	5,8 ^a	5,4a	4,4a	0,26a	0,23a	0,03b	1,0a	1,5a	0,9a
Profundidade		Área SAF							
0-5	5,9 ^a	5,7a	4,1a	0,31a	0,23a	0,03b	0,9a	1,6a	1,0a
5-10	5,6 ^a	4,9b	5,9a	0,18b	0,28a	0,04a	0,8a	1,5a	0,5b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 1 e a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. MF1 - plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível; PMB2 - plantio de palma forrageira morro abaixo; PMF3 - plantio de palma forrageira em consórcio com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível e SAF4 - sistema agroflorestal.

Em MF1 (cultivo do milho e feijão com enleiramento do mato em nível) foi observado maior valor de pH em comparação a R1 (pousio). Esse resultado pode ser atribuído à queimada realizada antes da implantação das culturas em MF1, pois durante a oxidação de compostos orgânicos na combustão, ocorrem maiores perdas de ânions do que cátions, com

isso, as cinzas provenientes da queima de resíduos vegetais, ricas em cátions (cálcio, magnésio e potássio) promovem o aumento instantâneo do pH do solo (HELYAR, 2003).

Resposta semelhante foi obtida por Rheinheimer *et al.* (2003) que, analisando as modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima, observaram elevação do pH na camada de superfície do solo, verificando que a estabilidade dos valores de pH após a queima se manteve ao longo do ano. Apesar disso, a fertilidade nesta área pode entrar em declínio em virtude das cinzas e dos nutrientes serem facilmente carregados com a erosão (MENDONZA *et al.*, 2000).

Na área PMF3 e R3, houve efeito da interação manejo x profundidade (Tabela 8 e 10) influenciando no aumento do pH, com maiores médias para área em pousio R3 e com aumento em profundidade na camada de 0,05 – 0,10 m do solo. O maior acúmulo de nutrientes em R3, principalmente bases trocáveis, contribui com o aumento do pH, indicando que o pousio contribui com a recuperação de atributos químicos do solo. Santana e Souto (2011), estudando o aporte de nutrientes provenientes de serapilheira na Caatinga, confirma que as cascas e galhos são as frações vegetais que mais contribuem para o aporte de cálcio em área de pousio.

Outro fator que pode ser considerado é o aspecto físico da vegetação em R3, por ser uma área de vegetação mais aberta, há maior entrada de luz solar no sistema, o que influencia maior decomposição da matéria orgânica e consequente liberação de nutrientes, o que favorece o aumento do pH do solo. Já o menor valor de pH encontrado na área de manejo PMF3 (palma forrageira em consórcio com milho e feijão + enleiramento de garrancho em nível) refletiu no maior valor de m% verificado nesse manejo. O cultivo com espécies alimentares deve ter contribuído para esse resultado a partir da remoção de bases e com a redução do pH do solo.

Entretanto, nem todas as áreas de regeneração contribuíram com o aumento do pH do solo. Menores valores de pH verificados em R1 (pousio) (Tabela 8) são explicados pelo maior aporte de C proporcionado pela vegetação de regeneração e pelos ácidos orgânicos. Segundo Ebeling *et al.* (2008), quanto maior o teor de MOS, maior tenderá ser a acidez do solo devido a liberação de H^+ durante o processo de decomposição. Andrade *et al.* (2012), avaliando atributos químicos do solo em mata nativa, concluíram que menores valores de pH estão associados aos maiores teores de matéria orgânica do solo encontrados na mata nativa, dado o caráter ácido da matéria orgânica mantido pelo aporte constante de resíduos vegetais caídos na superfície do solo, formando a serapilheira. Diferentemente da área R3 (pousio), a área R1 (pousio) se caracteriza por apresentar o sistema de mata fechado com vegetação mais

desenvolvida, permitindo pouca entrada de luz solar no solo desse sistema, o que contribui para lenta decomposição da matéria orgânica.

Com relação aos teores de sódio (Na) e magnésio (Mg) (Tabela 8) foram observadas diferenças entre MF1 (milho e feijão + enleiramento) e R1 (pousio), com maiores valores em R1. Supõe-se que os menores teores de Na em MF1 estão associados às maiores perdas de solo e água dessa área em comparação com R1. Lobato *et al.*, (2009) verificaram perdas de Na por erosão em estudo avaliando a perda de solo e de nutrientes em diferentes coberturas vegetais em região do semiárido brasileiro. Adicionalmente, o período chuvoso pode assegurar a lavagem dos sais (BENHUR, 2001; ANDRADE *et al.*, 2004).

Para as áreas SAF4 e R4 ocorreram diferenças significativas entre manejo e profundidade para o teor de sódio. Foram observados maiores valores de Na em SAF4, com aumento em profundidade do solo na camada de 0,05 – 0,10 m. Mesmo verificando diferenças significativas entre MF1 e R1, e SAF4 e R4 pelo efeito do sódio, essa diferença não é representativa a ponto de se considerar o solo salino ou sódico nessa área, sendo confirmado na análise de caracterização química (Tabela 3), indicando baixo teor desse elemento nestas áreas.

Houve efeitos significativos em profundidade para o P para as áreas PMB2 e R2, sendo que maiores médias foram verificadas na camada superficial de 0 – 0,05 m, decrescendo em profundidade do solo. A ocorrência desse resultado pode ser atribuída à ausência de revolvimento do solo tanto na área de mata em pousio R2 quanto na área PMB2 de palma morro abaixo onde não há mobilização do solo há mais de três anos. Essa ocorrência também está associada à baixa mobilidade do fósforo, promovendo maior disponibilidade desse nutriente em superfície (FALLEIRO *et al.*, 2003).

O maior aporte de resíduos orgânicos na camada superficial da área SAF4 influenciou na maior concentração do P, ocorrendo maiores valores na camada superficial de 0-0,05 m. Portanto, as práticas conservacionistas representadas pelo sistema agroflorestal e pousio influenciaram a maior ciclagem desse nutriente. Peneireiro (1999), comparando sistemas agroflorestais com convencionais, verificou que os sistemas agroflorestais tendem a favorecer a ciclagem do fósforo no solo resultante da diversidade de materiais que são depositados em superfície, como também o efeito das raízes das árvores nesse sistema que pode promover o transporte do fósforo das camadas mais profundas para as camadas superficiais do solo. Nas áreas de mata, possivelmente parte do P ciclado esteja na forma orgânica, não possibilitando sua fixação pelo substrato mineral do solo (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Foram observadas diferenças significativas para o K^+ entre o manejo PMF3 e R3, apresentando maiores níveis em R3. Esse resultado pode ser atribuído à menor exportação do nutriente, bem como ao maior acúmulo de resíduos orgânicos que atuam como fonte de K^+ em R3. Jakelaitis *et al.* (2008), avaliando a qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas, observou maiores níveis de K^+ em ambiente de mata, seguido das áreas cultivadas recentemente com culturas.

Com relação aos teores de carbono orgânico das áreas SAF4 e R2, foram detectados efeitos significativos em profundidade, sendo que a camada superficial de 0–0,05 m apresentou teor de COT superior à camada subsuperficial de 0,05–0,10 m devido à grande quantidade de material orgânico depositado na superfície do solo. O aporte de resíduos orgânicos provenientes, principalmente, da serapilheira é responsável pelo acúmulo de carbono na camada superficial do solo na medida em que há humificação (MAFRA *et al.*, 2008). Martins *et al.* (2010), avaliando a variabilidade dos atributos químicos em região semiárida, salientam que as plantas herbáceas com ciclo curto têm grande contribuição no aumento do teor de C no solo nessas regiões. Desse modo, o maior aporte de resíduos orgânicos na camada superficial influenciou na maior concentração do P, em que se observam efeitos significativos para o fósforo na camada superficial de 0-0,05 m.

Nas áreas MF1 (milho e feijão + enleiramento) e R1 (pousio), o manejo influenciou os atributos soma de bases (SB) (Tabela 9) e teor de magnésio (Mg) (Tabela 8), com maiores médias em R1. Comportamento similar foi observado na área R3. Esse resultado é atribuído à baixa exportação de nutrientes, ao não revolvimento do solo e à ciclagem dos nutrientes pela vegetação de regeneração que promove maior aporte de biomassa, uma vez que as plantas retiram os nutrientes das camadas mais profundas e depositam na forma orgânica na superfície solo. Resultados obtidos por Falleiro *et al.* (2003), mostraram efeitos do não revolvimento do solo e da reciclagem de nutrientes pelas plantas no aumento dos teores das bases Ca e Mg.

A redução do teor de bases trocáveis em MF1 deve-se aos constantes revolvimentos do solo para o cultivo de milho, feijão e mandioca durante anos consecutivos. Outras causas estão associadas à extração e exportação de nutrientes pelas culturas sem reposição ao solo, assim como à própria dinâmica do manejo envolvendo capina, colheita e a retirada dos restos de cultura para alimentar os animais, deixando o solo descoberto. Outro ponto importante a se considerar é a perda de nutrientes pelo efeito da erosão na área. Iwata *et al.* (2012) constataram perdas de bases Ca e Mg pelo efeito erosivo das chuvas, fato bastante evidenciado pela literatura.

Para a área MF1 e R1 foram verificados efeitos significativos na concentração de Fe, Mn e Zn (Tabela 9), sendo que para os elementos Fe e Mn ocorreram efeitos significativos do manejo e efeitos da interação profundidade x manejo para o Zn. É provável que os micronutrientes encontrados nessas áreas de manejo sejam exclusivamente do material de origem do solo, uma vez que não há entrada de fertilizantes nas áreas. Os elementos Fe e Mn foram encontrados em maiores quantidades na área de pousio R1, indicando que o pousio está influenciando na conservação desses elementos. Em contrapartida, na área MF1 (milho e feijão + enleiramento de garrancho em nível) há diminuição dos teores de Fe e Mn, mostrando que essa tendência está relacionada com a retirada desses nutrientes pelas plantas, ou seja, está havendo exportação de Fe e Mn do solo pelas as plantas. Outra possível explicação é que os baixos valores encontrados na área de manejo MF1 possam ser influenciados pelas perdas de solo por erosão hídrica nessa área.

Tabela 7. Médias de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e acidez potencial (H+Al) no solo, que diferiram em função do manejo e da profundidade.

	Fe	Mn	Cu	Zn	SB	CTC	H+Al	V	m
	----- mg kg ⁻¹ -----				-----cmol _c dm ⁻³ -----		----- %-----		
Manejo									
MF1	35,7b	73,2b	0,024a	8,2a	3,1b	8,7a	2,4a	36,9a	25,0a
R1	55,7a	130,1a	0,073a	1,3b	3,8a	9,1a	2,0b	43,2a	21,0b
Prof.									
0-5	41,7a	106,3a	0,16a	2,4b	3,6a	10,1a	2,2a	36,9a	21,9a
5-10	49,6a	97,1a	0,06a	7,2a	3,3a	7,7b	2,2a	43,2a	24,0a
Manejo									
PMB2	92,3a	161,2a	0,15b	1,9a	3,3a	6,6b	2,8a	55,2a	20,5b
R2	97,7a	122,3a	0,06a	1,4a	3,7a	9,3a	2,9a	36,5b	23,1a
Manejo									
PMF3	43,5a	66a	0,3a	1,5a	3,0b	8,1b	2,5a	37,7b	22,7a
R3	50,8a	56a	0,3a	1,5a	5,7a	10,7a	2,5 ^a	52,6a	15,1b
Prof.									
0-5	39,2b	13,7b	0,45a	0,5b	4,6a	9,7a	2,5a	47,9a	18,5a
5-10	55,2a	108,3a	0,24a	2,4a	4,0a	9,2a	2,5a	42,4a	19,4a
Manejo									
SAF4	118,7a	31,7b	0,06a	1,3a	2,7a	8,7a	3,0a	31,2a	18,3b
R4	66,9b	50,2a	0,24a	1,7a	2,8a	9,1a	3,1a	31,4a	24,0a
Prof.									
0-5	71,6b	44,9a	0,09a	1,7a	2,9a	8,9a	2,9a	33,2a	25,8a
5-10	114,1a	37a	0,2a	1,4a	2,6a	8,9a	3,1a	29,5a	16,5b

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si a 1 e a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. MF1 - plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível; PMB2 - plantio de palma forrageira morro abaixo; PMF3 - plantio de palma forrageira em consórcio com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível e SAF4 - sistema agroflorestal.

O efeito significativo da interação profundidade x manejo no elemento Zn (Tabela 8), indica diferenças dentro do manejo MF1, apresentando maiores médias na camada superficial de 0-0,05 m e efeitos entre os manejos MF1 e R1, com diferenças significativas na camada de 0,05-0,10 m com maiores médias para a área pousio R1. De modo geral, como discutido anteriormente, o manejo de mata em pousio proporciona maior conservação desses elementos, uma vez que não há intervenção na área.

Tabela 8. Interação profundidade x manejo para os atributos químicos Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), pH, Cálcio (Ca), Alumínio (Al) e Saturação por alumínio (m%) das respectivas áreas estudadas MF1 - plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível; PMB2 - plantio de palma forrageira morro abaixo; PMF3 - plantio de palma forrageira em consórcio com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível e SAF4 - sistema agroflorestal.

Atributo/Profundidade	Manejo	
	Área MF	
Zinco (mg kg ⁻¹)	MF1	R1
0-5	3,23Aa ¹	4,03Aa
5-10	2,94Bb	3,66Aa
	Área PMB	
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	PMB2	R2
0-5	2,03Ba	2,25Aa
5-10	2,41Ab	2,42Aa
Ferro (mg kg ⁻¹)		
0-5	0,18Aa	0,24Aa
5-10	0,12Ab	0,10Ba
Manganês (mg kg ⁻¹)		
0-5	145,7Aa	154,78Aa
5-10	176,7Aa	90,0Ba
Cobre (mg kg ⁻¹)		
0-5	1,63Ab	2,32Aa
5-10	1,57Aa	1,27Ba
	Área PMF	
pH (H ₂ O)	PMF3	R3
0-5	1,41Aa	1,61Aa

5-10	0,62Ba	1,96Ab
	Área SAF	
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	SAF4	R4
0-5	0,25Ba	0,22Aa
5-10	0,31Aa	0,24Ab
m (%)		
0-5	2,86Ba	3,12Aa
5-10	3,16Aa	3,1Ab

(1) Letras maiúsculas nas colunas comparam diferenças entre manejos, letras minúsculas nas linhas comparam diferenças entre profundidades, a 1 e 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Efeitos significativos foram observados para o Ca na interação profundidade x manejo nas áreas PMB2 e R2, apresentando maiores médias de Ca para o pousio R2 dentro da profundidade de 0-0,05 m (Tabela 8). Houve diferenças significativas em profundidade dentro do manejo PMB2 com maior teor de cálcio na camada de 0,05 – 0,10 m, já em R2 não ocorreram diferenças desse elemento em profundidade. Possivelmente o incremento nos teores de cálcio em profundidade em PMB2 está relacionado com a remoção dos nutrientes da camada superficial do solo pelo efeito da erosão hídrica que é comum nesta área. Pavinato *et al.* (2009), comentam que os distúrbios causados pela erosão hídrica podem remover camadas superficiais do solo expondo a camada mais subsuperficial, mais rica em Ca e Mg. Este fato foi observado no estudo de Galindo *et al.* (2008) que constataram a remoção total do horizonte A dos perfis de algumas áreas degradadas no semiárido de Pernambuco.

Os teores de cálcio nas áreas influenciaram as diferenças significativas nos valores de CTC em R2 devido ao maior aporte de nutrientes liberados pela decomposição da matéria orgânica. Pavinato *et al.* (2009) observaram que o aumento dos teores de bases no solo, geralmente, é consequência da disponibilização desses nutrientes a partir dos resíduos em decomposição. O índice V% mais baixo em R2 indica que há pouca quantidade de cátions saturando as cargas negativas dos colóides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H⁺ e Al³⁺, o que favoreceu maiores valores de m% pra essa área.

Foram observados efeitos significativos da interação profundidade x manejo para os micronutrientes Fe, Mn e Cu na área PMB, sendo que esses elementos apresentaram a mesma tendência, com diferenças em profundidade dentro de R2, com maiores valores para a camada superficial de 0-0,05 m, com decréscimo desses elementos em profundidade. Para o elemento Fe houve diferenças em profundidade em PMB2 com maiores teores na camada

superficial do solo e diferenças significativas entre os manejos e profundidade, apresentando maiores médias para PMB2 na camada de 0,05-0,10 m.

Para os teores de Mn foram verificadas apenas diferenças significativas em R2 com decréscimo dos teores desse elemento em profundidade. Maiores teores de Cu foram verificados em profundidade em PMB2, ocorrendo acréscimo no teor desse elemento com o aumento da profundidade. Já as diferenças entre os manejos ocorreram na camada superficial de 0-0,05 m, com maiores médias para R2.

Os elementos Fe, Mn e Zn apresentaram mesma tendência em PMF3 e R3, sendo observados efeitos em profundidade com maiores valores na subsuperfície de 0,05-0,10 m. Para a área SAF foram observados efeitos do manejo e profundidade para o Fe, indicando maiores médias em SAF4 na profundidade de 0,05-0,10 m. Já para o Mn foram observados efeitos apenas em resposta ao manejo com maiores teores em R4.

Os menores valores de pH e a textura arenosa associados às áreas SAF4 e R4 correlacionam-se com os maiores teores de Al e saturação por alumínio (m%). Observa-se maiores médias de Al^{3+} em SAF4 e na camada de 0,05 – 0,10 m. O efeito da interação profundidade x manejo na saturação por alumínio foi verificado sendo observadas maiores médias em R4 para a camada superficial do solo (0 – 0,05 m) e em SAF na camada mais profunda (0,05 – 0,10 m) do solo.

4.2.2 Fracionamento químico das substâncias húmicas

Conforme apresentado na Tabela 11, o manejo influenciou C-FAF, C-Hum, N-Hum e N-FAF nas áreas MF e PMB; nas áreas PMF e SAF foi observada interação entre manejo e profundidade influenciando o atributo N-FAF. Influência da profundidade foi observada na área MF para a fração C-Hum.

Tabela 9. Resumo da ANOVA para carbono e nitrogênio nas substâncias húmicas (FAH, FAF e Humina) no solo.

FV	Valor de F					
	C-FAH	C-FAF	C-Humina	N-FAH	N-FAF	N-Humina
Área MF						
Manejo	2,97 ns	17,11**	18,32**	19,26**	0,04 ns	22,27**
Manejo x rep.	3,48*	0,50 ns	2,19 ns	0,22 ns	0,78 ns	1,90 ns
Prof.	0,08 ns	1,07 ns	5,81*	3,28 ns	0,59 ns	1,69 ns
Prof. X Manejo	0,46 ns	0,06 ns	0,13 ns	0,02 ns	0,59 ns	1,69 ns
CV (a) ¹	164,5	6,76	35,6	8,94	9,55	30,8
CV (b) ²	47,4	30,1	19,0	62,9	32,1	19,2
Área PMB						
Manejo	0,0 ns	11,09*	2,39 ns	1,06 ns	8,05*	5,83*
Manejo x rep.	1,89 ns	1,21 ns	0,86 ns	0,46 ns	1,25 ns	1,67 ns
Prof.	2,66 ns	0,77 ns	1,3 ns	3,74 ns	2,59 ns	0,0 ns
Prof. X Manejo	0,20 ns	2,60 ns	2,94 ns	0,03 ns	2,00 ns	2,43 ns
CV (a)	112,5	7,41	32,6	6,17	16,1	62,7
CV (b)	88,3	20,1	26,2	30,4	28,2	26,7
Área PMF						
Manejo	1,19 ns	0,09 ns	2,76 ns	0,67 ns	0,15 ns	5,11 ns
Manejo x rep.	0,67 ns	0,46 ns	3,78*	0,62 ns	0,97 ns	3,31 ns
Prof.	0,12 ns	3,2 ns	0,49 ns	1,19 ns	0,15 ns	0,05 ns
Prof. X Manejo	1,37 ns	1,94 ns	0,6 ns	1,08 ns	9,23*	0,84 ns
CV (a)	17,8	20,9	31,1	16,6	19,7	26,8
CV (b)	46,2	68,1	4,38	38,0	31,6	5,9
Área SAF						
Manejo	15,33**	0,78 ns	0,74 ns	0,00 ns	0,10 ns	2,88 ns
Manejo x rep.	1,05 ns	1,00 ns	1,51 ns	4,15*	1,04 ns	0,65 ns
Prof.	10,49*	0,40 ns	1,20 ns	2,91 ns	0,06 ns	4,65 ns
Prof. X Manejo	5,07 ns	10,0*	0,15 ns	5,67*	3,58 ns	3,12 ns
CV (a)	13,1	5,20	100,9	28,2	21,8	26,4
CV (b)	29,9	29,7	48,3	19,7	38,8	50,6

** , * e ns: significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

¹CV(a) a nível de parcelas; ²CV (b) a nível de subparcelas. MF1 - plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível; PMB2 - plantio de palma forrageira morro abaixo; PMF3 - plantio de palma forrageira em consórcio com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível e SAF4 - sistema agroflorestral.

Em R1 (pousio) foram observados maiores valores de C-Humina, N-FAH e N-Humina do que em MF1 que, por sua vez, apresentou maior valor de C-FAF. Em relação à profundidade, na área R1 (pousio) foi observado maior valor de C-Humina na camada superficial do solo. Na área PMB2 foram encontrados maiores valores de C-FAF e N-

Humina, enquanto que R2 apresentou maior N-FAF. Na área SAF4 foram encontrados maiores valores de C-FAH (Tabela 12).

Tabela 10. Médias de carbono e nitrogênio nas substâncias húmicas (FAH, FAF e Humina) que diferiram em função do manejo e profundidade no solo.

	C-FAH	C-FAF	C-Humina	COT	N-FAH	N-FAF	N-Humina
-----g kg ⁻¹ -----							
Manejo				Área MF			
MF1	1,4a	1,8a	3,3b	6,5a	0,7b	1,2a	3,1b
R1	1,8a	1,2b	4,0a	7,0a	1,3a	1,2a	3,6a
Profundidade							
0-5	2,0a	1,6a	4,9a	8,7a	0,8a	1,1a	4,1a
5-10	2,1a	1,4a	4,0b	7,5a	1,3a	1,2a	4,6a
Manejo				Área PMB			
PMB2	5,6a	1,77 ^a	3,9a	11,2a	1,4a	1,3b	6,2a
R2	5,7a	1,27b	3,0a	9,9a	1,5a	1,9a	4,2b
Manejo				Área SAF			
SAF4	1,02b	0,63a	2,5a	4,1a	1,7a	1,3a	1,8a
R4	1,76a	0,56a	3,1a	5,4a	1,7a	1,4a	1,3a
Profundidade							
0-5	1,69a	0,57a	3,4a	5,7a	1,6a	1,4a	1,1a
5-10	1,09b	0,62a	3,2a	4,9b	1,8a	1,3a	1,9a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si a 1 e a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. MF1 - plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível; PMB2 - plantio de palma forrageira morro abaixo; PMF3 - plantio de palma forrageira em consórcio com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível e SAF4 - sistema agroflorestal.

Os constantes cultivos, revolvimento no preparo do solo e a textura arenosa característicos da área MF1 (MF1 = 78,7 a 76,7% de areia; R1 = 59,9 a 60,8% de areia) influenciaram maiores teores de C-FAF, sendo essa fração representante do tipo de resíduo orgânico aportado em MF1 provenientes de restos de cultura como milho, feijão, fava e mandioca. O menor teor de C-Humina em MF1 é explicado pelo manejo, com maior revolvimento em MF1.

Estudos realizados por Cunha *et al.* (2001) mostram o efeito do impacto do revolvimento do solo no aumento de ácidos fúlvicos. Já Seddaiu *et al.* (2013), avaliando substâncias húmicas em solos do semiárido mediterrâneo, concluíram que em solos com maior perturbação devido aos cultivos e revolvimentos intensivos, ocorreu diminuição na formação de substâncias húmicas mais estabilizadas.

Como o C-Humina representa um C mais estabilizado que contribui mais com a estrutura do solo, os resultados obtidos pelos autores citados coincidem com os resultados encontrados no presente estudo, ressaltando desse modo a baixa qualidade do solo na área MF1 em comparação à área de mata R1.

Na área R1 foi notório o efeito do manejo na formação de C-Humina, N-Humina e N-FAH, sendo que houve efeitos de profundidade para o C-Humina cujas maiores médias ocorreram na superfície do solo. Os maiores teores de frações húmicas mais estabilizadas na área de mata estão relacionados ao maior aporte de resíduos orgânicos, bem como à ausência de perturbação do solo e também pela maior cobertura do solo proporcionada pela vegetação. Esses resultados corroboram com os de Jakelaitis *et al.* (2008).

Foram constatados efeitos significativos do manejo nos teores de C-FAF na área de palma morro abaixo PMB2 apresentando maiores médias em relação à área de mata R2. Em PMB2 esperava-se menos C-FAF tendo em vista a maior perda de solo nessa área. Como ressalta Cunha *et al.* (2001), provavelmente o maior teor de C-FAF se deve à redução na formação de substâncias mais estabilizadas devido a presença de perturbação na área.

Fatores como a posição íngreme da área e a prática de plantio morro abaixo intensificam a perda de matéria orgânica e nutrientes por escoamento superficial. Schaefer *et al.* (2002) verificaram que a perda de matéria orgânica na enxurrada ocorre, preferencialmente, em formas mais solúveis (ácidos fúlvicos). Salientam Cerri *et al.* (2008) que na transformação da mata nativa em sistemas agrícolas, o equilíbrio é quebrado e, geralmente, as entradas de C são menores do que as saídas, o que leva à diminuição da qualidade da MOS, podendo ocorrer em maior intensidade em áreas de relevo ondulado, nas quais os processos erosivos são mais acentuados.

Foi observado efeito de PMB2 (palma morro abaixo) nos teores de N-Humina, destacando que esse manejo resultou em maior fixação de N na forma estabilizada. Este resultado pode estar relacionado com o maior teor de argila encontrado nessa área, evidenciando a relação entre as frações orgânica e mineral. De acordo com Zech *et al.* (1997), solos com maiores teores de argila promovem a interação entre os minerais presentes na fração argila e a matéria orgânica, contribuindo para maior estabilidade do carbono orgânico e provavelmente do N associado a esse material orgânico. Entretanto, o N associado às frações menos estáveis da MOS deve ter se perdido pela erosão.

Diferenças significativas foram observadas para N-FAF cujo maior valor ocorreu em R2 devido às menores perdas de solo, maior aporte de matéria seca e ciclagem de raízes na cobertura do solo. Esses resultados corroboram com resultados obtidos por Souza e Melo

(2000). Já os efeitos da interação profundidade x manejo para N-FAF foram observados nas áreas PMF3 e R3 (Tabela 11), ocorrendo maiores valores para PMF3 e o seu aumento em profundidade. Esse resultado pode estar associado à presença do feijão no sistema consorciado que, por ser uma leguminosa, pode contribuir com o aporte de N no solo.

Tabela 11. Efeito da interação profundidade x manejo nos teores de nitrogênio da fração ácidos fúlvicos (N-FAF) para a área PMF3 e R3.

N-FAF (g kg ⁻¹)	Manejo	
	PMF3	R3
0-5	3.22Ba ¹	1.26Aa
5-10	3,92Aa	0.84Ab

(1) Letras maiúsculas nas colunas comparam diferenças entre manejos, letras minúsculas nas linhas comparam diferenças entre profundidades, a 1 e 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. PMF3 - plantio de palma forrageira em consórcio com milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível.

Foram constatados efeitos positivos da interação profundidade x manejo para o C-FAF (Tabela 12) no qual observaram-se diferenças em SAF4 e R4, predominando maiores médias no em R4, não ocorrendo diferenças entre as profundidades nessa área. Já em SAF4 houve diferenças significativas entre as profundidades, com maiores médias de C-FAF na camada de subsuperfície de 0,05-0,10 m.

Foram observados maiores valores de C-FAH em R4, onde também foram constatados efeitos em profundidade com maiores médias na superfície. Esse resultado era esperado nessa área devido à elevada deposição superficial de matéria orgânica em área de mata e à própria redução dos teores de MOS em profundidade. Zech *et al.*(1997) afirmam que o predomínio da fração AH pode ser o resultado de intensa humificação e rápida mineralização de grandes quantidades de material orgânico depositados ao solo. Diante desse resultado em R4, considerando ser o C-FAH a fração intermediária no processo de estabilização dos compostos orgânicos, essa fração pode contribuir em maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais.

Tabela 12. Efeito da interação profundidade x manejo nos teores carbono da fração ácidos fúlvicos (C-FAF) e nitrogênio da fração ácidos húmicos (N-FAH) para área SAF.

C-FAF (g kg ⁻¹)	Manejo	
	SAF4	R4
0-5	2,08 Ba ¹	2,97Aa
5-10	2,99Aa	1,41Bb
N-FAH (g kg ⁻¹)	Manejo	
	SAF4	R4
0-5	1,16 Aa	1,70 Aa
5-10	1,56 Aa	1,18 Ba

(1) Letras maiúsculas nas colunas comparam diferenças entre manejos, letras minúsculas nas linhas comparam diferenças entre profundidades, a 1 e 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. SAF4 - sistema agroflorestal.

Foram verificados efeitos do manejo nos teores de ácidos fúlvicos, com diferenças significativas na camada de subsuperfície de 0,05-0,10 m, com maiores teores de carbono da fração ácidos fúlvicos em R4. Possivelmente, tanto a textura arenosa com 58,8 % de areia (Tabela 3) quanto o pH (Tabela 8) ácido nessas áreas pode ter influenciado nesse resultado. Salienta Canellas (2005) que solos de textura arenosa, normalmente apresentam maiores valores da fração ácidos fúlvicos.

Com relação aos teores de N-FAF, foi verificado efeito da interação profundidade x manejo com diferenças significativas em R4 com maiores médias na superfície e decréscimo nos teores de N-FAF com a profundidade. O favorecimento de leguminosas nessas áreas influenciou no maior aporte de resíduos foliares em camada superficial, assim como a fixação biológica de nitrogênio por essas plantas, elevando a disponibilidade de N através da decomposição do material depositado sobre o solo.

CONCLUSÃO

1. Foram constatados efeitos positivos das práticas conservacionistas nas áreas de manejo MF1 (Plantio de milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível), PMF3 (Plantio de palma forrageira em consórcio do milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível) e SAF4 (sistema agroflorestal) na redução das perdas de solo e água.

2. A utilização da prática de manejo morro abaixo pelos agricultores leva a maiores perdas de solo e água, porém, não foram verificadas piores condições de fertilidade desse manejo em relação à prática do pousio.
3. Atenção deve ser dada à prática de manejo morro abaixo, havendo a necessidade de uso de prática conservacionista a fim de minimizar as perdas de solo e água.
4. O sistema de consórcio PMF3 (palma forrageira, milho e feijão com enleiramento de garrancho em nível) e SAF4 (sistema agroflorestal) são tão eficientes quanto o pousio para controle das perdas de solo e água, porém, apenas o SAF4 contribui com a fertilidade do solo em termos de carbono orgânico (CO) e fósforo (P) no solo.

ANEXOS

Figura 20. Valores da quantidade de perda de solo (g) durante os meses de avaliação nas áreas de avaliação.

Quantidade de perda de solo (g)						
Manejo	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
MF1	435.9	1585.6	356.1	41.2	1.4	2420.24
R1	361.1	943.7	169.7	7.8	0.0	1482.33
PMB2	270.6	7755.8	520.2	69.6	30.9	8647.09
R2	210.08	1761.04	351.12	3.86	7.08	2333.18
PMF3	393.5	292.4	133.6	5.2	7.8	832.56
R3	268.5	400.6	79.3	3.7	1.0	753.09
SAF4	199.5	120.4	22.7	11.0	1.6	355.17
R4	110.4	167.6	32.4	5.0	8.8	324.16

Fonte: Autor.

Figura 21. Perdas de água total (L) em cada mês nas áreas de avaliação.

Quantidade de perda de água (L)						
Manejo	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
MF1	24.0	129.5	42.0	7.7	0.0	203.14
R1	22.0	138.8	37.3	2.0	0.0	200.17
PMB2	10.0	153.7	56.0	2.0	2.7	224.33
R2	10.0	138.2	30.7	7.3	4.3	190.5
PMF3	31.2	88.3	29.0	3.5	1.3	153.33
R3	28.2	89.3	30.3	1.7	0.7	150.17
SAF4	28.7	136.5	29.3	3.0	1.9	199.40
R4	40.3	87.0	24.0	3.0	0.9	155.21

Fonte: Autor.

REFERÊNCIAS

- ABREU SÁ, T. D., KATO, O. R., DE CARVALHO, C. J. R., & DE OLIVEIRA FIGUEIREDO, R. Queimar ou não queimar?: De como produzir na Amazônia sem queimar. **Revista USP**, v. 72, p. 90-97, 2007.
- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAUJO FILHO, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, p. 270-278, 2006.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 121-128, 2001.
- ALBUQUERQUE, A. W. 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, p. 136-141, 2002.
- ANDRADE, L. K. F. *et al.* Atributos de fertilidade relacionados à qualidade do solo em mata nativa e área desmatada na bacia do rio Cuiá, em João Pessoa, PB. In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012.
- ANDRADE, E.M.; D'ALMEIDA, D.M.B.A.; MIERELES, A.C.M.; LEMOS FILHO, L.C.A.; DE ARRUDA, F.E.R. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.35, n.1, p.9-16, jan./jun. 2004.
- ARAÚJO FILHO, J.A.; BARBOSA, T.M.L. **Manejo agroflorestral de Caatinga: uma proposta de sistema de produção Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, 2000, p. 47-57.
- BAGARELLO, V.; FERRO, V. Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental área of Sparacia (Southern Italy). **Hydrological Processes**, v. 18, p. 141-157, 2004.
- BAKKER, M. M.; GOVERS, G.; KOSMAS, C.; VANACKER, V.; VAN OOST, K.; ROUNSEVELL, M. Soil erosion as a driver of land-use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 105, p. 467-481, 2005.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, J. & INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1471-1478, 2008.
- BARTON, A.P.; FULLEN, M.A.; MITCHELL, D.J.; HOCKING, T.J.; LIU, L.; BO, Z.W.; ZHENH, Y.; XIA, Z.Y. Effects of soil conservation measures on erosion rates and crop productivity on sub-tropical Ultisols in Yunnan Province, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 104, p. 343-357, 2004.

BEN-HUR, M.; LI, F. H.; KEREN, R.; RAVINA, I.; SHALIT, G. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science American Journal**, v. 65, p.191-198, 2001.

BENITES, V. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S. Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas como auxiliar na identificação de diferentes solos da região Sul do Brasil In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETACÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 6. **Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p.184-192, 2000.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, PLO de A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. **Embrapa Solos. Comunicado Técnico**, 2003.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. & ZOLDAN JR., W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:155-163, 2004.

BOIX-FAYOS, C., MARTÍNEZ-MENA, M., ARNAU-ROSALÉN, E., CALVO-CASES, A., CASTILLO, V., & ALBALADEJO, J. Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. **Earth-Science Reviews**, 78(3), 267-285, 2006.

BRASIL. Decreto N. 6.040, de 7 de Fevereiro de 2007. **Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais**. Brasília, 7 de fevereiro de 2007.

BRASILEIRO, Robson S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v. 5, n. 5, 2009.

BREMAN, H.; KESSLER, J.J. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. **Developments in Crop Science**, v. 25, p. 39-47, 1997.

CABRAL, A. L. A.; MORAES, O. F.; Borges, L. A. C. Uso do Fogo na Agricultura: Legislação, Impactos Ambientais e Realidade na Amazônia. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista** v.9, n.5, 2014.

CAMARGO, F. A. G. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gêneses, 1999, p. 197-255.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. **Humosfera**: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas / Luciano Pasqualoto Canellas e Gabriel Araújo Santos. – Campos dos Goytacazes : L. P. Canellas , G. A. Santos, 2005. 309 p.: il.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; SILVA, M.B. & SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de um toposequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:133-143, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: Editora Interciência,; p. 326. 2008.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perda de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.

CASSOL, E. A.; MARTINS, D., ELTZ, F., & FALLEIRO, R.; Erosividade das chuvas em Taquari, RS, determinada pelo índice EI30, no período de 1963 a 1999. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 15. 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBCS, 2004.

CAVICHIOLO, S. R. **Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica em diferentes métodos de preparo do solo em plantio de *Pinus taeda***. 152 f. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CERDAN, O.; GOVERS, G.; BISSONNAIS, Y. LE; VAN OOST, K.; POESEN, J.; SABY, N. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. **Geomorphology**, v. 122, p. 167-177, 2010.

CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.; CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, p.325-358, 2008.

CHAPLOT, V., LE BISSONNAIS, Y. Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. **Earth Surface Processes and Landforms** 25, 145–153, 2000.

CHAPPELL, A., OLIVER, M., WARREN, A., Net soil flux derived from multivariate soil property classification in southwest Niger: a quantified approach based on 137 Cs. Proceedings of the International Symposium, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany, 5–7 Dec. 1994. Margaf Verlag, Weikerheim, Germany, p. 69–85, 1996.

COSTA, C. D. O.; Alves, M. C.; Sousa, A. P.; Silva, H. R.; González, A. P.; Avalos, J. M. M.; ... & Marques, A. P. Estimativa das perdas de solo e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 1, p. p. 67-85, 2015.

CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L. & AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 27-36, 2001.

CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G.T. & LEPSCH, I.F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma seqüência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:81-90, 2005.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.179-186, 2004.

DASS, A. *et al.* Runoff capture through vegetative barriers and planting methodologies to reduce erosion, and improve soil moisture, fertility and crop productivity in Southern Orissa, India. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 89, n. 01, p.45-57, 2011.

DE VENTE, J., POESEN, J. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale. Scale issues and semiquantitative models. **Earth-Science Reviews**, v. 71, p. 95–125, 2005.

DIEGUES, A.C.; ARRUDA, R.S.V.; SILVA, V.C.F.; FIGOLS, F.A.B.; ANDRADE, D. **Biodiversidade e comunidades tradicionais no Brasil: Os saberes tradicionais e a biodiversidade no Brasil** São Paulo: NUPAB-USP, PROBIO-MMA, CNP-q, 1999. http://www.ethnobiomed.com/sfx_links.asp?ui=1746-4269-1-10&bibl=b19. Acesso em: 20 de julho de 2014

DUNJÓ, G.; PARDINI, G.; GISPERT, M. The role of land use–land cover on runoff generation and sediment yield at a microplot scale, in a small Mediterranean catchment. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 2, p. 239-256, 2004.

DUQUE, G.; “Conviver com a seca”: contribuição da Articulação do Semi-Árido/ASA para o desenvolvimento sustentável. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 17, 2008.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. D.; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, 67(2), 261-266. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA— EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. Ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 212p, 1997.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27(6), 1097-1104, 2003.

FEITOSA, T. S.; SALES, J. L.; PAIVA, F. É. F.; SOUZA, H. A.; POMPEU, R. C. F. F. Caracterização das atividades agropecuárias da comunidade rural São Francisco no município de Sobral-CE. In: **simpósio brasileiro de recursos naturais do semiárido-sbrns,1**, Iguatu, CE., 2013.

FERREIRA, J. H. O.; KATO, O. R.; FREITAS, A.; GREVINELL, J. G.; PISSATTO, M. Sistemas agroflorestais na agricultura familiar como alternativa para diversificação da produção e redução de queimadas no nordeste Paraense. In: **Congresso brasileiro de sistemas agroflorestais**. 2009.

FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. D.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J. A. A. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, 26(6), 751-760. (2002).

GALINDO, I.C.L.; RIBEIRO, M.R.; SANTOS, M.F.A.V.; LIMA, J.F.W.F. & FERREIRA, R.F.A.L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1283-1296, 2008.

GARCÍA-GIL, J. C.; PLAZA, C.; SENESI, N.; BRUNETTI, G.; POLO, A. Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil. **Biology and Fertility of Soils**, 39(5), 320-328, (2004).

GATTO, A.; BARROS, N. D.; NOVAIS, R. D.; COSTA, L. D.; NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucaliptus grandis*, **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 635-646, set./out. 2003.

GIBBENS, R.P.; TROMBLE, J.M.; HENNESSY, J.T.; CARDENAS, M. Soil movement in mesquite dune lands and former grasslands of southern New Mexico from 1933 to. **Journal of Range Management** 36, 145–148, 1980.

HELYAR, Keith. Manejo da acidez do solo a curto e a longo prazos. **Informações Agronômicas, Encarte Técnico**, n. 104, 2003.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J.R.B.; NACIF, P.G.S.; ARAUJO, Q. R.; BARRETO, A.C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 355-360, 2007.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; ARAÚJO, Q. D.; NACIF, P. G. S.; BEZERRA, S. A.; BARRETO, A. C. Erosão hídrica em agrofloresta no Sul da Bahia. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 01, p. 75-78, 2005.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, Perfil básico municipal, Tamboril, 2009. Disponível in: <<http://www.ipece.com.br>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2014.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; Gehring, C.; Campos, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.730-738, 2012.

JACOMINE, P.K.T. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: Alvarez VH, Fontes LEF, Fontes MPF. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, **SBCS**, p. 95-133. 1996.

JAKELAITIS, A.; DA SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, 38(2), 118-127, 2008.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 85, n. 11, p. 91-118, mar. 2007.

KOOPMANS, A.K.; Biomass energy and supply for South and South-East Asia-assessing the resource base. **Biomass Bioenergy**, v. 28, p. 133–150, 2005.

LABRADOR MORENO, J. **La matéria orgânica em los agrosistemas**. Madri: Ministéria Agricultura, 1996.

LAFAYETTE, K.P.V.; CANTALICE, J.R.B.; COUTINHO, R.Q. Resistência à erosão em ravinas, em Latossolo argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 2167-2174, 2011.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27(5), 821-832. 2003.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; CHAGAS, F. O.; CASTRO, A. A. J. F.; COSTA, D. B.; GUALTER, R. M. R. Teores de nutrientes da serapilheira e do solo sob sistema agroflorestal em área de transição no norte do Piauí. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, 2007.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v.35, p.51-60, 2011.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; DOS SANTOS, J. C. N.; LOPES, J. F. B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agroambiente On-line**, v. 3, n. 2, p. 65-71, jul-dez, 2009.

LU, D.; LI, G.; VALLADARES, G.S.; BATISTELLA, M. Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. **Land Degradation & Development**, v.15, p. 499–512, 2004.

MACHADO, P. L. O. A. **Método para a extração de substâncias húmicas do solo – ácido húmico e ácido fúlvico**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 4 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 1)

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. D. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A. D.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, 32(2), 217-224. 2008.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. D. S.; OLIVEIRA, T. D.; MENDONÇA, E. D. S.; ARAÚJO FILHO, J. D. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, 30(5), 837-848, 2006.

MAMEDE, M. A.; ARAÚJO F.S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 4, p. 458–470, 2008.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. D. L.; SOUZA, E. R. D.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(6), 1883-1890. 2010.

MATOS, F. O.; CASTRO, R. M. S.; RUIVO, M. D. L. P.; MOURA, Q. L. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 257- 266, 2012.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 2010. 568p.

MEDEIROS, P. H. A. **Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas**. 2009. 82 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2009.

MELO, J. A. B.; PEREIRA, R. A.; DANTAS NETO, J. Atuação do Estado brasileiro no combate à seca no Nordeste e ampliação das vulnerabilidades locais. **Qualit@s Revista Eletrônica**, Campina Grande, v. 8, n. 2, p. 1-13, 2009.

MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

MENDONZA, H. N. S.; LIMA E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.201-207, 2000.

MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.1-5.

MORAES, M. F.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; COSCIONE, A. R.. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 04, p. 673-684, 2007.

MOREIRA, R.M; CARMO, M.S. **Agroecologia na construção do desenvolvimento rural sustentável**. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v51, n. 2, p. 37- 56, 2007.

MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion & Conservation**. National Soil Resources Institute, Cranfield University. Thirt edition, 2005.

NAVAS, A. J.; MACHÍN, J. S. Avaliando a erosão do solo em uma bacia hidrográfica de montanha dos Pirinéus utilizando GIS e precipitação de ¹³⁷Cs, **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, n. 3, p. 493-506, 2005.

NORGROVE, L.; CSUZDI, C.; FORZI, F.; CANET, M.; GOUNES, J.; RAWAT, G. S. Shifts in soil faunal community structure in shaded cacao agroforests and consequences for

ecosystem function in Central Africa. In: **Tropical Ecology**. International Society for Tropical Ecology, 2009. p. 71-78.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 471-550, 2007.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, Q. R. Í. Diversidade da fauna edáfica em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo no semiárido nordestino. **Scientia agraria**, v. 10, n. 1, p. 43-49, 2009.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; JÚNIOR, E. V. H; QUEIROZ. R. I. M. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, 2008.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, Q. R. I. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semi-árido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 2, 2006.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R. P.; GORDON, A. M. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.104, p.359-377, 2004.

OLLESCH, G., VACCA, A., Influence of time on measurement results of erosion plot studies. **Soil and Tillage Research** v. 67, p. 23–39, 2002.

PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 33:1031-1040, 2009.

PENEIREIRO, F.M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural; um estudo ao acaso**. Dissertação. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 100p. 1999.

PEREIRA, B. E.; DIEGUES, A. C. Conhecimento de populações tradicionais como possibilidade de conservação da natureza: uma reflexão sobre a perspectiva da etnoconservação. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 22, n. 1, 2010.

PINHEIRO, E.A.R.; COSTA, C.A.G.; ARAÚJO, J.C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 1–4, 2013.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.687-695, 2006.

POTES, M. da L.; DICK, D.P.; DALMOLIN, R.S.O.D.; KNICKER, H.; ROSA, A.S. Matéria orgânica em neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. p. 23-32, jan./fev. 2010.

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa – MG: Editora UFV, 2006. Cap. 1, p.13-23.

REDIN, M.; SANTOS, G. D. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

RHEINHEIMER, D. S.; FERNANDES, P. S. V. B. B.; ALMEIDA, Á. L. M. J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 49-55, jan./fev. 2003.

ROMERO-DÍAZ, A., CAMMERAAT, L.H., VACCA, A., KOSMAS, C., Soil erosion at three experimental sites in the Mediterranean. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 24, 1243–1256, 1999.

RÜTTIMAN, M., SCHAUB, D., PRASUHN, V., RÜEGG, W. Measurement of runoff and soil erosion on regularly cultivated fields in Switzerland — some critical considerations. **Catena** 25, 127–139, 1995.

SÁ, I. B.; FOTIUS, G. A.; RICHE, 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.

SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S.. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. **Idesia (Arica)**, v. 29, n. 2, p. 87-94, 2011.

SANTOS, J. C. N. **Mensuração da erosão do solo no semiárido em diferentes usos de terras e escalas espaciais**. Fortaleza: UFC, Tese de Doutorado, p. 100, 2012.

SANTOS, JCN; PALÁCIO, HAQ; ANDRADE, EM; MEIRELES, ACM; ARAÚJO NETO, JR escoamento e perdas de solo e nutrientes em áreas não cultivadas semi-áridas. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.813-820, 2011

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37(5), 669-678. 2002.

SEDDAIU, G., PORCU, G., LEDDA, L., ROGGERO, P. P., AGNELLI, A., & CORTI, G. Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 167, 1-11. 2013.

SHARMA, K. L.; SRINIVAS, K.; VITTAL, K. P. R.; MADAL, B.; GRACE, J. K.; RAMESH, V. Efeitos de manejo do solo a longo prazo sobre o rendimento das culturas e qualidade do solo em um sequeiro Alfisol, **Soil and Tillage Research**. v. 83, p 246–259, 2005.

SILVA, G. L.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, T. S. Qualidade física do solo de Luvisolos sob sistemas agroflorestais, vegetação natural e os sistemas de plantio convencional na região do semi-árido brasileiro. **Geoderma**, p. 61–70, n. 168, 2011.

SILVA¹, T. P. N.; SANTOS, T. E. M.; ANTÔNIO, A.; MONTENEGRO, A.; MELO GUSMÃO, M. A.; MATOS PONCIANO, I. & GALINDO. "Índice de erosividade (ei30) das chuvas para a bacia experimental do riacho mimoso, no semi-árido pernambucano." VII Simpósio de Captação e Manejo de Água da Chuva, 2009.

SILVA, R. M.; PAIVA, F. M. D. L.; SANTOS, C. A. G. Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do Rio Capiá baseado em SIG e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, p. 26-402, 2009.

SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no Semi-árido. In: Oliveira, T.S.; Assis, Júnior, R.N.; Romero, R.E.; Silva, J.R. C. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o Semi-árido**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. p. 168-213, 2000.

SOUSA, F. P.; FERREIRA, T.O.; MENDONÇA, E. S.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbono e nitrogênio em solos degradados semi-árido brasileiro para ver o seu desertificação. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.148, p. 11–21. 2012.

SOUZA, H. A., CAVALCANTE, A. C., TONUCCI, R. G., POMPEU, R. C., DE SOUZA, M. C., & MAIA, C. E. Níveis críticos para atributos do solo pela distribuição normal reduzida em culturas anuais de subsistência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(4), 425-430. 2014.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 885-896, 2000.

SRINIVASAN, V. S.; PAIVA, F. M. L. Regional validity of the parameters of a distributed runofferosion model in the semi-arid region of Brazil. *Science in China. Series E, Technological Sciences*, v. 52, p. 3348-3356. 2011.

STROOSNIJDER, L. Medição da erosão: É possível? **Catena**, 64: 162-173, 2005.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America/ American Society of Agronomy, 1996. p.1011-1020.,Pt. 3. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, p. 858-871. 2001.

USDA-NRCS (United States Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service) Urban Soil Erosion and Sediment Control (2008)
http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs141p2_034363.pdf (acesso: Agosto de 2015).

VERGUTZ, L.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; BARROS, N.F.; NUNES, T.N. & PIAU, A.A.M. Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:43-57,2010.

VISSER, S. M.; STERK, G.; RIBOLZI, O. Techniques for simultaneous quantification of wind and water erosion in semi-arid regions. **Journal of Arid Environments**, v. 59, n. 4, p. 699-717, 2004.

WILLIAMS, K. J.H.; SCHIRMER, JACKI. Understanding the relationship between social change and its impacts: The experience of rural land use change in south-eastern Australia. **Journal of Rural Studies**, v. 28, n. 4, p. 538–548, 2012.

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**, 19:1467-1476, 1988.

ZECH, Z., SENESI, N., GUGGENBERGER, G., KAISER, K., LEHMANN, J., MIANO, T.M., MILTNER, A., SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.69-116, 1997

ZGŁOBICKI, W.; BARAN-ZGŁOBICKA, B.; GAWRYSIAK, L.; TELECKA, M.. The impact of permanent gullies on present-day land use and agriculture in loess areas (E. Poland). **Catena**, v. 126, p. 28-36, 2015.

ZOBISCH, M.A., KLINGSPOR, P., ODUOR, A.R. The accuracy of manual runoff and sediment sampling from erosion plots. **Journal of Soil and Water Conservation** 51, 231–1233, 1996.