

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CLEENE AGOSTINHO DE LIMA

**PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM CULTIVO DE MANDIOCA NO
RECÔNCAVO DA BAHIA**

RECIFE - PE

2013

CLEENE AGOSTINHO DE LIMA

PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM CULTIVO DE MANDIOCA NO
RECÔNCAVO DA BAHIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Conservação de água e solo

Orientador: Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

RECIFE – PE

Ficha catalográfica

L732p Lima, Cleene Agostinho de
Perdas de solo, água e nutrientes em cultivo de mandioca no
Recôncavo da Bahia / Cleene Agostinho de Lima. – Recife, 2013.
78 f. : il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural,
Recife, 2013.
Referências.

1. Chuva simulada 2. Intensidade de chuva 3. Cobertura morta
4. Consórcio 5. Erosão hídrica I. Montenegro, Abelardo Antônio de
Assunção, orientador II. Título

CDD 630

CLEENE AGOSTINHO DE LIMA

PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM CULTIVO DE MANDIOCA NO
RECÔNCAVO DA BAHIA

Dissertação defendida e aprovada em: 26 de Julho de 2013 pela Banca Examinadora

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

CO-ORIENTADORA:

Profa. Dra. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

EXAMINADORES:

Profa. Ph.D. Eunice Maia de Andrade
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof Dr. Ênio Farias França e Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

Prof Dr. João Audifax César de Albuquerque Filho
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

Aos meus pais, Raimundo Felismino de Lima e
Francisca Agostinho dos Santos.

Aos meus irmãos: Cleide, Cleisce e Cleudo.

Ao meu namorado Julio Cesar dos Santos pelo
apoio e compreensão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Deus, por tudo que vem me proporcionando.

Aos meus pais por ter me incentivado a estudar, mesmo perante as dificuldades e a distância sempre souberam me apoiar e acreditaram em mim. Aos meus irmãos Cleide, Cleisce e Cleudo pelo carinho e apoio.

Ao meu namorado Julio Cesar dos Santos pelo incentivo, companheirismo e principalmente por ter compreendido a distância.

Ao Professor Abelardo Montenegro uma das referências na conservação de água e solo, pela brilhante orientação, incentivo, pela motivação e por ter acreditado e depositado confiança em mim para realização deste trabalho, mas acima de tudo pela amizade construída que ajudou no meu crescimento e amadurecimento pessoal e profissional.

À professora Thais Emanuelle dos Santos, pela co-orientação e contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Pós-doutorando Adriano Normandia pelo apoio na instalação das parcelas experimentais.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa de estudo durante o curso.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento da Bolsa de Auxílio Mobilidade Discente (AMD).

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), pela oportunidade de realização do trabalho.

Ao coordenador de Pós-Graduação, Enio Farias França e Silva, por oportunizar a todos os alunos um ensino de excelente qualidade e todos os professores que fazem parte do programa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em específico ao Núcleo de Engenharia de Solo e Água (NEAS), em especial: Professor Vital, Tales e Aureo pelo apoio na realização desta pesquisa e disposição do laboratório para realização das análises de sedimento, e a todos que de alguma forma contribuíram na realização das análises.

À EMBRAPA Mandioca e Fruticultura pela concessão das manivas utilizadas neste trabalho, em especial a técnica Zara Maria Fernandes da Costa.

Aos laboratórios de Física do Solo e de Metais e Traços da UFRB pelo apoio e por ter permitido a realização de parte das análises físicas e químicas do solo, em especial: Professor Luciano, técnico Ailton, Ana Carolina, Taiano, Fábio, Edimar, Elisângela, Luana, Livia, Marcela, Edson e Capelão.

Aos técnicos Alberico e Erivaldo por ter acompanhado desde implantação do plantio até todo desenvolvimento deste trabalho, e ao estudante de mestrado Maxsuel por ter delimitado as curvas de nível e declividade da área, e a Edson (NEAS), pelas contribuições e colaboração. Aos funcionários terceirizados em especial: Carlos, Jaro, Romy, Mica, Renato, pela ajuda na instalação do experimento, na montagem do simulador de chuva, coleta de dados e por ter tornado os dias de campo agradável.

As dedicadas alunas do curso de Tecnologia em Agroecologia, colaboradoras ativas do projeto: Elisângela Pereira, Luana Mendes e Livia Machado. Também aos estudantes Adevan e Djalma pela colaboração.

Aos colegas contemporâneos do Mestrado, Tatyana Keyty, Tatiana Patrícia, Renato, Marcos, Vinícius, Luis, Janice, Raquele, Rafael, Daniel, Diogo, Jessyka, Rochelle, Andrea, Eduardo, Jucy, Miguel, Ramady, Aline, Ana Karine, Allan, Alysson, Mara, Nadielan, Tony.

Aos colegas do Laboratório de Hidrologia e de Água e Solo (LABAS) pelo excelente convívio e amizade: Valdemir, Tatyana Keyty, Robertson, Rafaele, Suélica, Eduardo, Betinho, Rogério, Adriana, Adriano, Thalita, Aluizio, Paulo, Rayssa, Thaís.

Ao Grupo de Estudante de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (GEPEA) pelo convívio e momentos de descontração felizes, que fizeram os meus dias maravilhosos.

A doutora em Fitopatologia Kátia Félix por ter me acolhido quando cheguei a Recife e pela amizade e convivência.

A todas as pessoas, que de alguma forma, passaram por minha vida e contribuíram na realização deste trabalho.

*“O ser humano descobre-se a si mesmo quando se
defronta com os obstáculos”
(Antoine de Saint-Exupéry)*

RESUMO

LIMA, C. A. **Perdas de solo, água e nutrientes em cultivo de mandioca no Recôncavo da Bahia**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE.

O uso de práticas conservacionistas é uma alternativa para a conservação do solo, com a finalidade de proteger a superfície do mesmo contra os agentes erosivos e preservar os teores de matéria orgânica e nutrientes essenciais para a sustentabilidade do solo e da agricultura. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho de práticas conservacionistas sob a cultura da mandioca, no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica, sob diferentes intensidades de chuva simulada. O experimento foi conduzido em uma área de 240 m² e declividade de 0,07 m m⁻¹ na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no Município de Cruz das Almas-BA, em Latossolo Amarelo álico coeso, de textura franco argilo-arenosa. Os tratamentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e três repetições em parcelas experimentais de erosão com área de 3 m² sob diferentes intensidades de chuva simulada e condições de uso do solo: Mandioca morro abaixo (MMA), mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM), mandioca em nível consorciada com feijão-caupi (*Phaseolus vulgaris*) e cobertura morta (MN+F+CM) e mandioca em nível consorciada com feijão-caupi (MN+F). As intensidades de chuva aplicadas foram: 62 mm h⁻¹ e duração de 40 minutos, 90 mm h⁻¹ e duração de 30 minutos para chuva de intensidade constante e uma chuva de perfil de precipitação atrasado, com uma chuva inicial de menor intensidade e longa duração (intensidade de 40 mm h⁻¹ e duração de 90 minutos) e na sequência outra de maior intensidade e curta duração (intensidade de 90 mm h⁻¹ e duração de 30 minutos). O cultivo da mandioca morro abaixo (MMA) proporcionou perdas totais de água 21,5% da chuva aplicada e solo de 3.911,95 kg ha⁻¹ os quais foram 8,1 e 9,3 vezes maior, respectivamente, em relação ao tratamento MN+F, já nos tratamentos com presença de cobertura morta (MMA+CM e MN+F+CM) não houve erosão hídrica. As maiores perdas de nutrientes para todos os elementos estudados ocorreram nos sedimentos. Conclui-se que a utilização do consórcio e aplicação da cobertura morta, sobre o solo para as diferentes intensidades de chuva aplicadas, foram práticas conservacionistas eficazes na diminuição da erosão hídrica, das perdas solo, água e nutrientes, podendo ser utilizada pelos agricultores, como técnica de conservação do solo e água.

Palavras-chave: chuva simulada, intensidades de chuva, cobertura morta, consórcio, erosão hídrica

ABSTRACT

LIMA, C. A **Soil, water and nutrients Losses on cassava cropping in the Reconcavo da Bahia** 2013. Dissertation (Master's in Agricultural Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco-UFRPE.

The use best management practices is an alternative to soil conservation, in order to protect the soil surface against the erosion agents and preserve soil organic matter and nutrients to soil sustainability and agriculture. In this context, aimed of this study to evaluate the performance conservation practices in soil, water and nutrients losses by erosion on cropping cassava under conditions of different intensities of simulated rainfall. The experiment was conducted in an area of 240 m² and slope of 0.07 m m⁻¹ at the Federal University of Bahia in the Reconcavo municipality of Cruz das Almas, Bahia, in alic and cohesive yellow Latosol, sandy clay loam with. The treatments were conducted in a completely randomized design with four treatments and three replications in plots with erosion area of 3 m² under different intensities of simulated rainfall and land use: Cassava downhill (MMA), cassava downhill with mulch cover (MMA + CM), cassava in contour lines associated with cowpea (*Phaseolus vulgaris*) plus mulch cover (MN+F+CM) and cassava in contour lines associated with cowpea (MN+F). The intensities of simulated rainfall applied were: 62 mm h⁻¹, and 40 minutes duration, 90 mm h⁻¹ and a duration of 30 minutes of constant intensity, and a delayed rainfall (40 mm intensity h⁻¹, and 90 minutes duration), and further another of higher intensity and short duration (intensity 90 mm h⁻¹ and a duration of 30 minutes). Among the treatments, the cultivation of cassava downhill (MMA) gave total loss of 21.5% of rain water and soil applied 3911.95 kg ha⁻¹ which were 8.1 and 9.3 times higher, respectively, in relation to the treatment MN + F, since the treatments with the presence of mulch (MMA + CM and CM + MN + F) no erosion. The greatest nutrients losses for all elements studied occurred in the sediments It is concluded that the use and application of the consortium mulch on the ground for different intensities of rain applied conservation practices were effective in reducing erosion, of soil, water and nutrients losses can be used by farmers as technique of soil and water conservation.

keywords: simulated rainfall, rainfall intensity, mulch, consortium, hydric erosion

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental no município de Cruz das Almas- Bahia, Brasil.....	32
Figura 2. Curvas de retenção para Latossolo Amarelo Álico Coeso, nas camadas de 0-20 (A) e 20-40 (B) cm de profundidade.	34
Figura 3. Parcelas experimentais com seus respectivos tratamentos: mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão e cobertura morta (MN+F+CM) e mandioca em nível consorciada com feijão (MN+F).	36
Figura 4. Tela do programa Plúvio, para obtenção dos parâmetros empíricos da equação de IDF, para o município de Cruz das Almas, Bahia.	39
Figura 5. Calibração do simulador de chuva para área da parcela experimental.	40
Figura 6. Relação entre intensidade média da chuva (mm h^{-1}), e coeficiente de uniformidade (%) em função da pressão de serviço (kPa)	41
Figura 7. Distância entre dois pontos para percorrer o corante em parcela experimental.....	42
Figura 8. Coleta da enxurrada com auxílio de proveta graduada em parcela experimental.	46
Figura 9. Equação de calibração do Hydrosense para a profundidade de 12 cm.	48
Figura 10. Representação da cobertura vegetal para os diferentes tratamentos: Mandioca morro abaixo (A), mandioca morro abaixo com cobertura morta (B), Mandioca em nível consorciada com feijão e cobertura morta (C) e mandioca em nível consorciada com feijão (D).	49
Figura 11. Quadro Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Bezerra & Cantalice, 2006.....	49
Figura 12. Taxa média das perdas de água para as diferentes intensidades de chuva e uso de práticas conservacionistas: mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).	56
Figura 13. Desenvolvimento da cobertura da mandioca aos 22 (A), 30 (B) e 57 (C) DAP.	57

Figura 14. Taxas médias das perdas de solo para as diferentes intensidades de chuva e uso de práticas conservacionistas: mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).	59
Figura 15. Percentagem de cobertura vegetal para as diferentes práticas conservacionistas dias após plantio.	60
Figura 16. Precipitação e evapotranspiração da cultura da mandioca e do feijão para todo período estudado.....	61
Figura 17. Relação entre o escoamento superficial e perda de solo para as diferentes intensidades e os tratamentos MMA (A, B e C) e MN+F (D).....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físico-químicas do Latossolo Amarelo álico coeso da área experimental, experimental nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade.	33
Tabela 2. Distribuição de classes de agregados e diâmetro médio geométrico (DMG) do Latossolo Amarelo álico coeso da área experimental, Cruz das Almas-BA.....	33
Tabela 3. Teores químicos de N, P, K e MO do esterco bovino utilizado na área experimental.	37
Tabela 4. Médias de três repetições das características hidráulicas do escoamento superficial para as diferentes práticas conservacionistas e intensidades de chuva.....	51
Tabela 5. Média da perda de água (PA- % da chuva aplicada), perda de solo (PS) e taxa de desagregação (D) para as diferentes práticas conservacionistas e intensidades de chuva.	52
Tabela 6. Perda total de água, solo e eficiência do uso do solo sob o controle da erosão para os tratamentos estudados.	55
Tabela 7. Umidade antecedente e após as chuvas simuladas para as diferentes práticas conservacionistas e intensidades de chuva.	62
Tabela 8. Perda de nutrientes no sedimento, na água da enxurrada e totais (sedimento + água de enxurrada) para as diferentes práticas conservacionistas.....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Geral	18
2.2	Específicos.....	18
3	HIPÓTESES	18
4	REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1	A cultura da mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz).....	19
4.2	Erosão do solo	21
4.3	Práticas conservacionistas	25
4.4	Simuladores de chuvas	27
4.5	Intensidade da precipitação	29
4.6	Características hidráulicas do escoamento superficial	30
5	MATERIAL E MÉTODOS	32
5.1	Área experimental	32
5.1.1	Localização.....	32
5.1.2	Classificação climática	32
5.1.3	Características físicas e químicas do solo	32
5.2	Caracterização da área experimental.....	35
5.3	Tratamentos e delineamento experimental.....	35
5.3.1	Evapotranspiração de referência	37
5.3.2	Estimativa das intensidades e durações das chuvas	38
5.3.3	Aplicação do fator chuva simulada	39
5.3.4	Calibração do simulador de chuvas.....	40
5.3.5	Avaliação das características hidráulicas do escoamento superficial	42
5.3.6	Avaliação da perda de água.....	44
5.3.7	Avaliação das taxas de desagregação e perdas de solo	45
5.3.8	Estimativa da energia cinética.....	45
5.4	Determinação das concentrações dos sedimentos e nutrientes na enxurrada.....	46
5.5	Calibração do equipamento Hydrosense e determinação da umidade do solo.....	47
5.6	Porcentagem de cobertura vegetal	48

5.7	Análise Estatística	49
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
7	CONCLUSÕES	67
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista a chuva ser um dos principais agentes ativos no processo da erosão hídrica, é de extrema importância avaliar a resposta do solo às diferentes precipitações, duração, intensidades (Carvalho et al., 2009). Porém, a chuva natural requer vários anos de medidas para se obter uma amostragem representativa (Agassi & Bradford, 1999), no semiárido, a natureza irregular da chuva natural impede coleta de dados intensiva durante a ocorrência do evento. No entanto, diversos autores (Silva et al., 2005; Santos et al., 2009; Montenegro et al., 2013) têm utilizado precipitações artificiais produzidas por simuladores de chuva, para possibilitar estudos em períodos mais curtos sob erosão hídrica.

As taxas de erosão e conseqüente desgaste do solo vêm assumindo elevadas proporções espantosas, com enormes implicações de ordem física, financeira e social em todo território mundial. No Brasil a erosão hídrica têm ocasionado perdas de 500 milhões de toneladas de solo anuais em todo o território brasileiro, haja vista que a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo nem de conservação adequadas ao solo (Oliveira et al., 2010).

Por ser considerada uma cultura rústica, em comparação a outras, a mandioca também tem contribuído para a aceleração de perdas de solo por erosão, em função de algumas características da planta: crescimento inicial lento, deixando o solo descoberto e desprotegido por 2 a 3 meses após o plantio, grande espaçamento entre plantas na fase inicial, movimentação do solo no plantio e na colheita e por ser uma cultura esgotante do solo, pois quase tudo que produz (raízes, folhas e manivas) é exportado da área, muito pouco retornando ao solo sob a forma de resíduos (Albuquerque et al., 2012; Souza et al., 2006).

Neste contexto, diversos trabalhos sobre o impacto da cultura da mandioca na erosão hídrica têm sido abordados. Marques et al. (1961) verificaram o efeito de diferentes culturas e da mandioca sobre as perdas de solo por erosão no Estado de São Paulo; Putthacharoen et al. (1998), em cultivos agrícolas e mandioca no Vietnã; Margolis et al., 1991; Andrade et al., 1999; Silva et al., 1999 em cultivo da mandioca em camalhão morro abaixo em relação ao cultivo camalhão em nível no Estado de Pernambuco e da Paraíba. Já Podwojewski et al. (2008), cultivando várias culturas agrícolas e mandioca na Tailândia, avaliaram as perdas de solo e nutrientes.

Devido ao sistema de produção de mandioca ser conduzido em sistemas convencionais de preparo do solo, ao lento crescimento inicial, ao espaçamento amplo, como já comentado (Albuquerque et al., 2012), faz-se necessário o uso de práticas para a

conservação do solo, com a finalidade de proteger a superfície do solo contra os agentes erosivos e preservar os teores de matéria orgânica e nutrientes essenciais ao desenvolvimento da cultura.

Além das perdas de solo, as perdas de nutrientes, matéria orgânica pela erosão hídrica é um dos principais fatores determinantes no empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas, com consequentes aumentos em seu custo de produção e na contaminação ambiental (Schick et al., 2000; Santos et al., 2007).

O uso dos sistemas consorciados, tendo a mandioca como cultura principal, tem-se tornado uma prática de manejo empregada em todo mundo pelos agricultores. Na Colômbia, o uso do consórcio da mandioca é bastante comum com arroz sequeiro (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) (Daellenbach et al., 2005). No Brasil, o consórcio é realizado com milho, feijão entre outras culturas (Mattos et al., 2005a, 2005b; Alves et al., 2009; Devidé et al., 2009; Silva et al., 2009; Albuquerque et al., 2012). A mandioca também vem sendo consorciada com cultivos florestais (Daronco et al., 2012; Martinotto et al., 2012).

A utilização do sistema consorciado da mandioca quando comparado ao cultivo solteiro apresenta diversas vantagens: aumento da produtividade por unidade de área (Mattos et al., 2005a, 2005b), proteção vegetativa do solo contra a erosão, controle das plantas daninhas (Devidé et al., 2009; Silva et al., 2009; Albuquerque et al., 2012; Martinotto et al., 2012), redução da incidência de pragas e doenças nas culturas consorciadas, proporcionando maior lucro ao pequeno produtor, além de diversificar as fontes de renda (Alves et al., 2009), e oferecer diversidade de produtos para o agricultor.

A manutenção de uma cobertura morta, por ser uma técnica simples, torna-se uma prática econômica para reduzir os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva, e seus estudos têm-se tornado acentuados nos últimos anos por vários pesquisadores (Ji & Unger, 2001; Findeling et al, 2003; Santos et al., 2009; Carvalho et al., 2011; Jordan et al., 2010; Rees et al, 2002; Borges, 2013; Montenegro et al., 2013). Para estes pesquisadores, a utilização da cobertura morta tem trazido vários benefícios, dentre os quais: aumento da umidade do solo, proteção contra o impacto direto das gotas da chuva, redução do escoamento e da erosão hídrica, redução da temperatura do solo e menor incidência de plantas daninhas.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o desempenho de práticas conservacionistas sob a cultura da mandioca, no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica sob diferentes intensidades de chuva simulada.

2.2 Específicos

Quantificar as perdas de água e solo para diferentes intensidades de chuva e práticas conservacionistas;

Avaliar o efeito da cobertura do solo em minimizar as perdas por erosão;

Quantificar as perdas de nutrientes na enxurrada e no sedimento para os diferentes usos do solo;

Investigar as condições hidráulicas do escoamento, de forma a fornecer subsídios importantes às relações da erosão;

3 HIPÓTESES

As intensidades de chuva podem influenciar na erosão hídrica.

A utilização da densidade de 8 Mg ha⁻¹ de cobertura morta pode reduzir a erosão hídrica.

A utilização de sistema consorciado da mandioca, e da cobertura morta do solo, quando comparado ao cultivo solteiro pode minimizar os problemas causados pela erosão hídrica.

Consórcio de culturas com ciclo fenológico distintos sob diferentes arranjos minimizam os problemas decorrentes da erosão hídrica.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

A mandioca (*Manihot esculenta* Cranz), conhecida como aipim ou macaxeira, pertencente à classe Dicotyledoneae e a família Euphorbiaceae. É uma planta nativa do Brasil e está sendo cultivada atualmente em mais de 180 países no mundo, principalmente no Continente Africano e países produtores da América Latina (FAO, 2013).

A Nigéria é o maior país produtor mundial de mandioca, com uma produção anual de 36,8 milhões de toneladas de raízes, seguida pela Tailândia com 30,1 milhões de toneladas, e o Brasil, ocupando a terceira posição no ranking de produção mundial com 24,5 milhões de toneladas de raízes, sendo a Região Nordeste responsável por uma produção de 8,1 milhões de toneladas, a Região Norte de 6,8 milhões de toneladas; enquanto que a produção das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste é de 5,9, 2,4 e 1,4 milhões de toneladas de raízes de mandioca na safra de 2010, respectivamente (IBGE, 2010).

O Estado da Bahia é o terceiro maior produtor de mandioca, contribuindo com 3,2 milhões de toneladas de raízes de mandioca, atrás apenas do Pará e Paraná, com uma produção de 4,6 e 4,0 milhões de toneladas de raízes, respectivamente (IBGE, 2010).

Para o Estado da Bahia, a mandioca desempenha papel importante na alimentação humana, na forma *in natura* ou como farinha, sendo também utilizada na alimentação dos animais e umas das principais fontes de renda para os pequenos e médios agricultores (Souza et al., 2006).

A planta de mandioca é perene, apresenta tolerância à seca, podendo ser cultivada em áreas com precipitações pluviiais anuais de 300 até 4000 mm, com ampla adaptação às mais variadas condições de clima e solo, é um arbusto, diâmetro variando de 2,0 a 6,0 cm, possuindo raiz tuberosa rica em amido. É utilizada na alimentação humana e animal ou como matéria-prima para diversas indústrias, além de desempenhar papel social importante entre as populações de baixa renda (Souza et al., 2006).

O cultivo da mandioca deve ser efetivado em solos com topografia plana, textura variando de franco arenosa a argilo arenosa com boa profundidade efetiva, sem camadas de impedimento físico ou químico ao desenvolvimento de raízes, e apresentando pH entre 5,0 e 6,0 (Souza et al., 2006). Para os mesmos autores, deve-se realizar na área uma adequada aração seguida de gradagens para facilitar os trabalhos de abertura dos sulcos, plantio,

cultivos e colheitas, assim como o controle de determinadas pragas. Segundo Souza & Souza (2000), as operações de preparo do solo devem ser as mínimas possíveis, apenas o suficiente para a instalação da cultura e para o bom desenvolvimento do sistema radicular, e sempre executadas segundo as curvas de nível do terreno, orientação esta que também deve ser seguida para o plantio.

A seleção de manivas ou manivas-sementes, também denominadas manaíba ou toletes e rebolos deve ser iniciada pela escolha de plantas maduras, vigorosas, bem desenvolvidas e sem sinais de pragas e doenças, cortadas em pedaços de até 20 cm de comprimento, com pelo menos cinco a sete gemas. Após a seleção da maniva, o plantio deve ser realizado normalmente no início da estação chuvosa, em sulcos ou covas (Alves, 2000; Souza et al., 2006).

O plantio da mandioca pode ser realizado com plantas dispostas em fileiras simples ou em fileiras duplas. O espaçamento usado na cultura da mandioca quando cultivada em fileiras simples é variável, como por exemplo, de 0,9 x 0,9 m, de 1,0 x 1,0 m, de 1,0 x 0,8 m ou de 1,2 x 0,8 m (Oyarzábal, 1995), enquanto em fileiras duplas, os espaçamentos utilizados são de 2,0 x 0,6 x 0,6 m ou de 2,0 x 0,5 x 0,5 m (Távora & Melo, 1993; Mattos et al., 2005a). O plantio em fileiras duplas tem algumas vantagens em comparação ao sistema de fileiras simples, como maior facilidade de trabalho com equipamentos e implementos agrícolas, redução da quantidade de fertilizantes, diminuição de custos de produção pela redução de mão-de-obra, uso eficiente da terra, melhoria da renda do produtor, redução do risco de erosão (Mattos et al. 2005a; Mattos et al. 2005b; Alves et al., 2009; Devidé et al., 2009; Silva et al., 2009; Albuquerque et al., 2012; Martinotto et al., 2012).

A mandioca apresenta uma ampla variedade, sendo que cerca de 8.500 já foram catalogadas no mundo, aos quais, 7.500 na América do Sul. No Brasil, considerado como possível centro de origem e diversificação da espécie, já foram catalogadas mais de 4.132, as quais encontram-se conservadas em bancos de germoplasma em todo País (Fukuda, 2000).

Quanto ao teor de ácido cianídrico (HCN), varia em função do genótipo, sendo as cultivares classificadas como mansas (menos de 100 ppm de HCN na polpa crua das raízes), intermediárias (100-200 ppm) e bravas (mais de 200 ppm), sendo para o consumo humano, a principal característica é que as cultivares apresentem menos de 100 ppm ou 100 mg de ácido cianídrico (HCN) por quilograma de polpa crua de raízes (Lorenzi, 2003).

Sendo considerada uma cultura que extrai elevadas quantidades de nutrientes do solo, ou “cultura esgotante”, suas ordens de exploração são: K>N>Ca>P>Mg>S, sendo a relação K/N na mandioca superior a de outras espécies cultivadas (Souza et al., 2006).

4.2 Erosão do solo

A erosão do solo consiste em um dos problemas ambientais mais graves em todo o mundo, tendo a erosão hídrica como a forma mais prejudicial de degradação dos recursos naturais do solo e água e que compromete a capacidade de produtividade dos solos e a qualidade da água superficial, a qual tem preocupado governos e Instituições de todo mundo (Boardman & Favis-Mortlock, 2001).

A erosão hídrica é definida como um processo complexo resultante da interação clima, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e da aplicação de práticas conservacionistas, compreendendo três fases distintas: desagregação, transporte e deposição do solo, provocado pela ação da água das chuvas e do escoamento superficial, e acelerado pela ação antrópica (Cassol & Lima, 2003; Inácio et al., 2007; Silva et al., 2010).

A desagregação é provocada pelo impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície do solo, causando ruptura dos agregados do solo (erosão por impacto) (Silva et al., 2010). O transporte ou arraste das partículas finas desagregadas é causado quando o solo está saturado ou quando a intensidade da chuva é superior à taxa de infiltração de água no solo, resultando no escoamento superficial do excesso de água, em áreas com declive (Inácio et al., 2007). No estágio final do processo, o material transportado pela erosão se deposita em locais mais baixos, que podem ser depressões naturais do terreno ou reservatórios de água, como rios, lagos, açudes.

A erosão hídrica pode se dar das seguintes formas: laminar, em sulcos e em voçorocas. As mesmas podem ocorrer isoladamente ou simultaneamente no mesmo terreno (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Amorim et al., 2001; Carvalho et al., 2002).

Erosão laminar consiste na remoção das camadas superficiais delgadas de solo devido ao fluxo da enxurrada, que são facilmente transportados pelo escoamento superficial. Esta forma de erosão é de difícil percepção, sendo que, em estágios avançados, além do abaixamento da superfície, pode-se observar áreas de coloração mais clara e afloramento de raízes das plantas perenes, bem como a formação de patamares nas gramíneas (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Carvalho et al., 2002).

Erosão em sulco resulta da formação de sulcos em pequenas irregularidades do terreno, onde a enxurrada se concentra atingindo volume e velocidade suficientes para escavá-lo. Este tipo de erosão é ocasionado por chuvas de alta intensidade, em terrenos de elevada declividade e com longas vertentes e solos de alta erodibilidade (Amorim et al., 2001).

Erosão na forma de voçorocas é ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco em solos profundos. Tal fato resulta em um elevado deslocamento de grandes massas de solo, com a formação de grandes cavidades em extensão e profundidade de gramíneas (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

No mundo inteiro as taxas de erosão e consequente desgaste do solo vêm assumindo proporções espantosas, com enormes implicações de ordem física, financeira e social, enquanto no Brasil a erosão hídrica têm ocasionado perdas de 500 milhões de toneladas de solo anuais em todo o território brasileiro. As perdas por erosão são muito elevadas, haja vista que a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo nem de conservação adequadas ao solo (Oliveira et al., 2010).

Diversos pesquisadores têm conduzindo trabalhos sobre as perdas de solo pela erosão hídrica em todo mundo. Lal (1998); Maglinao & Valentin (2003), em seus estudos avaliaram as perdas por erosão em áreas com elevadas declividades no Sudeste da Ásia. Boix-Fayos et al. (2005) avaliaram as perdas de solo em erosão laminar na Espanha a partir da década de 1980. Já Santos et al. (2009) estudaram cultivo de feijoeiro sob diferentes práticas conservacionistas no Agreste Pernambucano no Brasil. Gilles et al. (2009), em cultivo de milho (*Zea mays* L.), investigaram perdas de solo sob diferentes preparos do solo e tipos de adubação no Rio Grande do Sul. Por último, Santos et al. (2011), em área de Caatinga no semiárido Cearense encontraram redução das perdas de solo ao desenvolvimento da vegetação. Já Bertoni et al. (2011), encontraram menores valores de concentração de sedimentos no tratamento sem queima em relação ao com queima, em cultivo de gramíneas em campo nativo com e sem queima da vegetação na região Sul.

A cultura da mandioca também tem contribuído para a aceleração de perdas de solo por erosão, em função de algumas características da planta: crescimento inicial lento, deixando o solo descoberto e desprotegido por 2 a 3 meses após o plantio, grande espaçamento entre plantas na fase inicial, movimentação do solo no plantio e na colheita e por ser uma cultura esgotante do solo, pois quase tudo que produz (raízes, folhas e manivas) é exportado da área, muito pouco retornando ao solo sob a forma de resíduos. (Albuquerque et al., 2012; Souza et al., 2006).

Diversos pesquisadores têm conduzidos trabalhos visando avaliar as perdas de solo por erosão hídrica e água em áreas de cultivo de mandioca em diferentes regiões do Brasil e países.

Marques et al. (1961) avaliaram as perdas de solo por erosão e água no período de 1947 a 1959 no Estado de São Paulo sobre cultivos de mandioca e outras culturas, em área

útil de 100 m² obtiveram uma perda de solo média de 42,6 ton ha⁻¹ e lâmina de 170 mm para a área cultivada com mandioca, correspondente a 83% de perdas de solo em relação à mamona.

Putthacharoen et al. (1998) verificaram que o cultivo da mandioca durante dois ciclos para raízes, e forragem foi responsável por perdas de 77 e 52 t ha⁻¹ de solo, cerca de 3 a 6 vezes maior em relação a cultura do sorgo e amendoim, em solo arenoso com 7% de declividade, durante 4 anos e 6 meses, na Tailândia.

Para Margolis et al. (1991), o cultivo da mandioca em camalhão morro abaixo foi a prática que mais favoreceu as perdas de 49,29 t ha ano⁻¹ de solo e 209,76 mm, de lâmina de água, enquanto se cultivada com camalhão em contorno as perdas foram de 1,44 t ha ano⁻¹ e 9,44 mm, respectivamente. Tal fato resultou em uma redução de 97,1% nas perdas de solo em um Argissolo vermelho- amarelo no período de nove anos de estudos sob diferentes sistemas de cultivo da mandioca, com uma declividade média de 12%, no município de Glória do Goitá, no Agreste Pernambuco. Já Andrade et al. (1999), no Estado da Paraíba, observaram maiores médias das perdas de solo e água, de 0,7 t ha⁻¹ e 32,40 mm, respectivamente, no cultivo morro abaixo, enquanto a mandioca cultivada em camalhão em nível com perdas de 0,3 t ha⁻¹ e 17,4 mm em um Latossolo vermelho amarelo álico, de textura argilosa.

Segundo Silva et al. (1999), o preparo do solo em camalhão em nível reduziu as perdas de solo em 93,5% e de água em 75% enquanto que em covas em nível as reduções foram de 85,1 e 62% nas perdas de solo e água, respectivamente, em área experimental sob diferentes sistemas de cultivo da mandioca, no Estado da Paraíba.

Podwojewski et al. (2008), ao avaliar dois anos consecutivos o escoamento e a desagregação do solo para os diferentes cultivos agrícolas em parcelas experimentais de 1 m² com declividade de 40% no Vietnã, quantificaram 16% do escoamento superficial e de 2 a 7 ton ha⁻¹ ano⁻¹ de perdas de solo média para a cultura da mandioca, em torno de 10 a 20 vezes em relação as cultura da *Brachiaria* e floresta.

Já Oshunsanya (2013), sobre cultivo de mandioca com presença e ausência do capim (*Vetiver sebes*) consorciada com milho no Sul da Nigéria, verificou que a maior perda de solo ocorreu para o cultivo sem o capim, o qual resultou em uma diminuição no rendimento das culturas em comparação ao cultivo com o capim (*Vetiver sebes*).

Além das perdas de solo, as perdas de nutrientes pela erosão hídrica é um dos principais fatores determinantes do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas, com consequentes aumentos em seu custo de produção e na contaminação ambiental (Schick et al., 2000; Santos et al., 2007).

A quantificação das perdas de nutrientes pode ser determinada na água da enxurrada e no sedimento (Schick et al., 2000). A concentração de nutrientes na enxurrada depende da concentração destes na camada mais superficial do solo, a qual é influenciada pela fertilidade natural e pela quantidade, pelo tipo e pela forma de aplicação dos fertilizantes e corretivos no solo (Schick et al., 2000; Bertol et al., 2003), enquanto os nutrientes perdidos no sedimento estão associados ao material erodido. Conseqüentemente, os sedimentos erodidos são os mais férteis. Os mesmos contêm altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes para as plantas em forma disponível do que o solo de origem e elevadas concentrações de fertilizante que o agricultor tenha aplicado. Para os pesquisadores Bertol et al. (2003), Bertol et al. (2007), Guadagnin et al. (2005), as perdas totais de nutrientes por erosão hídrica são resultantes da concentração destes no solo original e das quantidades totais de solo e água removidas no processo erosivo.

A importância da matéria orgânica do solo como um indicador da sustentabilidade dos sistemas agrícolas vem sendo enfatizada por pesquisadores como Bayer & Bertol, (1999), Sarah, P (2006) e Santos et al. (2009). Para os referidos autores o teor de matéria orgânica no solo expressa as relações entre as fontes de matérias orgânicas e os fatores de decomposição (solo, biota), sua influência sobre as características químicas, físicas e biológicas dos solos e a sensibilidade às práticas de manejo faz com que seja considerado um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade do solo.

Portanto, as perdas de nutrientes são determinadas pelo tipo de solo, cobertura e fertilidade, inclinação do terreno; quantidade, método e tempo de aplicação de fertilizantes; intensidade, quantidade e padrão de ocorrência de chuvas (Gascho et al., 1998), bem como pelo manejo do solo (Gilles et al., 2009; Bertol et al., 2011).

Estudos com objetivo de quantificar as perdas de matéria orgânica e nutrientes pela erosão hídrica têm-se tornado acentuado em diversas condições de uso do solo. Santos et al. (2007), ao avaliar as perdas de carbono orgânico, potássio e solo sob diferentes técnicas de manejo do solo no feijoeiro (cultivo em nível com barramentos de pedra entre cada fileira de plantio; cultivo morro abaixo; cultivo em nível com cobertura morta de palha de feijão; parcelas desmatadas e com cobertura natural) no Agreste Pernambucano, constataram que as maiores perdas de carbono orgânico e potássio ocorreram nos sistemas não conservacionistas de manejo do solo, ressaltando-se a importância dessas técnicas para aumento de produção agrícola. Para Bertol et al. (2011), as perdas totais de K, P e NH_4^+ , foram de 9,6 , 4,9 e 4,4 vezes maiores na água da enxurrada no tratamento com queima em relação o tratamento sem queima.

Segundo Putthacharoen et al. (1998), ao comparar os nutrientes removidos na colheita e na erosão, observaram maiores perdas na colheita. Os autores alertaram que no material erodido foram considerados apenas os nutrientes disponíveis ou trocáveis; caso fosse considerado o total de nutrientes do solo, arrastado no processo, as perdas por erosão ultrapassariam as ocorridas na colheita.

4.3 Práticas conservacionistas

O sistema de produção de mandioca é conduzido usualmente em sistemas convencionais de preparo do solo, muitas vezes sem o uso de técnicas conservacionistas o que faz com que agrava problemas de erosão. Devido ao lento crescimento inicial e o espaçamento amplo, ocorre demora na cobertura do solo, que permaneceu muito tempo exposto à ações erosivas podendo tornar a cultura insustentável (Albuquerque et al., 2012).

A utilização de práticas de manejo tem sido apresentada como uma opção para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola dos solos, através do contínuo aporte de resíduos orgânicos para a manutenção da estrutura do solo (Souza et al., 2006). Portanto, faz-se necessário o uso de práticas conservacionistas para a conservação do solo, com a finalidade de proteger a superfície do solo contra os agentes erosivos e preservar os teores de matéria orgânica essenciais para desenvolvimento da cultura.

O uso dos sistemas consorciados, tendo a mandioca como cultura principal, tem-se tornado uma prática de manejo bastante empregada em todo mundo. Na Colômbia, o uso do consórcio da mandioca é bastante comum com arroz sequeiro (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) (Daellenbach et al., 2005). Enquanto no Brasil, o consórcio é realizado como milho, feijão entre outras culturas (Mattos et al., 2005a, 2005b; Alves et al., 2009; Devidé et al., 2009; Silva et al., 2009; Albuquerque et al., 2012). A mandioca também vem sendo utilizada em cultivos florestais (Daronco et al., 2012; Martinotto et al., 2012).

A utilização do sistema consorciado da mandioca, quando comparado ao cultivo solteiro, apresenta diversas vantagens: aumento na produtividade por unidade de área (Mattos et al., 2005a, 2005b), proteção vegetativa do solo contra a erosão, controle das plantas daninhas (Devidé et al., 2009; Silva et al., 2009; Albuquerque et al., 2012; Martinotto et al., 2012), redução da incidência de pragas e doenças nas culturas consorciadas, proporcionando maior lucro ao pequeno produtor, além de diversificar as fontes de renda (Alves et al., 2009), e oferecer diversidade de produtos para o agricultor.

A manutenção de uma cobertura morta, por ser uma técnica simples, torna-se uma prática mais econômica para reduzir os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva, e seus estudos têm-se tornado acentuados nos últimos anos por vários pesquisadores (Ji & Unger, 2001; Rees et al., 2002; Findeling et al., 2003; Santos et al., 2009; Jordan et al., 2010; Carvalho et al., 2011; Borges, 2013; Montenegro et al., 2013). Para estes pesquisadores, a utilização da cobertura morta tem trazido vários benefícios, entre os quais: aumento da umidade do solo, proteção contra o impacto direto das gotas da chuva, redução do escoamento e da erosão hídrica, redução da temperatura do solo e menor incidência de plantas daninhas.

Santos et al. (2009) utilizaram em seu estudo cobertura morta de palha de feijão com uma densidade de $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ sob o solo, avaliando o desempenho de práticas conservacionistas sob a cultura do feijoeiro, no controle de perdas de solo e água por erosão hídrica, em Neossolo Flúvico do semiárido do Brasil, com cultivo de sequeiro. Os autores evidenciaram que o uso de cobertura morta foi capaz de reduzir a erosão do solo em relação às demais práticas e obtiveram valores próximos aos da condição com cobertura natural. Borges (2013), conduzindo experimento em campo sob cultivo de milho e diferentes práticas conservacionistas e cobertura morta de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*), com densidade de 7 Mg ha^{-1} e em laboratório na ausência e presença de cobertura morta de palha de cana-de-açúcar de densidades de 6 e 12 Mg ha^{-1} , em Argissolo Amarelo Distrófico, observaram que a cobertura morta reduziu a erosão, aumentou a infiltração da água no solo em relação ao tratamento com solo descoberto, e favoreceu ao desenvolvimento do milho em regime de sequeiro. Já Carvalho et al. (2011) utilizaram cobertura morta com densidade de 13 Mg ha^{-1} de capim elefante para diferentes intervalos de irrigação sobre a produtividade do repolho em vale aluvial no semiárido, constatando que no intervalo de irrigação de doze horas houve maior eficiência do uso da água e maior produtividade de repolho, quando comparado aos demais tratamentos, permitindo ao agricultor maior rentabilidade.

Mulumba & Lal (2008) utilizaram cobertura morta para avaliar as propriedades físicas de um Luvisso na Colômbia, sob diferentes densidades de palha de trigo de 0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha^{-1} , podendo verificar que a cobertura morta aumentou a porosidade total, estabilidade dos agregados, e a retenção de água do solo. Para os autores, a densidade de cobertura de 4 Mg ha^{-1} aumentou a porosidade do solo e a densidade de 8 Mg ha^{-1} , e proporcionou maior retenção da umidade e estabilidade dos agregados. Para Jordán et al. (2010), apenas $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de cobertura morta de palha de trigo contribuiu para uma redução na geração de escoamento e perdas de solo em relação ao solo descoberto, utilizando diferentes densidades de cobertura morta durante 3 anos em regiões semiáridas no sul da

Espanha, sob condições de chuva simulada. De forma geral, pode-se melhorar as características físicas e químicas do solo, reduzindo o escoamento superficial e a erosão hídrica. Já Gabriel Filho et al. (2000), ao avaliar as alterações em algumas propriedades físicas do solo e na produtividade de raízes de mandioca no estado do Paraná, em condições de quatro tipos de cobertura vegetal do solo (aveia, ervilhaca, aveia em consórcio com ervilhaca e solo em pousio em cultivo mínimo e preparo convencional), ressaltaram que o cultivo mínimo pode substituir o preparo convencional do solo. Nessas condições, diminuem-se os custos de implantação da lavoura na cultura da mandioca.

A eficiência da cobertura morta também foi comprovada por Montenegro et al. (2013), estudando a importância do restolho na conservação da água e do solo, em solo de região semiárida do Alentejo, Sul de Portugal. Os pesquisadores simularam chuvas sequenciais de diferentes intensidades e padrões utilizando diferentes densidade de cobertura morta de 4 Mg ha⁻¹ e 8 Mg ha⁻¹ de palha de arroz sobre o solo. Obtiveram uma redução de 79% pico do transporte sólido com a menor densidade de cobertura, enquanto para maior densidade de cobertura foi de 90%. Logo se conclui que uso da palha de arroz como cobertura morta forneceu aumento da taxa de infiltração, proteção contra o impacto direto das gotas da chuva, redução da erosão hídrica, redução da temperatura e melhoria na gestão dos recursos hídricos.

4.4 Simuladores de chuvas

Os simuladores de chuva têm sido utilizados como ferramentas de investigação para estudo de campo e laboratório, caracterizando os processos de infiltração, escoamento, erosão, transporte de nutrientes e poluentes em bacias hidrográficas, sendo também usados para medir os impactos da consolidação da revegetação e índice de erodibilidade (Aksoy et al., 2012).

Segundo Aksoy & Kavvas (2005), o simulador de chuva pode produzir dados exclusivos que são vitais para calibração e validação de modelos empíricos, conceituais ou baseados em processos chuva-escoamento de sedimentos.

Para Bubenzer & Meyer (1979), citados por Montebeller et al. (2001), o uso desses equipamentos torna-se necessário na obtenção de dados de escoamento superficial e de erosão, em curtos períodos de tempo. Além do que, devem ser o mais portátil possível, quando a finalidade é o trabalho em campo.

Montebeller et al. (2001) concluíram que, para uma chuva produzida por um

simulador seja considerada satisfatória, a mesma deve apresentar uma relação entre a energia cinética da precipitação simulada e a da chuva natural acima de 75%, além de coeficiente de uniformidade de distribuição acima de 80%.

Desta forma, as características desejáveis para chuvas simuladas, utilizadas em estudos hidrológicos, incluem a intensidade da chuva, uniformidade sobre a parcela de ensaio, o tamanho da gota, e sua velocidade de distribuição. Também importante é o controle preciso da semelhança com chuva natural em termos de energia cinética; repetibilidade ao aplicar a mesma chuva simulada, e melhor confiabilidade mecânica e técnica, além de facilidade no transporte (Clarke & Walsh, 2007).

Santos et al. (2009) utilizaram um simulador de chuva com bico oscilante do tipo “Veejet 80-100”, com intensidade constante de 60 mm h^{-1} e coeficiente de uniformidade de 86%, sobre parcelas experimentais de 3 m^2 , para avaliar a influência de práticas conservacionistas nas perdas de água e solo por erosão hídrica, no Agreste Pernambucano obtiveram uma redução nas perdas de solo de 86,91% na parcela com cobertura morta em relação à parcela sem cobertura, com valores próximos aos da condição natural.

Silva et al. (2005) utilizando quatro baterias de testes correspondentes às intensidades de precipitação de 60; 80; 100 e 120 mm h^{-1} utilizando um simulador de chuvas de braços rotativos equipado com bocais VeeJet 80.100, conforme o modelo Swanson (1965) encontraram maiores valores de perda de solo para as menores intensidades de precipitação em decorrência dessas estarem associadas a maiores durações e, conseqüentemente, maiores lâminas precipitadas.

Montenegro et al. (2013) verificaram que a colocação de palha sobre o solo foi tão mais eficaz quanto maior foi a intensidade da chuva. Os resultados mostraram uma diminuição do transporte sólido total nas três chuvas, de aproximadamente 82% e 92%, quando foram aplicadas as coberturas de 4000 kg ha^{-1} e 8000 kg h^{-1} , ao usarem um simulador de chuva composto por um sistema hidráulico pressurizado, com o bico aspersor constituído por um manômetro e por um nebulizador de cone preenchido (3/8 HH *FullJet da Spraying Systems Co.*), para chuva sequenciais de diferentes intensidades médias e padrões de 57, 84 e 112 mm h^{-1} e diferentes condições de uso do solo em estudos de conservação da água e do solo, em laboratório, em Coimbra- Portugal.

Já Bertol et al. (2012) verificaram que os valores de intensidade da chuva simulada tiveram correlação linear e positiva com os valores de pressão exercida pela água no manômetro no simulador de chuva “Tipo Empuxo”, que produziu chuva de várias

intensidades, com características semelhantes ao modelo Swanson, no entanto com menor peso e eliminando a necessidade de uso de um motor a gasolina.

4.5 Intensidade da precipitação

A intensidade da chuva pode ser entendida como uma coluna de água em mm, por um intervalo de tempo, usualmente em horas. Quando esta intensidade excede a capacidade de infiltração de água no solo se inicia o escoamento superficial, ou seja, uma chuva de maior intensidade implica em uma maior disponibilidade de energia cinética para iniciar o processo da erosão (Alves, 2007).

Segundo Carvalho et al. (2002), a dissipação da energia cinética no momento em que a gota d'água atinge o solo promove a quebra da estrutura do solo e a disponibilidade do mesmo para ser transportado em suspensão ou em arraste. A capacidade de transporte em suspensão ou em arraste depende da velocidade de escoamento e do momento decorrente da lâmina de escoamento. Em consideração ao aumento da lâmina precipitada, maiores quantidades de escoamento, naturalmente, são gerados e depois de certo tempo com a concentração do escoamento superficial pode-se observar o aumento da capacidade de transporte (Carvalho et al., 2002).

As precipitações caracterizadas pela alta intensidade inicial têm grande capacidade de desagregação de partículas, devido à maior energia cinética aplicada no início do evento. A alta intensidade tende a provocar quebra de agregados e rápida formação de encrostamento provocando, conseqüentemente, diminuição das taxas de infiltração. Com a continuidade da chuva, mesmo para baixas intensidades, pode-se observar a formação de escoamento superficial. Já as precipitações com intensidade máxima ocorrendo no final de sua duração, as quais são características de perfil de precipitação atrasado, conferem as maiores taxas de perdas de água e solo, pois a ocorrência da maior intensidade coincide quando o solo está com elevada umidade, o que favorece a desagregação, o encrostamento superficial e o transporte de maior quantidade de partículas de solo (Eltz et al., 2001; Oliveira et al., 2010).

Para Santos et al. (2009) e Borges (2013), a utilização de simuladores de chuva tem sido bastante abordada nos estudos de erosão, que pode-se trabalhar com intensidades de chuva constantes. As chuvas de intensidades constantes têm sido úteis para avaliar-se a infiltração, escoamento, erosão, perdas de nutrientes e índice de erodibilidade tanto em campo ou em laboratório. No entanto, a utilização de chuvas de intensidades variáveis tem

representado com maior fidelidade as chuvas naturais, uma vez que estas podem simular as características ou os padrões de precipitação (variação da intensidade durante a sua ocorrência), como apresentado por Carvalho et al. (2002) e Oliveira et al. (2010). Diante dessas observações, pesquisadores como Bertol et al. (2012) desenvolveram simulador de chuva “Tipo Empuxo”, para produzirem chuva de várias intensidades. Já Pérez-Latorre et al. (2010) construíram dois simuladores de chuva com intensidade de precipitação variável. Montenegro et al. (2013) moviam a estrutura de suporte do simulador de chuva ao longo do eixo dos carris para determinação de chuva sequenciais de diferentes intensidades e padrões em estudos em Coimbra- Portugal. Enquanto Silva et al. (2005) fizeram quatro baterias de testes variando às intensidades de precipitação.

Para Alencar et al. (2006), a intensidade de precipitação é uma variável que tem maior influência na ocorrência de escoamento superficial, até mesmo do que a precipitação antecedente. Esses autores observaram tal fato ao estudarem, durante um período de seis anos, variáveis relacionadas à precipitação, tais como: precipitação antecedente, intensidade de precipitação e as interações entre essas variáveis, na microbacia do córrego Capetinga, no Distrito Federal.

4.6 Características hidráulicas do escoamento superficial

O escoamento superficial consiste no deslocamento do fluxo de água sobre a superfície do solo, e tem importante papel no processo erosivo, por remover e carregar as partículas de solo (GriebeleR et al., 2001).

A partir do conhecimento da ocorrência da lâmina de escoamento, Merritt (1984) identificou quatro estágios no desenvolvimento do regime do escoamento: O primeiro estágio de escoamento difuso foi classificado de escoamento laminar, com o número de Reynolds (Re) = 100. O segundo estágio, embora o escoamento já se tenha concentrado em diminutos canais de ocorrência casual e tenha ocorrido aumento da rugosidade, o regime também foi laminar, com o número de Reynolds = 180. No terceiro e quarto estágios, o escoamento já se concentrou em canais bem definidos, embora muito pequenos, com números de Reynolds, respectivamente, de 460 e 840, caracterizando o regime de transição. No quarto estágio, os sulcos apresentam incisões, processo denominado por erosão regressiva, que é favorecido pelo escoamento nas laterais dos sulcos.

Neste contexto é importante conhecer as variáveis hidráulicas do escoamento: velocidade média do escoamento, altura e descarga líquida, viscosidade cinemática da água, rugosidade e os números de Reynolds (R) e Froude (F). O primeiro relaciona a magnitude das forças de inércia com as forças viscosas, enquanto o número de Froude (F) relaciona as forças de inércia com os efeitos das forças gravitacionais (Simons & Senturk, 1992).

O conhecimento das características hidráulicas do escoamento, como subsídio na determinação da capacidade de desagregação tem sido abordado por diversos pesquisadores, na forma de erosão laminar e sulcos. Para Polyakov & Nearing (2003) e Bezerra et al. (2010), as características hidráulicas foram avaliadas em sulcos num Argissolo distrófico e em um Cambissolo Háplico no sertão Pernambucano.

As condições de erosão laminar foram avaliadas por Cassol et al. (2004), em um Argissolo Vermelho distrófico típico no Rio Grande do Sul. Santos et al. (2009) determinaram as características hidráulicas em Neossolo Flúvico cultivado com feijão e uso de práticas conservacionistas no semiárido Pernambucano. Para os autores Bezerra & Cantalice (2006) e Freitas et al. (2008), as características hidráulicas foram avaliadas sob condições de cultivo de cana-de-açúcar e sobre diversos cultivos agrícolas (feijão-guandu, batata-doce) e solo descoberto no semiárido Pernambucano. Para os autores supracitados, a desagregação e o transporte das partículas do solo se dão pela ação das forças hidráulicas provocadas pelo escoamento superficial.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área experimental

5.1.1 Localização

O experimento foi conduzido no Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia no Município de Cruz das Almas – BA, geograficamente situado nas coordenadas: latitude $12^{\circ} 40' 19''$ S e longitude $39^{\circ} 06' 23''$ W, a 220 m de altitude (Figura 1).

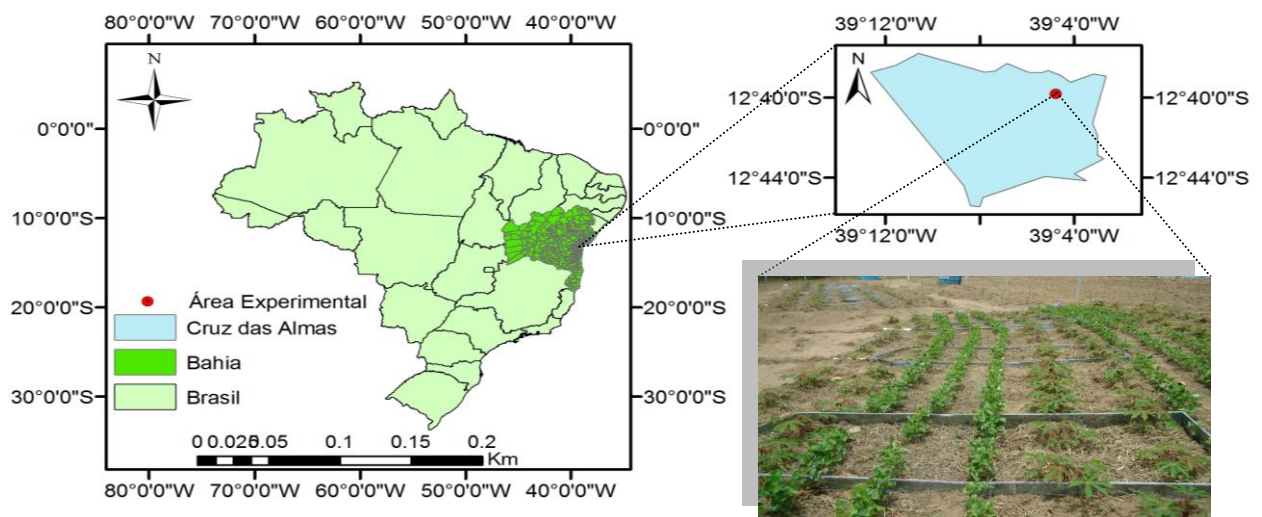


Figura 1. Localização da área experimental no município de Cruz das Almas- Bahia, Brasil.

5.1.2 Classificação climática

O clima da região é do tipo Aw (tropical quente e úmido, com estação chuvosa e seca), de acordo com a classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais de $24,5^{\circ}$ C e umidade relativa de 80%. A precipitação total média anual do Município de Cruz das Almas é de 1.170 mm, com variações entre 900 e 1.300 mm, sendo os meses de março a agosto os mais chuvosos e de setembro a fevereiro os mais secos (Almeida, 1999).

5.1.3 Características físicas e químicas do solo

O solo da área experimental é classificado de acordo com a EMBRAPA (2006) como Latossolo Amarelo álico coeso, de textura franco argilo-arenoso, solo profundo que apresenta horizontes subsuperficiais coesos e com relevo plano (Rezende, 2000).

Para caracterização físico-química do solo da área de estudo, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm para determinação dos seguintes atributos físicos: textura (método da pipeta), densidade do solo (D_s - método do anel volumétrico), densidade das partículas (D_p - método do balão volumétrico), argila dispersa em água (ADA - método do densímetro), grau de floculação (Gf), umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), macroporosidade (Macp), microporosidade (Micp) pelo método da mesa de tensão, porosidade total do solo (Pt), condutividade hidráulica (K_0) e percentagem de agregados (oscilador vertical). Já para caracterização química do solo, foram considerados os atributos empregados na avaliação da fertilidade do solo, os quais foram determinados nos laboratórios de física e química da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia de acordo com a metodologia da EMBRAPA, (2006). Verificam-se nas Tabelas 1, 2 as características físico-químicas e classe de agregados do solo da área experimental.

Tabela 1. Características físico-químicas do Latossolo Amarelo álico coeso da área experimental, experimental nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade.

Camadas (cm)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	ADA (%)	Gf (%)	Macp. (m ³ m ⁻³)	Micp. (m ³ m ⁻³)	Pt* (%)	θ_{cc} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{pmp} (cm ³ cm ⁻³)	D_s (g cm ³)	D_p (g cm ³)	K_0 (cm h ⁻¹)	Classe textural
0-20	535	245	220	7,16	67,45	0,17	0,21	0,38	0,18	0,1	1,46	2,38	0,16	Franco Argilo Arenoso
20-40	700	52	248	7,16	71,13	0,2	0,21	0,41	0,17	0,16	1,49	2,53	5,49	Franco Argilo Arenoso
Camadas (cm)	pH H ₂ O			Cmolc kg ⁻¹				P (mg dm ⁻³)			N	M.O	C	
0-20	5,1	0,3	0,1	1,35	9,08	0,9	2,9	2,16	5,56	7,24	4,2			
20-40	4,9	0,2	0,2	0,92	3,55	0,9	3,3	1,35	5,33	7,15	4,15			

Tabela 2. Distribuição de classes de agregados e diâmetro médio geométrico (DMG) do Latossolo Amarelo álico coeso da área experimental, Cruz das Almas-BA.

Camadas (cm)	Classe de tamanho dos agregados (%)					DMG mm
	2	1	0,5	0,25	<0,25	
0-5	16,99	19,59	30,17	18,47	14,78	1,45
5-10	12,03	18,51	33,05	19,43	16,97	1,22
10-20	7,46	16,54	35,11	21,17	19,72	0,99
20-30	6,17	11,77	29,07	24,11	28,89	0,83
30-40	5,53	22,12	32,30	23,51	16,54	0,96

As amostras para determinação da curva de retenção de água do solo foram retiradas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade. As amostras foram coletadas em anéis metálicos com três repetições, pela câmara de pressão de Richards (Richards, 1965), no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, conforme a metodologia da EMBRAPA (2006). A umidade do solo, na base de volume, foi obtida para as tensões de -10; -33; -100; -500 e -1500 kPa. As curvas foram ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980) (Equação 1), utilizando o programa Soil Water Retention Curve. Pode-se verificar na Figura 2 as curvas de retenção de água do solo obtida da área experimental, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

$$\theta_v = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha|\psi_m|)^n\right]^m} \quad (1)$$

em que:

θ_v é a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

ψ_m é a tensão matricial da água no solo (kPa);

θ_r é a umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s é a umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

m e n são parâmetros empíricos, sendo n dependente de m.

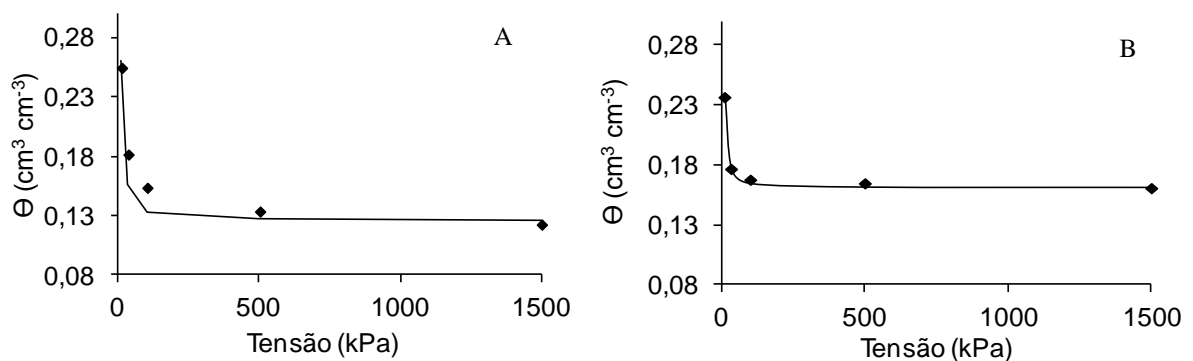


Figura 2. Curvas de retenção para Latossolo Amarelo Álico Coeso, nas camadas de 0-20 (A) e 20-40 (B) cm de profundidade.

5.2 Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado no período de setembro a novembro de 2012, numa área experimental de 240 m² e 7% de declividade do solo, sob condições de chuva simulada. Para realização deste estudo, inicialmente foi efetivado o preparo do terreno com limpeza para remoção da vegetação existente, seguido do preparo convencional do solo (uma aração efetuada com arado de três discos a 30 cm de profundidade e uma gradagem). Após o preparo do solo, foram demarcadas as curvas de nível para realização do plantio da mandioca consorciada com feijão.

A cultivar de mandioca foi a Cigana preta BGM 116, das quais foram disponibilizadas 200 manivas de 15 cm de comprimento com 3 a 6 gemas do campo de multiplicação da Embrapa Mandioca e Fruticultura de Cruz das Almas – BA. Trata-se de uma cultivar que teve sua origem na cidade de Lagarto, semiárido do Estado de Sergipe, com porte semi-precoce, recomendada para colheitas entre 12 a 18 meses de idade.

A cultivar de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) utilizada para o consórcio foi a BRS Xiquexique, produzida no Sertão do Moxotó em Ibimirim-PE, da safra de 2011. As sementes utilizadas neste estudo foram provenientes do IPA (Instituto Agrônomo de Pernambuco).

5.3 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido com quatro tratamentos: Mandioca morro abaixo (MMA), mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM), mandioca em nível consorciada com feijão e cobertura morta (MN+F+CM) e mandioca em nível consorciada com feijão (MN+F) e três repetições distribuídos ao acaso, no delineamento inteiramente casualizado em parcelas experimentais de 3 m² (Figura 3). Foram instaladas na área de estudo doze parcelas experimentais de erosão de 3 m² (1 m x 3 m), apresentando o comprimento maior obedecendo o sentido do declive, construídas por chapas metálicas com 0,20 m de altura, sendo cravados 0,10 m no solo. Na parte inferior das parcelas foi conectado tubo de PVC 75 mm de diâmetro para coleta da enxurrada.

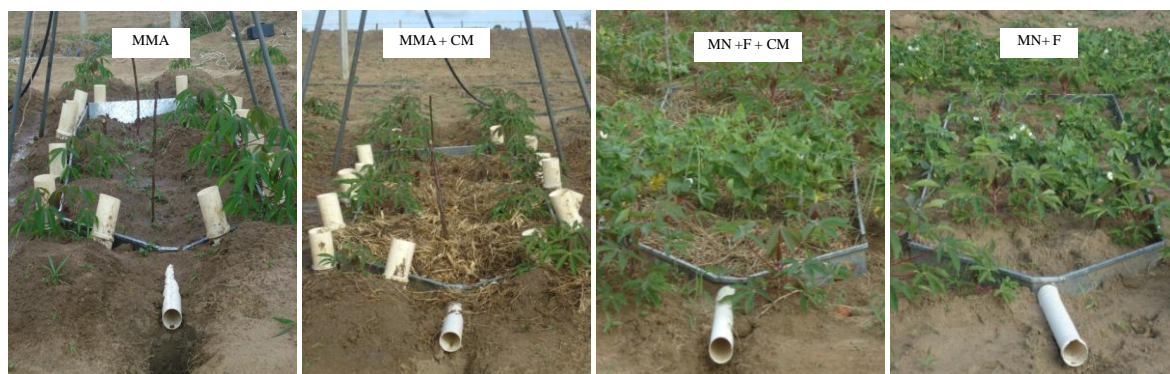


Figura 3. Parcelas experimentais com seus respectivos tratamentos: mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão e cobertura morta (MN+F+CM) e mandioca em nível consorciada com feijão (MN+F).

No tratamento mandioca morro abaixo (MMA), as manivas foram plantadas no sistema de covas invertidas na horizontal em uma área total de 45 m² abrangendo um total de 60 plantas, constituída de dez fileiras com 10 m de comprimento, espaçadas de 0,9 x 0,9 m em fileiras simples no sentido do declive do terreno, representando técnicas como os agricultores cultivam na região. Foram amostradas 6 plantas em área útil de 3 m² das parcelas de erosão, desprezando-se as fileiras alternadas e as cabeceiras.

O segundo tratamento, representado por mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM), foi plantado similar ao tratamento MMA, inserindo uma adubação orgânica de 15 ton ha⁻¹ de esterco bovino e cobertura morta de capim (*Brachiaria decumbens*) seco ao ar, com densidade de 8 Mg ha⁻¹, que foi obtido a partir da limpeza realizada na área experimental.

O terceiro tratamento constou de mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM), que foram cultivadas em uma área total de 51 m², seguindo as curvas de nível. Neste tratamento também foi aplicada adubação com as mesmas proporções do tratamento MMA+CM. O plantio da mandioca foi realizado em fileira dupla (2 m x 0,6 m x 0,6 m) consorciada com feijão-caupi (BRS Xiquexique) semeado com 12 sementes por metro linear em sulcos de 5 cm de profundidade, espaçados de 0,5 m x 0,2 m. Após a brotação da mandioca foi aplicada a mesma proporção de cobertura morta do tratamento MMA+CM.

Por último, foi realizado o tratamento de mandioca em nível consorciada com feijão (MN+F). Seguiram-se as mesmas condições da MN+F+CM no plantio da cultura, porém sem o uso da cobertura morta.

Os teores de N, P, K e MO (matéria orgânica) do esterco bovino utilizado como adubação orgânica para os tratamentos de MMA+CM, MN+F+CM e MN+F foram

determinados conforme a metodologia descrita pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento realizado pelo Laboratório de Análises Ambientais e Produtos Alimentícios (Tabela 3).

Tabela 3. Teores químicos de N, P, K e MO do esterco bovino utilizado na área experimental.

Teores Químicos	Quantidade (%)
N	0,77
P	0,93
K	0,42
MO	18,73

5.3.1 Evapotranspiração de referência

Para a estimativa da evapotranspiração de referência utilizou-se a equação de Penman-Monteith modificada pela FAO (Allen et al., 1998), sendo os dados climáticos disponibilizados pelo INMET para a Estação Meteorológica de Cruz das Almas, Bahia, conforme Equação 2:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (2)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência mm d⁻¹;

R_n = saldo de radiação líquida, MJ m⁻² d⁻¹;

G = fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹;

T = temperatura do ar, °C;

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a = pressão de vapor real do ar, kPa;

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor, kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹;

γ = constante psicrométrica, kPa °C⁻¹.

Para determinação do coeficiente de cultivo (K_c) para o período fenológico da cultura da mandioca e do feijão, adotou-se a metodologia sugerida por Allen et al. (1998). Os K_c s para a mandioca foram de 0,3 (fase inicial, correspondente à brotação) e 0,8 (fase de desenvolvimento vegetativo e engrossamento das raízes). Já para a cultura do feijão, foram: 0,4; 0,75 e 1,05 para o estágio inicial, desenvolvimento e intermediário, respectivamente. A estimativa da evapotranspiração da cultura é calculada conforme a equação 3:

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad (3)$$

em que,

ET_c = evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1} ;

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} ;

K_c = coeficiente de cultivo.

5.3.2 Estimativa das intensidades e durações das chuvas

A determinação das intensidades e durações das chuvas simuladas foram obtidas a partir da equação da intensidade-duração-frequência (IDF) para a região de Cruz das Almas-BA. Os parâmetros empíricos da equação IDF foram obtidos com auxílio do software Plúvio versão 2.1 (Figura 4), disponível no site da Universidade Federal de Viçosa, com visualização in loco dos parâmetros para calcular a intensidade de chuva para região.

Os tempos de retorno para as três diferentes chuvas simuladas foram de 2, 5 e 30 anos, com intensidades respectivamente de 62 mm h^{-1} (duração 40 min), 90 mm h^{-1} (duração 30 min) e chuva de intensidade variável de 40 mm h^{-1} (duração 90 min) seguido de aumento da intensidade para 90 mm h^{-1} (duração 30 min). As escolhas desses tempos de retorno foram de modo a representar chuvas de baixo (2 anos), média (5 anos) e alto (30 anos) tempo de retorno para a agricultura, uma vez que o período de retorno comumente utilizado para projetos na área agrícola é de 10 anos, assumindo riscos de falha ou ruptura na estrutura de controle.

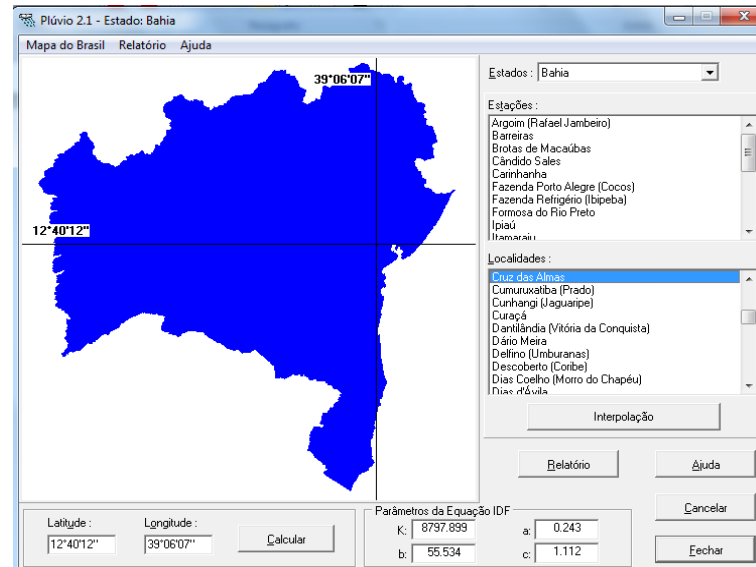


Figura 4. Tela do programa Plúvio, para obtenção dos parâmetros empíricos da equação de IDF, para o município de Cruz das Almas, Bahia.

Após a determinação dos parâmetros empíricos da equação de IDF, foram calculadas as intensidades de chuva pela equação de chuva intensa proposta por Chen (1983), equação 4:

$$i = \frac{(K * TR^a)}{(t + b)^c} \quad (4)$$

em que:

i-é a intensidade máxima média de chuva (mm h^{-1})

TR- tempo de retorno (anos)

t- é o tempo de duração da chuva (min)

k, a, b, c- parâmetros relativos à localidade.

5.3.3 Aplicação do fator chuva simulada

As intensidades de chuva consideradas para realização das chuvas simuladas foram:

A primeira chuva simulada de intensidade constante de 62 mm h^{-1} e duração de 40 minutos, totalizando uma lâmina de 41 mm, associada a uma pressão de 15 kPa, foi aplicada 22 dias após o plantio, correspondendo à fase de brotação da mandioca e crescimento do feijão.

A segunda chuva simulada com intensidade de 90 mm h^{-1} e duração de 30 minutos, com uma lâmina de 45 mm para uma pressão de 60 kPa. Foi realizada 30 dias após o plantio, correspondendo à fase de brotação da mandioca e crescimento do feijão.

Por último, a terceira chuva simulada de intensidade de chuva variável, com chuva inicial de menor intensidade e longa duração (intensidade de 40 mm h^{-1} e duração de 90 minutos) e na sequência outra de maior intensidade e curta duração (intensidade de 90 mm h^{-1} e duração de 30 minutos), correspondente a um perfil de precipitação atrasado, para as respectivas pressões de 5 e 60 kPa, a qual foi aplicada 57 dias após o plantio, compreendendo a fase de crescimento para a mandioca e floração para a cultura do feijão.

5.3.4 Calibração do simulador de chuvas

Utilizou-se um simulador de chuva desenvolvido por Santos (2006), com um bico aspersor tipo “Veejet 80-100”, localizado no centro da armação, a 2,87 m de altura do solo, e com um manômetro na torre. O simulador era abastecido por uma bomba submersa modelo 650 MB com saída de $\frac{3}{4}$ colocada em um reservatório de água de 3.000 L. Foram distribuídos entorno da parcela 14 pluviômetros com área de captação de $78,54 \text{ cm}^2$, distando um do outro 0,6 e 0,4 m, respectivamente na direção longitudinal e transversal (Figura 5).



Figura 5. Calibração do simulador de chuva para área da parcela experimental.

O simulador de chuva foi calibrado em campo para área 3 m^2 , delimitada por chapas metálicas. A equação de calibração do simulador de chuva está presente na Figura 6.

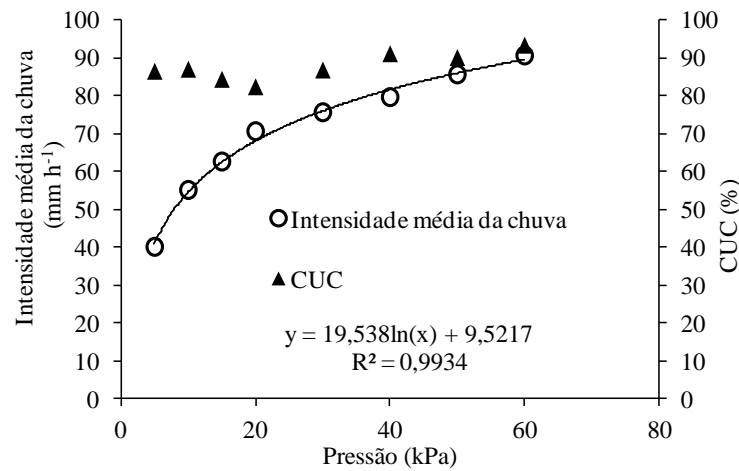


Figura 6. Relação entre intensidade média da chuva (mm h^{-1}), e coeficiente de uniformidade (%) em função da pressão de serviço (kPa)

Os testes para calibração do simulador de chuvas simulada consistiram de duas repetições e duração de 10 minutos, para as pressões de 5 até 60 kPa, totalizando oito testes de chuva, com objetivo de determinar a pressão de serviço capaz de atingir as intensidades desejadas de 40, 62 e 90 mm h^{-1} . Após cada teste realizado, foram medidos os volumes dos 14 pluviômetros distribuídos na área 3 m^2 em proveta, e determinada intensidade da precipitação conforme a equação 5:

$$I = \frac{(V_{pl} / A_{pl})}{t} \quad (5)$$

em que:

I- intensidade média da chuva (mm h^{-1});

V_{pl} - volume médio dos 14 pluviômetros (ml ou cm^3);

A_{pl} - área dos pluviômetros (cm^2);

t- tempo total de duração do teste (h).

A uniformidade de distribuição das chuvas foi calculada utilizando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (1942), equação 6:

$$\text{CUC} = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right) \quad (6)$$

em que:

CUC- coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

X_i - lâmina precipitada em cada coletor (mm);

\bar{X} - lâmina média precipitada (mm);

n- número de coletores.

5.3.5 Avaliação das características hidráulicas do escoamento superficial

A velocidade do escoamento superficial foi obtida pela cronometragem do tempo gasto para um corante azul percorrer uma distância de 2 m entre dois pontos fixos na parcela (Figura 7). A determinação da velocidade foi realizada em intervalos de 3 minutos, ao mesmo tempo em que se coletava a enxurrada, a partir da formação e deslocamento da lâmina de escoamento.



Figura 7. Distância entre dois pontos para percorrer o corante em parcela experimental

Os valores da velocidade do escoamento superficial foram multiplicados por um fator de correção ($\alpha = 2/3$), para obtenção da velocidade média do escoamento, em $m s^{-1}$, conforme Farenhorst & Bryan (1995) e Katz et al. (1995). A altura da lâmina do escoamento (h) foi obtida pela equação 7:

$$h = \frac{q}{V} \quad (7)$$

em que:

q= descarga líquida total por unidade de largura em ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$);

V= velocidade média do escoamento (m s^{-1});

h = altura da lâmina de escoamento (m).

A descarga líquida por unidade de largura (q) foi determinada pela medição do volume da enxurrada coletado na extremidade da calha coletora em proveta, durante os 10 s, e dividido pela largura da parcela, para ser expressa em $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$.

A viscosidade cinemática da água foi determinada pela utilização da equação 8, segundo Julien (1995), sendo a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) aferida por meio de um termômetro em cada teste.

$$\nu = \left(1,14 - 0,031(T - 15) + 0,00068(T - 15)^2\right) \times 10^{-6} \quad (8)$$

em que:

ν = viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$);

T= temperatura da água em $^{\circ}\text{C}$.

O número de Reynolds (Re) foi obtido pela equação 9:

$$\text{Re} = \frac{Vh}{\nu} \quad (9)$$

em que:

Re= número de Reynolds, adimensional;

V= velocidade média do escoamento (m s^{-1});

h= altura do escoamento (m)

ν = viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

Para o número de Froude (Fr), foi adotada a equação 10:

$$\text{Fr} = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (10)$$

em que:

Fr= número de Froude, adimensional;

V= velocidade média do escoamento (m s^{-1});

g= aceleração da gravidade (m s^{-2});

h= altura do escoamento (m).

A partir dos números de Reynolds e Froude, foi identificado o regime dos escoamentos gerados pelas chuvas simuladas.

A rugosidade foi determinada pelo coeficiente de Manning (n), conforme Braida & Cassol (1999) (equação 11).

$$n = \frac{h^{5/3} S^{1/2}}{q} \quad (11)$$

em que:

n é o coeficiente de rugosidade de Manning ($\text{s m}^{-1/3}$);

h é a altura da lâmina de escoamento (m);

q é a descarga líquida por unidade de largura ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$);

S é o declive da parcela (m m^{-1}).

5.3.6 Avaliação da perda de água

A partir da determinação da quantidade do volume da enxurrada, foi determinada a perda de água conforme a expressão da equação 12:

$$PA = \left(\frac{L_{es}}{L_{ppt}} \right) * 100 \quad (12)$$

em que:

PA= perda de água (%)

L_{es} = lâmina escoada (mm)

L_{ppt} =lâmina total precipitada (mm)

5.3.7 Avaliação das taxas de desagregação e perdas de solo

A partir da determinação da quantidade dos sedimentos, foram avaliadas as taxas de desagregação do solo (D) ($\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$) conforme a expressão da equação 13:

$$D = \frac{M_{ss}}{A_p * D_c} \quad (13)$$

em que:

D= taxa de desagregação do solo ($\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

M_{ss} = massa do solo seco desagregado (kg);

A_p = área da parcela (m^2);

D_c = duração da coleta em (s)

Por fim, as perdas de solo foram obtidas através da seguinte equação:

$$P_s = \frac{\sum(Q * C_s * t_c)}{A_p} \quad (14)$$

em que:

P_s = perdas de solo (kg ha^{-1});

Q= vazão (L s^{-1});

C_s = concentração de sedimento (kg L^{-1});

t_c = intervalo entre as coletas (s);

A_p = área da parcela (m^2).

5.3.8 Estimativa da energia cinética

A energia cinética das precipitações aplicadas pelo simulador de chuvas foi determinada segundo as equações(15) e (16), propostas por Wischmeier & Smith (1958).

$$E_c = (17,124 + 5,229 \log I) L_t \text{ para } I < 76 \text{ mm h}^{-1} \quad (15)$$

$$E_c = (17,124 + 5,229 \log 76) L \text{ para } I \geq 76 \text{ mm h}^{-1} \quad (16)$$

em que:

E_c = energia cinética chuva natural, J m² mm⁻¹ de chuva;

I = intensidade de precipitação, mm h⁻¹

L_t = lâmina total precipitada, mm.

Para conversão da energia cinética da chuva natural para chuva simulada foi utilizado um coeficiente igual a 0,78, conforme recomendado por Young & Burwell (1972).

5.4 Determinação das concentrações dos sedimentos e nutrientes na enxurrada

As coletas da enxurrada foram realizadas na parte inferior da calha coletora, em intervalos de 3 minutos, com duração de 10 segundos (Figura 8). Foram utilizadas provetas graduadas de 1.000 mL, e posteriormente o volume era armazenado em potes plásticos de 500 e 1.000 mL. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Água e Solos da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.



Figura 8. Coleta da enxurrada com auxílio de proveta graduada em parcela experimental.

Em laboratório, foi realizada a pesagem do material coletado na enxurrada nos potes plásticos; após pesagem, foram mantidos em repouso por 24 horas, o sobrenadante foi pipetado, e separado do material sólido restante no fundo dos recipientes. Os potes foram levados para secagem em estufa a 65° C, durante 72 horas, sendo em seguida pesados com o solo (Cogo, 1978). As massas do solo das três repetições de cada tratamento foram compostas e submetidas à análise química de nutrientes: cálcio, magnésio, fósforo, potássio e carbono, conforme a metodologia da EMBRAPA (2006).

Os sobrenadantes das amostras foram armazenados em garrafas de 200 mL para posterior determinação dos nutrientes solúveis. As garrafas foram acondicionadas em geladeira a 4 °C até a determinação dos teores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio segundo a Metodologia da Embrapa (2006). Inicialmente procedeu-se à filtração da água da enxurrada em filtro com diâmetro de 8,0 cm e velocidade de filtração média, de acordo com procedimento e justificativa descritos em Barbosa et al.(2009). As análises foram realizadas no Laboratório de Água e Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

As perdas totais dos nutrientes nos sedimentos (kg ha^{-1}) foram calculadas pelo produto entre as concentrações dos elementos nos sedimentos e a massa total perdida por unidade de área. As perdas totais dos nutrientes na água da enxurrada foram obtidas multiplicando-se os seus teores na água pelo volume total de água escoado por unidade de área.

5.5 Calibração do equipamento Hydrosense e determinação da umidade do solo

Utilizou-se o equipamento Hydrosense II modelo CD 660 fabricado pela Campbell Pty. Ltd, que possui duas hastes de 12 cm de comprimento com 4,7 mm de diâmetro e um GPS, que consiste de uma sonda com o princípio de funcionamento da reflectometria no domínio do tempo (TDR), a qual fornece o conteúdo volumétrico em percentual de água do solo em um período de milissegundos.

A calibração do equipamento foi conduzida *in situ*, onde foram feitas microbacias de retenção em diversos pontos da área experimental, nas quais se colocou a mesma quantidade de água para medir conteúdo de água no solo; posteriormente foram realizadas as leituras do conteúdo de água do solo dentro e fora das microbacias, representando as condições de solo úmido e seco (Figura 9). Além das leituras, foi coletado um total de 20 amostras deformadas no solo úmido e seco nas mesmas profundidades das leituras com o equipamento, para determinar a umidade gravimétrica. As amostras foram identificadas e conduzidas ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Após calibração do equipamento Hydrosense, a umidade do solo foi determinada antes e depois das chuvas simuladas.

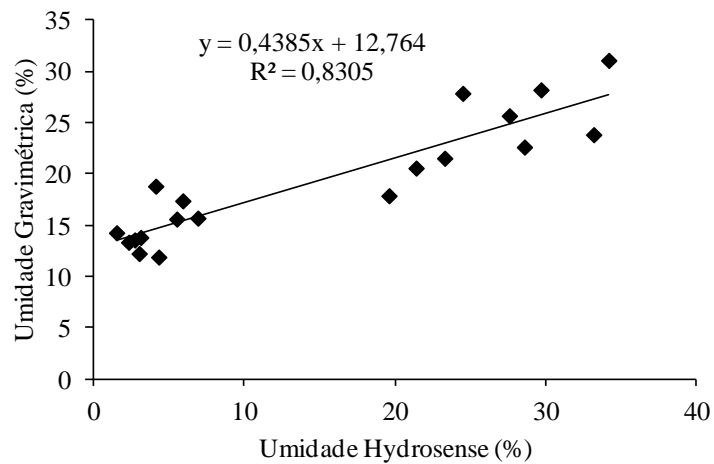


Figura 9. Equação de calibração do Hydrosense para a profundidade de 12 cm.

5.6 Percentagem de cobertura vegetal

A porcentagem de cobertura do solo foi determinada pelo método de Mannering, descrito por Bezerra & Cantalice (2006), estudado por Santos et al. (2009). Este método consiste na utilização de uma projeção fotográfica de uma moldura de 76 cm de largura por 51 cm de comprimento, a qual foi montada sobre uma área representativa das parcelas (Figura 10); posteriormente foram tiradas fotografias do solo tomadas aos 22, 30 e 57 dias após o plantio, durante 57 dias do cultivo da mandioca, enquadrando-se a moldura no visor da câmera digital. Depois de tiradas as fotografias, as molduras fotografadas foram projetadas em um quadro padrão (Figura 11), sendo contado cada ponto de intersecção na cobertura vegetal da superfície (copa/resíduo). O método possui 50 pontos de intersecção, sendo que cada ponto de intersecção representa 2%. A partir da soma da contagem das intersecções determina-se a porcentagem total de cobertura vegetal.

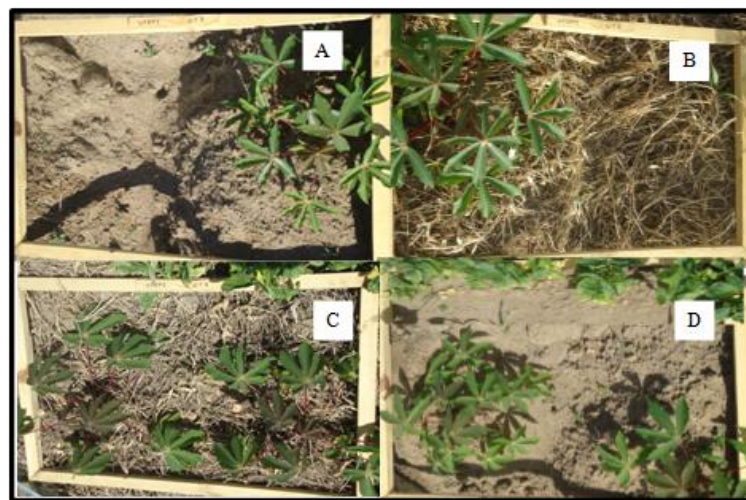


Figura 10. Representação da cobertura vegetal para os diferentes tratamentos: Mandioca morro abaixo (A), mandioca morro abaixo com cobertura morta (B), Mandioca em nível consorciada com feijão e cobertura morta (C) e mandioca em nível consorciada com feijão (D).

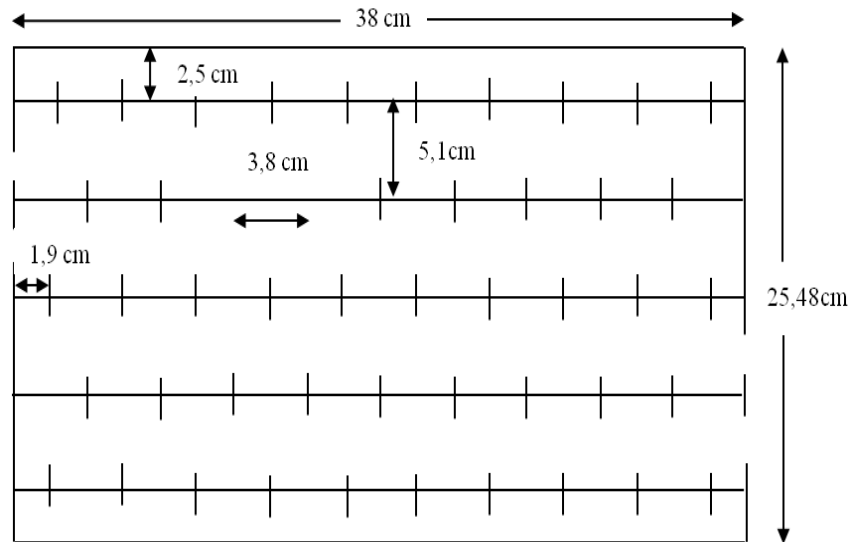


Figura 11. Quadro Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Bezerra & Cantalice, 2006.

5.7 Análise Estatística

Para avaliar a umidade do solo antes e após as chuvas e porcentagem de cobertura vegetal, foi realizado o teste de médias “t” de Student, entre tratamentos e dias após plantio, utilizando-se o programa Statistica 10 (Statsoft, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os tratamentos MMA e MN+F (Tabela 4) o regime de escoamento superficial foi classificado em laminar lento, em duas intensidades de chuva aplicadas, de acordo com a relação existente entre o número de Reynolds (< 500) e de Froude (< 1), juntamente com os valores da descarga líquida na ordem de grandeza de 10^{-6} e $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e altura do escoamento de 10^{-3} m . Tal resultado indica ter ocorrido uma erosão laminar em função do número de Reynolds e Froude obtidos.

O mesmo tipo de regime de escoamento, sob condições de chuva simulada, foi obtido por diversos pesquisadores com diferentes tipos de uso do solo: Cassol et al. (2004), em um Argissolo Vermelho distrófico típico no Rio Grande do Sul; Santos et al. (2009), em Neossolo Flúvico estudando diferentes práticas de conservação de água e solo em feijoeiro no semiárido Pernambucano; Bezerra & Cantalice (2006), em Argissolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de cana-de-açúcar na zona da Mata Pernambucana e Freitas et al. (2008), em Luvissoilo Crômico Órtico no Agreste Pernambucano.

O tratamento MMA apresentou, apenas para duas chuvas simuladas, as maiores velocidades de escoamento, variando de $0,007$ a $0,01 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 4). Com relação à chuva de intensidade constante de 90 mm h^{-1} , observou-se escoamento só no tratamento MMA, obtendo-se uma velocidade de $0,007 \text{ m s}^{-1}$. Para a chuva seguinte com intensidade variável (40 e 90 mm h^{-1}), ocorreu escoamento tanto para o tratamento de MMA, quanto para MN+F, porém o tratamento de MMA apresentou uma velocidade de escoamento de 2,5 vezes maior que o tratamento MN+F.

Para Lopes et al. (1987), o aumento da velocidade do escoamento superficial da água é favorecido pelo aumento da declividade e do comprimento da parcela, ausência de resíduo vegetal na superfície do solo e presença de “caminhos preferenciais” deixados por máquinas e implementos agrícolas, por ocasião do preparo do solo. Santos et al. (2009) verificaram que diferentes manejo do solo contribuíram para diferenças na velocidade de escoamento, em parcelas experimentais de $0,06 \text{ m m}^{-1}$ de declividade.

Tabela 4. Médias de três repetições das características hidráulicas do escoamento superficial para as diferentes práticas conservacionistas e intensidades de chuva.

Tratamento	Re	Fr	Descarga líquida ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)	V (m s^{-1})	Altura do escoamento (m)	Viscosidade cinemática ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)	Coefficiente de rugosidade ($\text{s m}^{-1/3}$)
.....Chuva intensidade constante (62 mm h^{-1}).....							
MMA	-	-	$1,14 \times 10^{-6}$	-	-	$8,28 \times 10^{-7}$	-
MMA+CM	-	-	0	0	0	$8,41 \times 10^{-7}$	-
MN+F+CM	-	-	0	0	0	$8,41 \times 10^{-7}$	-
MN+F	-	-	0	0	0	$8,28 \times 10^{-7}$	-
.....Chuva intensidade constante (90 mm h^{-1}).....							
MMA	12,13	0,08	$1,01 \times 10^{-5}$	0,007	$1,50 \times 10^{-3}$	$8,41 \times 10^{-7}$	0,49
MMA+CM	-	-	0	0	0	$8,34 \times 10^{-7}$	-
MN+F+CM	-	-	0	0	0	$8,41 \times 10^{-7}$	-
MN+F	-	-	0	0	0	$8,16 \times 10^{-7}$	-
.....Chuva intensidade variável (40 e 90 mm h^{-1}).....							
MMA	11,96	0,1	$9,52 \times 10^{-6}$	0,01	$1,30 \times 10^{-3}$	$7,96 \times 10^{-7}$	0,53
MMA+CM	-	-	0	0	0	$7,96 \times 10^{-7}$	-
MN+F+CM	-	-	0	0	0	$7,96 \times 10^{-7}$	-
MN+F	6,7	0,04	$5,60 \times 10^{-6}$	0,004	$1,54 \times 10^{-3}$	$8,41 \times 10^{-7}$	0,94

- Parâmetros não foram determinados e/ ou não puderam ser calculados; número de Reynolds (Re); número de Froude (Fr); velocidade de escoamento (V); mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).

Ao se avaliar a rugosidade superficial do solo (Tabela 4), foi verificado no tratamento MMA uma rugosidade de 0,49 e 0,53 $\text{s m}^{-1/3}$, enquanto que no tratamento MN+F foi de 0,94 $\text{s m}^{-1/3}$. O efeito do consórcio proporcionou maior coeficiente de rugosidade do que o cultivo solteiro da mandioca, pelo fato da cultura do feijoeiro intercalada no cultivo da mandioca ter interceptado a chuva e retardado o início do escoamento, que se iniciou aos 98 minutos. Adicionalmente, o cultivo em curvas de nível serviu de obstáculo ao percurso livre da enxurrada, favorecendo a retenção e a infiltração da água, e redução da velocidade e do volume da enxurrada. Para Bezerra & Cantalice (2006), o efeito combinado dos tratamentos da palha em contato direto com o solo e do dossel da cana-de-açúcar, proporcionou maior rugosidade hidráulica que o efeito isolado do dossel da cana aos três e doze meses, devido à presença do resíduo estar em maior contato com o escoamento, aliado ao efeito do dossel em interceptar a chuva.

Pode-se observar na Tabela 4 que o tratamento MN+F, além de ter proporcionado aumento da resistência ao escoamento superficial promovido pela rugosidade, aumentou as forças viscosas, elevou a altura da lâmina de escoamento e reduziu o número de Froude. Tais resultados também foram evidenciados por Cassol et al. (2004) e Bezerra & Cantalice (2006).

A eficiência da cobertura morta (Tabela 4), para os tratamentos de MMA+CM e MN+F+CM, resultaram na não ocorrência do escoamento superficial. A presença de resíduos na superfície do solo serviu como dissipador da energia cinética da chuva, favorecendo o aumento do tempo de oportunidade de infiltração de água no solo e conseqüentemente redução do fluxo e desagregação das partículas do solo. A velocidade de escoamento também foi impossibilitada nas parcelas de cobertura natural e morta por Santos et al. (2009), em Argissolo do semiárido de Pernambuco.

Observa-se na Tabela 5 que a primeira chuva simulada realizada aos 22 dias após o plantio (DAP), com intensidade de 62 mm h⁻¹ e duração de 40 minutos, para uma lâmina precipitada de 41 mm, só gerou escoamento no tratamento MMA, o qual equivaleu perdas de água 1% da chuva aplicada e de solo 67,25 kg ha⁻¹, correspondente à taxa de desagregação de 1,72 x 10⁻⁵ kg m⁻² s⁻¹ e energia cinética de 854 J m⁻².

Para a chuva aplicada aos 30 DAP com intensidade de 90 mm h⁻¹ no tratamento MMA, as perdas de água, solo e taxa de desagregação foram: 11,43; 21,31 e 4,85 vezes maiores em relação à chuva anterior, enquanto que o aumento da energia cinética de 854 para 946 Jm⁻² foi de 1,11 vezes (Tabela 5). Este resultado ocorreu em virtude da precipitação mais intensa (90 mm h⁻¹) estar associada à menor duração da chuva, fazendo com que o impacto da gota da chuva associado à energia cinética proporcionasse maior perda de água e, como consequência, maior perda de solo e taxa de desagregação.

Tabela 5. Média da perda de água (PA- % da chuva aplicada), perda de solo (PS) e taxa de desagregação (D) para as diferentes práticas conservacionistas e intensidades de chuva.

DAP	Tratamento	Ip	D	Ec	Lppt	Les	Perda de água	Perda de solo	Taxa de desagregação
		(mm h ⁻¹)	(min)	(J m ⁻²)	(mm)	(mm)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(kg m ⁻² s ⁻¹)
22	MMA			854	41	1,23	1	67,25	1,72 x 10 ⁻⁵
	MMA + CM	62	40			0	0	0	0
	MN+F+CM					0	0	0	0
	MN+F					0	0	0	0
MMA					946	45	5,14	11,43	1.433,10
30	MMA + CM	90	30			0	0	0	0
	MN+F+CM					0	0	0	0
	MN+F					0	0	0	0
57	MMA	40	90	2.140	105	9,53	9,07	2.411,60	7,76 x 10 ⁻⁴
	MMA + CM	90	30			0	0	0	0
	MN+F+CM					0	0	0	0
	MN+F					2,77	2,64	421,03	2,83 x 10 ⁻⁵

Ip- Intensidade de precipitação; D- duração da chuva, Lppt- lâmina total precipitada; Ec- energia cinética total; mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).

Para o último teste de chuva de intensidade variável (Tabela 5), enquadrado no perfil de precipitação atrasado, foi aplicada uma chuva inicial de menor intensidade e longa duração (intensidade de 40 mm h^{-1} e duração de 90 minutos) e, na sequência, outra de maior intensidade e curta duração (intensidade de 90 mm h^{-1} e duração de 30 minutos), a qual precipitou uma lâmina total de 105 mm, para uma energia cinética de 2.140 J m^{-2} . A energia cinética foi de 2,5 e 2,3 vezes maior em relação às duas chuvas anteriores, a qual proporcionou perdas de solo, água e taxa de desagregação de 5,7; 3,4 e 27,38 vezes maiores no tratamento MMA em relação ao MN+F. Tal resultado é explicado em função da alta energia cinética e da precipitação de perfil atrasado, onde o pico de máxima intensidade é atingido, quando o solo já apresenta umidade elevada, o que possibilitou uma maior desagregação das partículas e maior carreamento do solo. Para Eltz et al. (2001), e Oliveira et al. (2010) o perfil de precipitação atrasado foi responsável pelas maiores perdas de solo e água. Para Schafer et al. (2001), as maiores perdas de solo estão relacionadas com uma maior desagregação das partículas e dispersão do solo, e ao conseqüente selamento superficial pelo impacto direto das gotas da chuva sobre o solo sem cobertura morta.

O tratamento MN+F (Tabela 5) proporcionou reduções das perdas de água, solo e taxa de desagregação de 70,89; 82,5 e 96,35%, respectivamente em relação ao tratamento MMA, para última chuva simulada aos 57 DAP. A utilização do feijão-caupi no espaçamento de 2 m nas fileiras da mandioca mostrou-se uma prática conservacionista eficaz na redução das perdas de solo e água por erosão hídrica, o qual proporcionou a dissipação da energia cinética e interceptação da água da chuva. Assim a prática do cultivo consorciado, mostrou-se vantajoso na redução da erosão, sendo uma prática recomendada para os agricultores como alternativa sustentável do uso do solo, melhoria na renda e aumento da produção (Alves et al., 2009; Silva et al., 2009; Albuquerque et al., 2012).

A ausência de perdas de solo, água e taxa de desagregação nos tratamentos MMA+CM e MN+F+CM (Tabela 5), para as três intensidades de chuva simuladas, foi resultado da cobertura morta de 8 Mg ha^{-1} ter amortecido o impacto da gota da chuva, interceptando a precipitação e diminuído a velocidade do escoamento superficial, evitando a desagregação das partículas, e com isto o transporte pela enxurrada. Para Montenegro et al. (2013), esta mesma densidade de cobertura morta gerou uma redução de 92% do transporte de sólido total nas três chuvas simuladas, utilizando diferentes taxas de cobertura do solo (0, 4 e 8 Mg ha^{-1}). Para os referidos autores, a cobertura morta reduziu a velocidade do escoamento e o transporte de sedimentos, e minimizou as perdas de solo. Já Mulumba & Lal (2008)

constatarem que a densidade de cobertura morta de 8 Mg ha^{-1} proporcionou maior retenção da umidade e estabilidade dos agregados.

Pode-se observar na Tabela 5 que, com aumento da intensidade de precipitação, houve aumento das perdas de solo de 67,25 a 2.411,6 (kg ha^{-1}), ou seja, de 35,8 vezes maior, para o tratamento MMA. O mesmo não ocorreu nos tratamentos com a aplicação da cobertura morta. A utilização da cobertura morta para os tratamentos estudados favoreceu a proteção da camada superficial do solo, impedindo o impacto direto das gotas da chuva, o que impediu a geração de escoamento superficial e de perda de solo.

Para o período de estudo, as perdas totais de água e solo (Tabela 6) foram de 21,5% da chuva aplicada e $3.911,95 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente os quais foram 8,1 e 9,3 vezes maior, respectivamente, em relação ao tratamento MN+F, enquanto que nos tratamentos com presença de cobertura morta não houve erosão hídrica. Já Podwojewski et al. (2008) quantificaram em 16% do escoamento superficial e em 2 a $7 \text{ ton m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ as perdas médias de solo para a cultura da mandioca, em torno de 10 a 20 vezes maiores em relação as culturas da Brachiaria e floresta. Para Oshunsanya (2013), em cultivo de mandioca com presença e ausência do capim (*Vetiver sebes*), e consorciada com milho no Sul da Nigéria, verificaram que a maior perda de solo ocorreu para o cultivo sem o capim, o qual resultou em uma diminuição no rendimento da cultura em comparação ao cultivo com o capim (*Vetiver sebes* L.).

O tratamento MMA (Tabela 6) mostrou-se uma prática bastante susceptível a erosão hídrica, e sua aplicação é indicada com uso de práticas conservacionistas. Margolis et al. (1991) e Andrade et al. (1999) verificaram que o cultivo da mandioca em camalhão morro abaixo foi a prática que mais favoreceu as perdas de solo e água de $49.290 \text{ kg ha ano}^{-1}$ e 209,76 mm, no Agreste de Pernambuco, e 700 kg ha^{-1} e 32,5 mm na Paraíba. Putthacharoen et al. (1998) explicam que a maioria das perdas por erosão ocorrem durante os três primeiros meses após o plantio, o que é justificado devido ao espaçamento e crescimento inicial lento da cultura.

A eficiência das práticas conservacionistas para o cultivo da mandioca nas perdas de solo, em relação ao tratamento mandioca morro abaixo (MMA), pode ser verificado na Tabela 6. Nota-se que os tratamentos de MMA+CM, MN+F+CM e MN+F foram capazes de reduzir as perdas de solo em 100%, 100% e 89,2%, respectivamente.

Tabela 6. Perda total de água, solo e eficiência do uso do solo sob o controle da erosão para os tratamentos estudados.

Tratamento	Perda de água	Perda de solo	Eficiência do uso do solo
	%	(kg ha ⁻¹)	%
MMA+CM	0	0	100
MN+F+CM	0	0	100
MN+F	2,64	421,03	89,2
MMA	21,5	3.911,95	0

Mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).

Elevadas variações da taxa de perda de água foram verificadas para os diferentes tratamentos e diferentes características de chuvas simuladas (Figura 12). Verificou-se que só ocorreu escoamento para os tratamentos de MMA e MN+F, este último somente na chuva de intensidade variável 40 e 90 mm h⁻¹.

No tratamento MMA (Figuras 12 A, B, C) pode-se verificar que, com o aumento da intensidade da chuva (90 mm h⁻¹) aos 30 dias após o plantio, o escoamento superficial aumentou (Figura 12 B), mesmo após 8 dias de desenvolvimento da cobertura vegetal, em relação à primeira chuva simulada (Figura 12 A). Já para a terceira chuva com intensidade variável (40 e 90 mm h⁻¹), sendo a sua aplicação aos 57 dias após o plantio, observou-se que o escoamento só foi pronunciado aos 62 minutos de chuva. Nessa última chuva, a cobertura vegetal já se encontrava mais densa, conseqüentemente com maior poder de interceptação vegetal e retardamento do fluxo, gerando maior oportunidade de infiltração e evaporação da água da chuva (Figura 13). Chuvas com características de perfil ou padrão atrasado, ou seja, com intensidades maiores no último terceiro terço do tempo total da chuva, são mais efetivas na geração de escoamento, uma vez que a maior intensidade da chuva ocorre quando a superfície do solo apresenta maior grau de umidade e menor capacidade de infiltração.

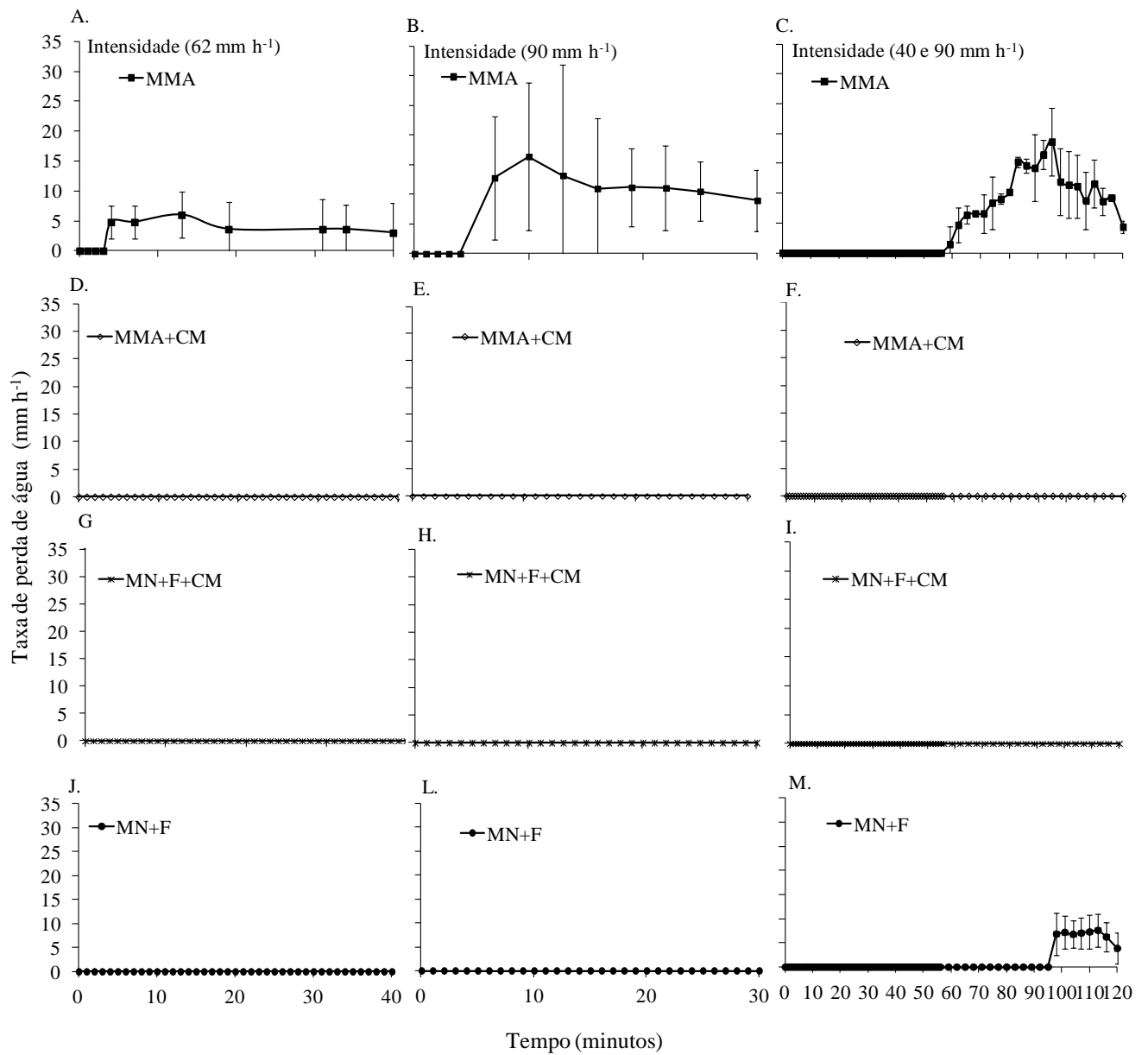


Figura 12. Taxa média das perdas de água para as diferentes intensidades de chuva e uso de práticas conservacionistas: mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).

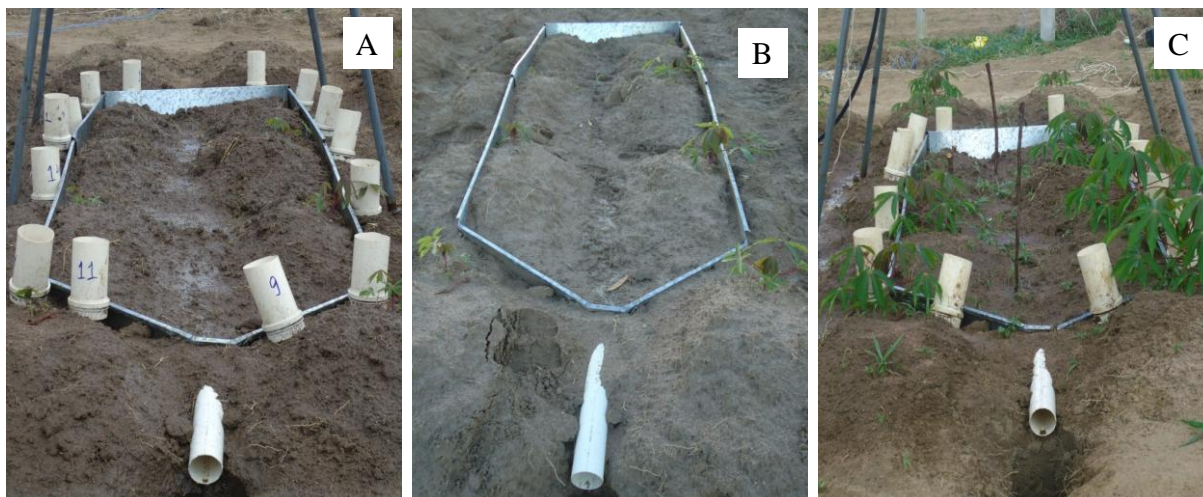


Figura 13. Desenvolvimento da cobertura da mandioca aos 22 (A), 30 (B) e 57 (C) DAP.

A aplicação da primeira chuva simulada (Figura 12), realizado aos 22 dias após o plantio da mandioca, só foi capaz de gerar escoamento superficial no tratamento de MMA. Para o referido tratamento o escoamento superficial iniciou-se aos 4 minutos de chuva. Após um período inicial, ocorreu um aumento da taxa de perda de água até esta atingir um pico máximo de 6 mm h^{-1} aos 13 minutos de escoamento superficial; posteriormente houve um decréscimo na taxa do fluxo ao longo do tempo da chuva. Observa-se ainda que para essa primeira chuva simulada, a intensidade não foi suficiente para gerar escoamento nos demais tratamentos estudados.

Devido à não geração de escoamento superficial nos tratamentos (Figura 12 D, 12 G e 12 J), pode-se apurar que a intensidade da chuva e o tempo de duração não foram suficientes para quantificação do fluxo de escoamento e perdas de solo nos demais tratamentos. Este resultado deve-se à mobilização do solo e devido o experimento ter sido conduzido em um Latossolo, o qual contribuiu para estes resultados, pelo fato de ser um solo de bastante profundo contribuindo para infiltração da chuva, além de está associado com a presença da cobertura morta e o consórcio das culturas.

O segundo teste de chuva simulada só foi capaz de gerar escoamento no tratamento MMA (Figura 12 B), com tempo médio para o início do escoamento de 7 minutos, com pico de maior intensidade aos 10 minutos de chuva, com taxa de escoamento de $16,4 \text{ mm h}^{-1}$ e responsável pela maior perda de solo ($399,31 \text{ kg ha}^{-1}$). Esta taxa foi incrementada em 611,9% quando comparada com a perda de solo no evento de maior pico da chuva anterior. O plantio no sentido do declive do terreno favoreceu a maior velocidade de escoamento e aumento na taxa de perda de solo. A referida observação corrobora com resultados obtidos por Santos et

al. (2009), em cultivo de feijão morro abaixo no Agreste Pernambucano, com maiores perdas de água e solo.

Por último, o terceiro teste de chuva realizado 57 dias após o plantio, foi responsável por gerar escoamento nos tratamentos MMA e MN+F. Para o tratamento MMA foi verificado um retardamento do início do escoamento para 62 minutos de chuva, observando-se uma lâmina média escoada de $9,6 \text{ mm h}^{-1}$ e perda de solo 133 kg ha^{-1} (Figura 12 C e 14 C) para a chuva inicial de menor intensidade e longa duração. Para a chuva de maior intensidade e curta duração, a lâmina escoada e a perda de solo média foram de $11,2 \text{ mm h}^{-1}$ e 149 kg ha^{-1} , respectivamente. O maior pico de enxurrada ocorreu aos 95 minutos de chuva, correspondente a uma taxa de $18,64 \text{ mm h}^{-1}$ e uma maior perda de solo $255,69 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 14 C). Esta maior perda de solo no final da chuva ocorreu logo quando se aumentou a intensidade de chuva, e a maior energia cinética da chuva favoreceu maior desagregação das partículas do solo, por se encontrar com elevada umidade, caracterizando o padrão de chuva atrasado. Oliveira et al. (2010), estudando os padrões de chuva em Argissolo Amarelo sob condições de chuva simulada em Seropédica, Rio de Janeiro, verificaram maiores perdas de água e solo no padrão atrasado de $4,8 \text{ mm}$ e 125 kg ha^{-1} , respectivamente. Já Lima et al. (2013) constatou maiores perdas de solo e água no padrão atrasado na área com Caatinga nativa sob condições de chuvas naturais no Semiárido.

Já no tratamento MN+F (Figura 12 M), o escoamento superficial se iniciou aos 98 minutos da chuva para a intensidade de 90 mm h^{-1} , com pico de maior enxurrada de $7,6 \text{ mm h}^{-1}$ e uma maior perda de solo $87,67 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 14 M) no final da chuva. Este retardamento do início do escoamento foi ocasionado pela maior percentagem de cobertura vegetal, de 28%, havendo diferença significativa em relação à mandioca solteira (MMA e MMA+CM).

Para os tratamentos MMA+CM e MN+F+CM (Figura 14), houve ausência de escoamento superficial, conseqüentemente não ocorreram perdas de solo. Tal fato é explicado pela presença da cobertura morta e do consórcio ter dissipado o impacto das gotas da chuva, reduzindo o efeito do escoamento e desagregação das partículas do solo e ocasionando o aumento da infiltração. O uso da cobertura morta, por ser uma técnica simples, tornou-se uma maneira econômica para reduzir os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva e seus estudos têm-se tornado acentuado nos últimos anos por vários pesquisadores (Jordán et al., 2010; Santos et al., 2009; Carvalho et al., 2011; Borges (2013); Montenegro et al., 2013). Para estes pesquisadores supracitados, a utilização da cobertura morta tem trazido vários benefícios, dentre os quais: aumento da umidade e fertilidade do solo, proteção contra o

impacto direto das gotas da chuva, redução da erosão hídrica, redução da temperatura do solo, menor incidência de plantas daninhas e melhoria na produção agrícola.

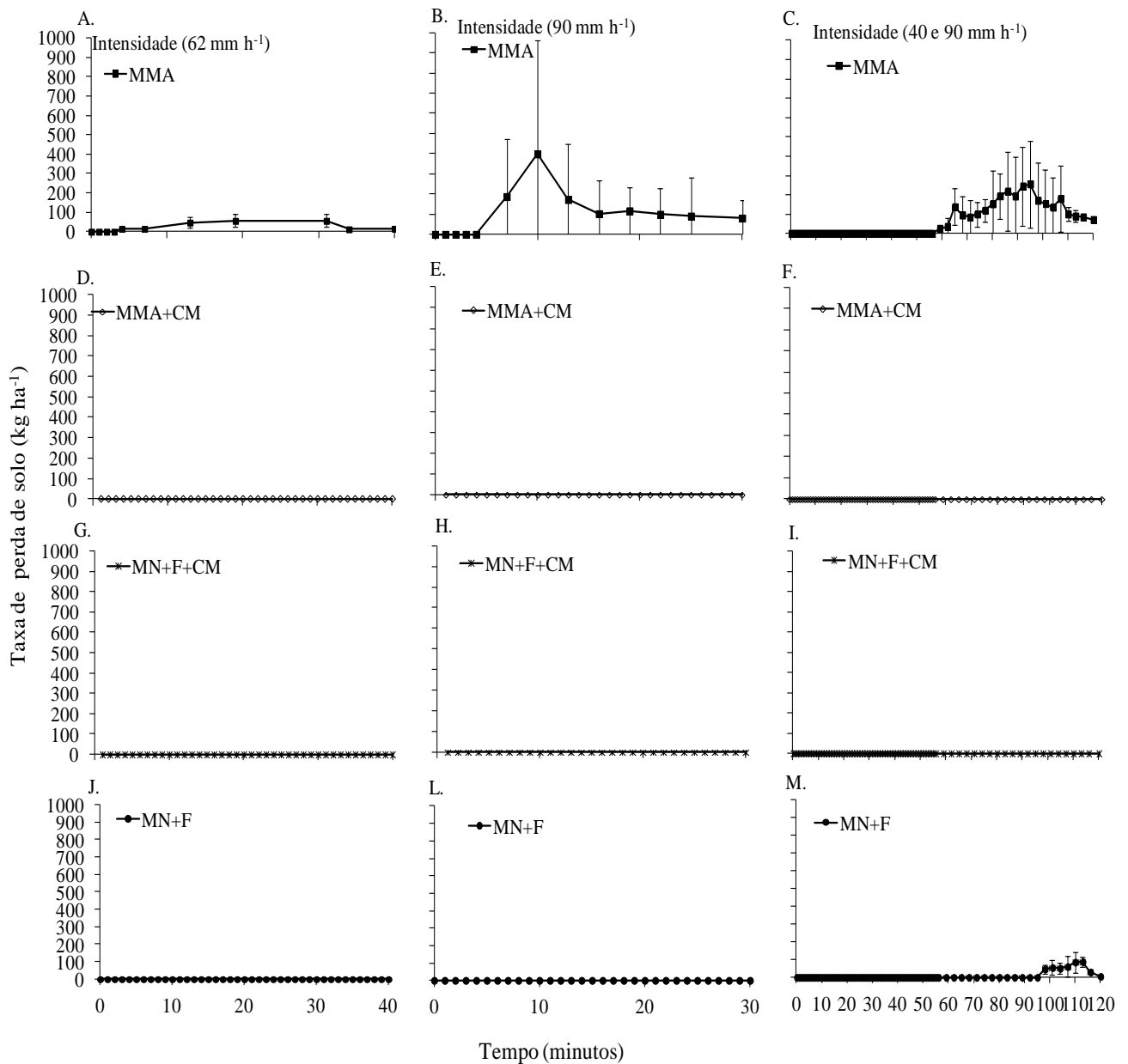
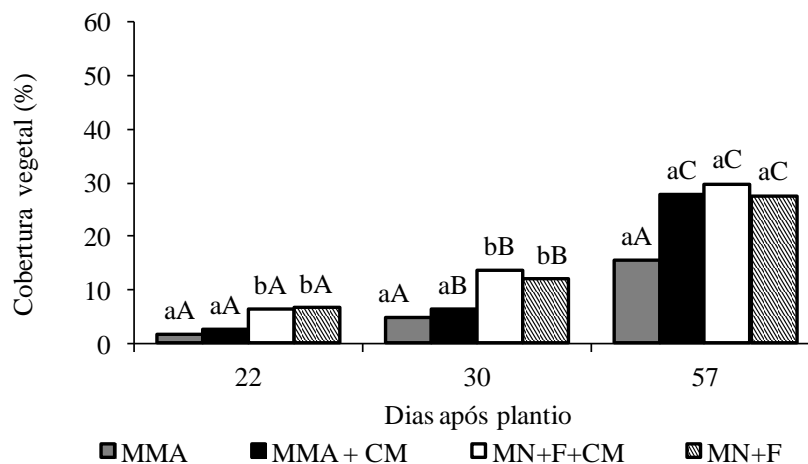


Figura 14. Taxas médias das perdas de solo para as diferentes intensidades de chuva e uso de práticas conservacionistas: mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).

Aos 22 e 30 dias após o plantio (Figura 15) houve diferença significativa da cobertura vegetal entre os tratamentos mandioca solteira sem e com cobertura morta (MMA e MMA+CM) em relação aos tratamentos (MN+F e MN+F+CM), que apresentaram valores superiores, por causa da utilização do consórcio no espaçamento de 2 m nas fileiras da mandioca proporcionou aumento da cobertura vegetal em 12% e 14% aos 30 DAP. Para os

tratamentos aos 57 dias após o plantio não houve diferença significativa de acordo com o teste “t” de Student a 5% de probabilidade.

A percentagem de cobertura vegetal teve acréscimos com as mudanças das fases da cultura aos 22 DAP na brotação para os 57 DAP no crescimento (Figura 15), este aumento foi significativo, exceto para as condições de MMA, que apresentou menores percentagens na fase de crescimento de 16%, enquanto os demais tratamentos foram: 28% no MMA+CM, 28% no MN+F e 30% no MN+F+CM. Para Ardjasa et al. (2001), o desenvolvimento da cobertura vegetal pode ser influenciado pelas condições climáticas e do solo, o autor observou que aos 60 dias após o plantio, a mandioca atingiu 50% de cobertura do solo em Argissolo e clima tropical de monção na Indonésia.



Letras minúsculas correspondem a comparação entre os tratamentos e maiúsculas correspondem a comparação no tempo pelo teste “t” de Student ($p < 0,05$). Mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).

Figura 15. Percentagem de cobertura vegetal para as diferentes práticas conservacionistas dias após plantio.

Os valores totais da evapotranspiração de referência (ET_0) e da cultura (ET_c) da mandioca foram 237,13 e 133,11 mm, respectivamente, para o período de estudo. Na Figura 16 pode-se verificar que até os 22 DAP na fase de brotação da mandioca a cultura em consórcio com a mandioca apresentou evapotranspiração média de $1,75 \text{ mm dia}^{-1}$, enquanto a mandioca de $1,18 \text{ mm dia}^{-1}$. A maior evapotranspiração pode ser explicada pelo fato do consórcio de culturas requer maior demanda de água, o que foi verificando pelo menor conteúdo de umidade do solo nos tratamentos com consórcio.

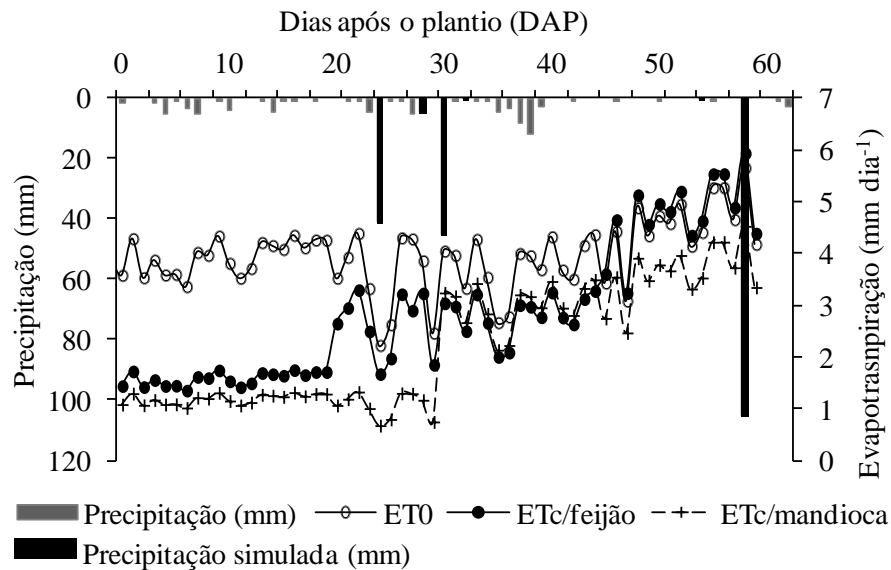


Figura 16. Precipitação e evapotranspiração da cultura da mandioca e do feijão para todo período estudado.

Pode-se observar um aumento da evapotranspiração da cultura da mandioca após os 30 e 57 DAP, com uma evapotranspiração média de 3,2 mm dia⁻¹ e o feijão de 4,1 mm dia⁻¹ (Figura 16). Estes aumentos foram causados pelas duas culturas apresentarem desenvolvimento fenológicos distintos, estando à mandioca na fase de crescimento e engrossamento das raízes, e o feijão do crescimento para a floração, requerendo maior demanda de água.

Verifica-se na Tabela 7 a umidade do solo antecedente, e após as chuvas simuladas, para as diferentes práticas conservacionistas. Para o tratamento MMA+CM, a umidade do solo apresentou significância estatística ao nível de 5% em relação ao tratamento MN+F aos 22 DAP, que apresentou valores superiores decorrente da cobertura do solo por resíduos. Santos et al. (2009), Borges (2013) e Montenegro et al. (2013) também encontraram valor de umidade maior para as práticas com uso de resíduos, o que pode ser devido à menor evaporação, decorrente da cobertura do solo por resíduos. Não houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste “t” de Student aos 30 DAP, entre os tratamentos.

Para os 57 DAP, verificou-se diferença significativa entre o tratamento MMA em relação aos tratamentos MMA+CM e MN+F (Tabela 7), que apresentarem valores superiores de umidade no período de maior demanda hídrica da cultura. Vale resaltar mais uma vez a importância da cobertura morta e do consórcio vegetal.

Tabela 7. Umidade antecedente e após as chuvas simuladas para as diferentes práticas conservacionistas e intensidades de chuva.

Tratamento	Umidade antecedente (%)			
	DAP			
	22	30	57	
MMA	14,99 abAB	14,29 aB	13,21 aA	
MMA + CM	15,23 bA	15,15 aA	13,63 bB	
MN+F+CM	14,69 abA	14,38 aA	13,27 abB	
MN+F	14,40 aA	14,93 aA	13,61 bB	
Tratamento	Umidade final (%)			
	MMA	20,63 aA	21,03 aA	19,83 aB
	MMA + CM	21,53 aA	21,26 aA	21,30 aA
	MN+F+CM	20,49 aA	21,12 aA	22,62 aA
	MN+F	20,53 aA	20,99 aA	20,44 aA

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha, não diferem entre si pelo teste “t” de Student ($p < 0,05$). Mandioca morro abaixo (MMA), mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM), mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM) e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).

Em relação aos dias após o plantio, verificou-se diferença nas condições de MMA+CM, MN+F+CM e MN+F, que apresentaram valores baixos de umidade do solo aos 57 DAP, por causa da maior massa foliar da cultura, que causaram maior requerimento de água pela cultura.

A umidade final do solo (Tabela 7) apresentou diferença significativa entre o tratamento MMA em relação aos demais tratamentos, que apresentaram valores superiores, devido a influência da interceptação da chuva pelo feijão, presença de curvas de nível e da contribuição da cobertura morta pela permanência da água no perfil do solo.

Ao avaliar o comportamento da relação entre perda de solo e escoamento superficial para os tratamentos e cada intensidade de chuva, verificou-se que a primeira intensidade de chuva (Figura 17 A) foi capaz de gerar escoamento no tratamento MMA apresentou um coeficiente angular de 129,77, o qual está relacionado às menores perdas de solo neste tratamento (Tabela 5). Esta menor perda de solo foi em virtude do aumento da infiltração de água no solo, devido à mobilização do solo pelo preparo realizado na área experimental. Neste tratamento apresentou r de 0,97 entre as perdas de solo e o escoamento, (Figura 17 A), indicando elevada dependência das perdas de solo pelo escoamento.

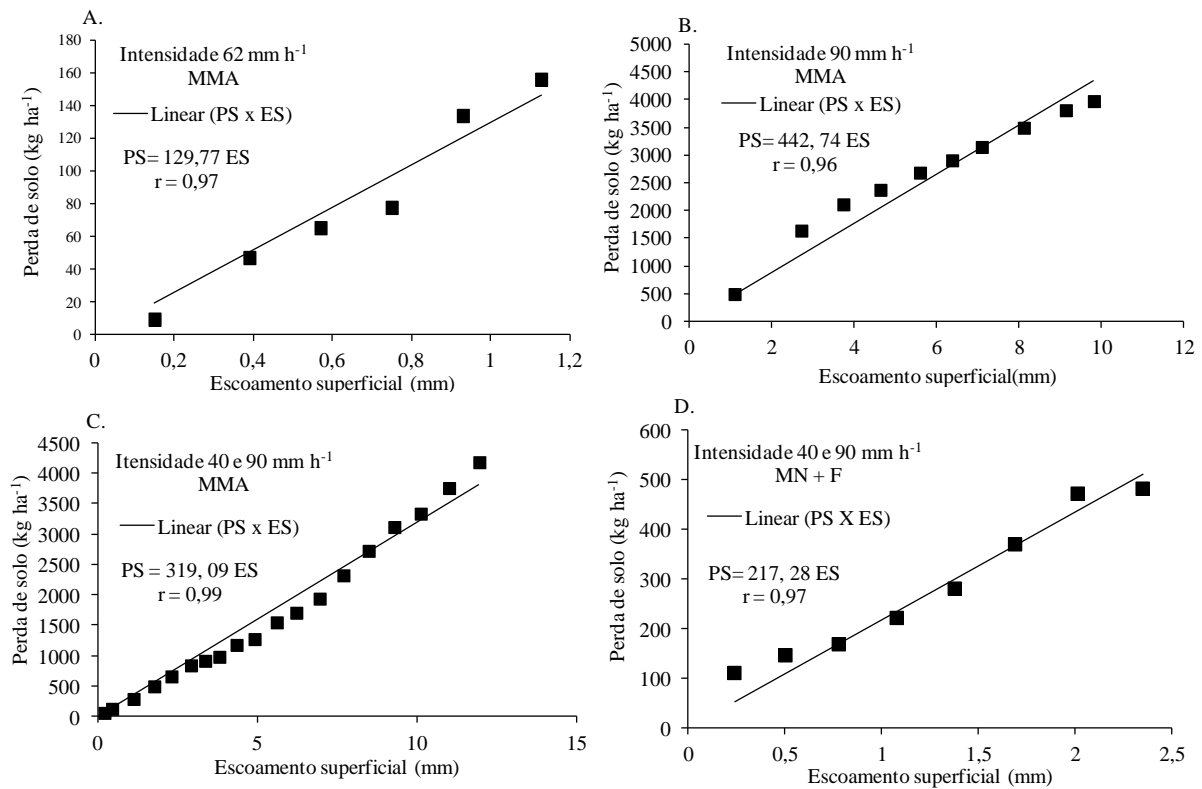


Figura 17. Relação entre o escoamento superficial e perda de solo para as diferentes intensidades e os tratamentos MMA (A, B e C) e MN+F (D).

Para a intensidade de 90 mm h⁻¹ (Figura 17 B), houve aumento do coeficiente angular da reta para 442,74, sendo de 3,4 vezes maiores em relação à chuva anterior, que proporcionou uma perda de solo de 21,3 vezes maior; também se pode constatar alto grau de relacionamento r de 0,96 entre escoamento e perdas de solo. Enquanto na intensidade de chuva variável (40 e 90 mm h⁻¹), na Figura 17 C e D foram possíveis avaliar a relação da perda de solo e escoamento superficial nos tratamentos MMA e MN+F. As perdas específicas de solo para o tratamento de MMA e MN+F apresentaram elevada proporcionalidade ao escoamento, com grau de relacionamento variando entre 0,99 e 0,97.

Observam-se na Tabela 8 as perdas de nutrientes analisados no sedimento e na água da enxurrada em função das quantidades totais perdidas para os tratamentos no período de estudo. Nota-se que nos tratamentos MMA+CM e MN+F+CM não foram quantificadas as perdas de nutrientes, em vista da não ocorrência do escoamento superficial.

Tabela 8. Perda de nutrientes no sedimento, na água da enxurrada e totais (sedimento + água de enxurrada) para as diferentes práticas conservacionistas.

Variável		Tratamentos			
		MMA	MMA+CM	MN+F+CM	MN+F
C (kg ha ⁻¹)	Sedimento	54,49	0	0	4,6
	Água	-	-	-	-
	Total	54,49	0	0	4,6
Ca (kg ha ⁻¹)	Sedimento	276,61	0	0	5,06
	Água	0,72	0	0	0,15
	Total	277,33	0	0	5,21
Mg (kg ha ⁻¹)	Sedimento	378,64	0	0	8,67
	Água	0,84	0	0	0,16
	Total	379,48	0	0	8,83
K (kg ha ⁻¹)	Sedimento	457,61	0	0	16,22
	Água	1,57	0	0	0,2
	Total	459,18	0	0	16,42
P (kg ha ⁻¹)	Sedimento	1,4	0	0	0,39
	Água	0,11	0	0	0,01
	Total	1,51	0	0	0,4

- análise não determinada em água; C-carbono; Ca-cálcio; Mg-magnésio; K-potássio; P-fosfóro; Mandioca morro abaixo (MMA); mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM); mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta (MN+F+CM); e mandioca nível consorciada com feijão-caupi (MN+F).

Verifica-se na Tabela 8 uma redução de 91,5% das perdas de carbono no tratamento MN+F em relação ao tratamento MMA. Tal resultado é explicado pela maior percentagem de cobertura vegetal de 30% ter servido de contenção para redução da perda de solo. Santos et al. (2007) evidenciou baixas perdas de carbono orgânico nos tratamentos com cobertura morta e campo nativo, que apresentaram maiores percentagens de cobertura vegetal, 93,4 e 100%, estudando diferentes técnicas de conservação de água e solo no semiárido pernambucano.

Pode-se verificar na Tabela 8 que as quantidades de nutrientes perdidos na água nos tratamentos estão mais relacionadas com os sedimentos, de forma que na água os valores são mais baixos. Mesmo estas perdas sendo consideradas baixas, são preocupantes principalmente nos tratamentos com maiores perdas de solo, uma vez que a retirada destes elementos pelo processo erosivo tende a favorecer a acidificação do solo, empobrecimento e aumentar os

riscos de contaminação de mananciais hídricos (Schick et al.; 2000; Bertol et al., 2007; Bertol et al. 2011).

Para as perdas de nutrientes na água da enxurrada, o potássio foi o elemento perdido em maiores quantidades (Tabela 8), devido à maior solubilidade deste elemento, e também pela influência do manejo no solo, enquanto o fósforo manifestou resultados muito baixos o qual pode ser explicado pela baixa concentração de fósforo livre no solo, devido à forte absorção aos coloides, corroborando com os resultados encontrados por Bertol et al. (2003)

Assim, o tratamento MMA aumentou as perdas dos teores de potássio e fósforo em 7,8 e 11 vezes na água da enxurrada em comparação ao tratamento MN+F. Neste caso, o manejo morro abaixo aumentou maior disponibilidade do fósforo do que a do potássio para ser transportado pela enxurrada. Já as concentrações de cálcio e magnésio na água foram baixas, conforme o observado também no solo de origem. Para Schick et al. (2000), estes elementos são perdidos em maiores quantidades no sedimento da erosão do que na água.

As perdas de nutrientes nos sedimentos foram da seguinte magnitude $K > Mg > Ca > P$ foram expressivamente maiores do que as da água (Tabela 8), concordando com os dados de Schick et al. (2000b). Para os autores, o enriquecimento do sedimento com nutrientes ocorre pelo processo seletivo de deposição, estando relacionado ao aumento de partículas mais finas, como argila e silte e à concentração destas partículas. Vale ressaltar que estas maiores perdas de potássio pode comprometer o desenvolvimento da cultura da mandioca, por ser considerado o elemento explorado em maiores quantidades pela cultura.

O tratamento MMA foi responsável por maiores perdas totais de nutrientes água + sedimentos da enxurrada Ca, Mg, K e P de 53,2; 42,9; 27,9 e 3,77 vezes maiores em relação ao tratamento MN+F. Estas maiores perdas foram fortemente influenciadas pelo sistema de manejo (morro abaixo), juntamente com as maiores intensidades de chuva favorecendo maiores desagregação e transporte das partículas do solo, conseqüentemente ocasionando maior carregamento de nutrientes, conforme constatado por Schick et al. (2000) e Bertol et al. (2011). Enquanto a cobertura vegetal exerceu controle sobre as perdas destes elementos no solo com reduções de 98,12% do Ca, 97,67% do Mg, 96,42% do K e 74,52% do P, respectivamente.

A adoção das práticas conservacionistas MMA+CM, MN+F+CM e MN+F proporcionaram ausência de perdas de nutrientes nos dois primeiros tratamentos, e menores perdas de nutrientes no tratamento MN+F em relação ao tratamento MMA. Portanto, o uso de práticas conservacionistas é recomendado a fim de evitar o empobrecimento do solo e reduzir os riscos de contaminação de mananciais hídricos. Pesquisadores como Gilles et al. (2000),

Schick et al. (2000), Bertol et al. (2003), Bertol et al. (2007), Santos et al. (2007) também comprovaram redução das perdas destes elementos em seus estudos ao adotarem uso de práticas conservacionistas.

7 CONCLUSÕES

O regime de escoamento para o período de estudo foi o laminar lento nos tratamentos de MMA e MN+F.

A intensidade de chuva influenciou nas perdas de solo e água para as diferentes práticas conservacionistas.

O tratamento mandioca morro abaixo (MMA) em relação aos demais tratamentos foi responsável pelo aumento da fragilidade do solo à erosão hídrica e maiores perdas de nutrientes, sendo um cultivo que requer uso de práticas conservacionistas.

A utilização do consórcio e aplicação da cobertura morta sobre o solo, para as diferentes intensidades de chuva aplicadas, foram práticas conservacionistas eficazes na diminuição da erosão hídrica, das perdas da água por escoamento superficial e dos nutrientes podendo ser utilizada pelos agricultores, como técnica de conservação do solo e água.

O maior conteúdo de umidade final do solo foi observado no tratamento MN+F+CM o qual foi influenciado pela interceptação da chuva pelo feijão, presença de curvas de nível e cobertura morta proporcionando maior infiltração.

As maiores perdas de nutrientes para todos os elementos estudados ocorreram nos sedimentos. Este comportamento indica que as práticas conservacionistas foram efetivas na redução do deslocamento dessas partículas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M.; BRADFORD, J. M. Methodologies for interrill soil erosion studies. **Soil & Tillage Research, Amsterdam**, v.49, n.4, p.277-87, 1999.

AKSOY, H., KAVVAS, M.L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. **Catena** v.65, p.247–271, 2005.

AKSOY, H.; UNAL, N. E.; COKGOR, S.; GEDIKLI, A.; YOON, J.; KOCA, K.; BORAN, S. I.; ERIS, E. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff sediment transport processes over a two-dimensional flume. **Catena** v.98, p.63–72, 2012.

ALBUQUERQUE, J. A. A.; SEDIYAMA, T.; ALVES, J. M. A.; SILVA, A. A.; UCHÔA, S. C. P. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.3, p.532-538, 2012.

ALENCAR, D. B. S. DE.; SILVA, C. L. DA.; OLIVEIRA, C. A. DA S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.103-112, 2006.

ALMEIDA, O. A. **Informações meteorológicas do CNP**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA – CNPMF. 1999. 35p. (EMBRAPA – CNPMF. Documentos, 34).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. Crop **Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and Drainage Paper 56**. Rome, 301p, 1998.

ALVES, A. A. C. Época de plantio. In: MATTOS, P. L. P de. GOMES, J de. C. (Coord.). O cultivo da mandioca. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura (**Circular Técnica n° 37**). p.28-29, 2000.

ALVES, J. J. A. **Geocologia da Caatinga no Semiárido do Nordeste Brasileiro**. Climatologia e estudos da paisagem (UFPB), v.2, p.58, 2007.

ALVES, J. M. A.; ARAÚJO, N. P.; UCHÔA, S. C. P.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, A. J.; RODRIGUES, G. S.; SILVA, D. C. O. Avaliação agroeconômica da produção de cultivares de feijão-caupi em consórcio com cultivares de mandioca em Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 3, n. 1, p.15-30, 2009.

AMORIM, R.S.S; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.124-130, 2001.

ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; DINIZ, E. J.; SANTIAGO, R. D.; OLIVEIRA P. K. B. Perda de solo e água por erosão num Latossolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes práticas agrícolas. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.20, n.1, p. 14-19, 1999.

ARDJASA, W. S.; ANDO, H.; KIMURA, M. Yield and soil erosion among cassava-based cropping patterns in South Sumatra. **Soli Science and Plant Nutrition**, Tokio, v.47, n.1, p.101-112, 2001.

BARBOSA, F.T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R.V. & PAZ GONZÁLEZ, A. Phosphorus losses in water and sediments in runoff of the water erosion in oat and vetch crops seed in contour and downhill. **Soil & Tillage Research**, v.106, p.22-28, 2009.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, pp.687-694, 1999.

BERTOL, I., BERTOL, C., BARBOSA, F. T. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1905-1910, 2012.

BERTOL, I.;GOBBI, E.; BARBOSA, F. T.; PAZ-FERREIRO, J.;GEBLER, L.; RAMOS, J. C.; WERNER, R. S. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e

solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 1421-1430, 2011.

BERTOL, I.; ENGEL, F.L.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.J. & RITTER, S.R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil & Tillage Research**, v.94, p.142-150, 2007.

BERTOL, I.B.; MELLO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V. & CARRAFA, M.R. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**, v.60, p.581-586, 2003.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3.ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BEZERRA, S. A. & CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.565-573, 2006.

BEZERRA, S. A., CANTALICE, J. R. B.; CUNHA FILHO, M.; SOUZA, W. L. S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um Cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1325-1332, 2010.

BOARDMAN, J., FAVIS-MORTLOCK, D. T. How will future climate change and land-use change affect rates of erosion on agricultural land. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF ASAE**, 2001, Honolulu. Soil Erosion Research for the 210 Century, HI, USA. 2001. p. 498-501.

BOIX-FAYOS, C., MARTÍNEZ-MENA, M., CALVO-CASES, A., CASTILLO, V., ALBADALEJO, J. Concise review of interrill erosion studies in SE Spain (Alicante and Murcia): erosion rates and progress of knowledge from the 1980s. **Land Degradation & Development**, v.16, p.517–528, 2005.

BORGES, T. K. S. **Desempenho de técnicas conservacionistas no controle da umidade, erosão hídrica e na produtividade do milho no semiárido Pernambucano**. 96f. 2013.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2013.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.1, p.711-721, 1999.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.3-9, 2009.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perdas 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.

CARVALHO, J. F.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOARES, T. M.; SILVA, Ê. F. F.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.256–263, 2011.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.117-124, 2003.

CASSOL, E.A.; CANTALICE, J.R.B.; REICHERT, J.M. & MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação o solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p. 685-690, 2004.

CHEN, C. L. Rainfall intensity-duration-frequency. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.109, n.12, p.1603-1621, 1983.

CLARKE, M.A., WALSH, R.P.D. A portable rainfall simulator for field assessment of splash and slopewash in remote locations. **Earth Surface Processes and Landforms** v.32, p.2052–2069, 2007.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. 1ª aproximação. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 2, 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA, 1978. 481p.

DAELLENBACH, G.C.; KERRIDGE, P.C.; WOLFE, M.S.; FROSSARD, E.; FINCKH, M.R. Plant productivity in cassava-based mixed cropping systems in Colombian hillside farms. **Agriculture, Ecosystems and Environment** v.105 p. 595–614, 2005.

DARONCO, C.; MELO, A. C. G.; MACHADO, J. A. R. Consórcio de espécies nativas da floresta estacional semidecidual com mandioca (*Manihot sculenta crantz*) para restauração de mata ciliar. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.2, p.291-299, 2012.

DEVIDE, A. C. P.; DUARTE, R. L. R.; VALLE, T. L.; ALMEIDA, D. L.; CASTRO, C. M.; FELTRAN, J. C. Produtividade de raízes de mandioca consorciada com milho e caupi em sistema orgânico. **Bragantia**, v.68, n.01, p.145-153, 2009.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J.M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho- Amarelo submetido a quatro padrões de chuvas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.485-493, 2001.

EMBRAPA – **Centro Nacional de Pesquisas de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro. 2 ed., 2006, 306 p.

FARENHORST, A.; BRYAN, R. B. Particle size distribution of sediment transported by shallow flow. **Catena**, v.25, n.2, p.47-62, 1995.

FAO - **Food and Agriculture Organization of The United Nations**. Roma (Italy), 2013. Statistical Databases – FAO STAT, disponível em: <http://faostat.fao.org> último acesso em 07/01/2013.

FREITAS, F. J.; BARROS CANTALICE, J. R.; AUGUSTO BEZERRA, S.; OLIVEIRA SILVA, M. D. R.; SANTOS, P. M.; CORREA, R. M.; LIMA, P. A. & FIGUEIRA, S. B.

Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1743-1751, 2008.

FINDELING, A., RUY, S., SCOPEL, E., Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. **Journal of Hydrology**, v. 275, p. 49–66, 2003.

FUKUDA, W. M. G. Variedades. In: MATTOS, P. L. P.; GOMES, J.C. (Ed). **O cultivo da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. p. 7-10. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 37).

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. S.; STROHHAECKER, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.953-957, 2000.

GASCHO, G.J.; WAUCHOPE, R.D.; DAVIS, J.G.; TRUMAN, C.C.; DOWLER, C.C.; HOOK, J.E.; SUMNER, H.R.; JOHNSON, A.W. Nitrate-nitrogen, soluble, and bioavailable phosphorus runoff from simulated rainfall after fertilizer application. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, p.1.711-1.718, 1998.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1427-1440, 2009.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.411-417, 2001.

GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I.; CASSOL, P. C. & AMARAL, A. J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 277-286, 2005.

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

Salomé. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.355–360, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-LPSA**. Rio de Janeiro, 2010.

JI, S., UNGER, P.W. Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.442–448, 2001.

JORDÁN, A.; ZAVALA, L.M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. **Catena**, v.81, p.77–85, 2010.

JULIEN, P. Y. **Erosion and sedimentation**. 1.ed. Melbourne: Cambridge University Press, 280p, 1995.

KATZ, D. M.; WATTS, F. J.; BURROUGHS, E. R. Effects of surface roughness and rainfall impact on overland flow. **Journal of the Hydraulics Division**, v.121, n.1, p.547-553, 1995.

LAL, R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.17, p. 319–464, 1998.

LIMA, C. A.; PALACIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; BRASIL, P. P. Characteristics of rainfall and erosion under natural conditions of land use in semi-arid regions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, v. 17, p. 1222-1229, 2013.

LORENZI, J. O. **Mandioca**. 1ª Ed., Campinas: CATI-Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2003. 116p. (CATI. Boletim Técnico, 245).

MAGLINAO, A.R., VALENTIN, C. **Community-based Land and Water Management Systems for Sustainable Upland Development in Asia: MSEC Phase 2. Annual Report for, IWMI-SEA, Bangkok, p.1–37, 2003.**

MARGOLIS, E.; GALINDO, I.C.L.; MELLO NETTO, A.V. Comportamento de sistemas de cultivo da mandioca em relação à produção e às perdas por erosão, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.357-362,1991.

MARTINOTTO, F.; MARTINOTTO, C.; BARBOSA COELHO, M. F.; AZEVEDO, R. A. B. ALBUQUERQUE, M. C. F. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p.22-29, 2012.

MARQUES, J.Q.A.; BERTONI, J.; BARRETO, G.B. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.20, n.47, p.1143-1182,1961.

MATTOS, P. L. P.; SOUZA, L. S.; SOUZA, J. S.; CALDAS, R.C. Consorciação da mandioca plantada em fileiras duplas e simples com culturas de ciclo curto. I. mandioca x caupi x milho. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.18, n.1, p.25-30, 2005a.

MATTOS, P. L. P.; SOUZA, L. S.; SOUZA, J.S; CALDAS, R. C. Consorciação da mandioca plantada em fileiras duplas e simples com culturas de ciclo curto. II. mandioca x caupi x milho. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.18, n.1, p.31-36, 2005b.

MERRITT, E. The identification of four stages during micro-rill development. **Earth Surf. Proc. Landf.**,v.9, p.493-496, 1984.

MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; SOBRINHO, T. A.; NUNES, A. C. S. & RUBIO, E. 2001. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.5, n.1, p.1-5. 2001.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V.P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109 p.139–149, 2013

MULUMBA, L. N. & LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil & Tillage Research**, v.98, p.106–111, 2008.

OLIVEIRA, J. R.; PINTO, M. F.; SOUZA, W. J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D.F. Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.14, n.2, p.140–147, 2010.

OYARZÁBAL, G. E. **Aproveitamento Integral da mandioca no Rio Grande do Sul: Rações à base de mandioca**. Porto Alegre: EMATER/RS, 1995. 64p.

OSHUNSANYA, S.O. Spacing effects of vetiver grass (*Vetiveria nigritana* Stapf) hedgerows on soil accumulation and yields of maize–cassava intercropping system in Southwest Nigeria. **Catena**, v.104, p.120–126, 2013.

PÉREZ-LATORRE, F. J.; CASTRO, L.; DELGADO, A. A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. **Soil & Tillage Research** v.107, p. 11–16, 2010.

PODWOJEWSKI, P.; ORANGE, D.; JOUQUET, P.; VALENTIN, C.; NGUYEN V. T.; JANEAU, J.L. TRAN, D. T. Land-use impacts on surface runoff and soil detachment within agricultural sloping lands in Northern Vietnam. **Catena** v.74, p. 109–118, 2008.

POLYAKOV, V.O. & NEARING, M.A. Sediment transport in rill flow under deposition and detachment conditions. **Catena**, v.51, p.33-43, 2003.

PUTTHACHAROEN, S.; HOWELER, R.H.; JANTAWAT, S.; VICHUKIT, V. Nutrient uptake and soil erosion losses in cassava and six other crops in a psamment in eastern Thailand. **Field Crops Research**, v.57, p. 113–126, 1998.

REES, H.W., CHOW, T.L., LORO, P.J., LOVOIE, J., MONTEITH, J.O., BLAAUW, A. Hay mulching to reduce runoff and soil loss under intensive potato production in Northwestern New Brunswick, Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, v.82, p.249–258, 2002.

REZENDE, J.O. **Solos coesos de tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000.117p.(séries estudos agrícolas).

SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; AANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R. Runoff, soil loss and soil nutrients in semiarid areas of uncultivated. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.813-820, 2011.

SANTOS, T. E. M. **Avaliação de técnicas de conservação de água e solo em bacia experimental do semi-árido pernambucano**. 60p. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2006.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, M. E. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.217–225, 2009.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, Ê. F. F.; LIMA NETO, J. A. Perdas de carbono orgânico, potássio e solo em Neossolo Flúvico sob diferentes sistemas de manejo no semi-árido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.2, n.2, p.143-149, 2007.

SARAH, P. Soil organic matter and land degradation in semi-arid area, Israel. **Catena** v. 67 p. 50 – 55, 2006.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JR., A.A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.437-447, 2000.

SILVA, I. F.; CAMPOS FILHO, O. R.; ANDRADE, A. P.; SANTIAGO, R. D.; CÔELHO, E. A. C. Características da chuva e perdas de solo e água por erosão em função de três sistemas de cultivo de mandioca. **Agropecuária Técnica**, v.20, n.1, p.20-27, 1999.

SILVA, J. V.; ALECRIM, M. A. B.; SILVA, D. O.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, R. J. Perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta equiânea em um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.4, p.579-584, 2010.

SILVA, A F.; SANTANA, L. M.; FRANÇA, C. R. R. S; MAGALHÃES, C. A. de S; ARAÚJO, C. R. & AZEVEDO, S. G. Produção de diferentes variedades de mandioca em sistema agroecológico **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.33–38, 2009.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo vermelho amarelo utilizando simulador de chuva. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. **Escolha da área e preparo do solo**. In: MATTOS, P. L. P de.; GOMES, J de. C. (Coord.). O cultivo da mandioca. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. (Circular Técnica n° 37). p. 14-15.

SOUZA, L. S.; FARIAS, A. R. N. MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura tropical, 2006, 817 p.

STATSOFT, Inc. **Statistica (data analysis software system)**, version 10. www.statsoft.com. 2011.

SWANSON, N.P. Rotating-boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE, St. Joseph**, v.8, n.1, p.71-2, 1965.

TÁVORA, F. J. A. F. & MELO, F. I. O. Crescimento e produção da mandioca submetida a dois arranjos de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.7, p.823-832, 1993.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.