

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

FRANCISCO ANTONIO DE OLIVEIRA LOBATO

**REGIME PLUVIOMÉTRICO E EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES
COBERTURAS VEGETAIS NO SEMIÁRIDO**

**FORTALEZA
2011**

FRANCISCO ANTONIO DE OLIVEIRA LOBATO

REGIME PLUVIOMÉTRICO E EROÇÃO HÍDRICA EM DIFERENTES COBERTURAS
VEGETAIS NO SEMIÁRIDO

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof^ª. Ph.D Eunice Maia de Andrade

L777r Lobato, Francisco Antonio de Oliveira

Regime pluviométrico e erosão hídrica em diferentes coberturas vegetais no semiárido / Francisco Antonio de Oliveira Lobato. – 2011.

67 f. : il. color., enc.

Orientadora: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2011.

1. Solos – Erosão 2. Erosão I. Andrade, Eunice Maia de (Orient.) II.

FRANCISCO ANTONIO DE OLIVEIRA LOBATO

REGIME PLUVIOMÉTRICO E EROÇÃO HÍDRICA EM DIFERENTES COBERTURAS
VEGETAIS NO SEMIÁRIDO

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em: 20 de maio de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ph.D Eunice Maia de Andrade (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros (Conselheiro)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

Dra. Ana Célia Maia Meireles (Conselheira)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Aos meus pais Francisco Wagner e Maria Polônia .À minha querida noiva Cleisce Lima. Aos meus irmãos Ernando, Erinaldo e Lourdes. Ao meu cunhado Ivam e às minhas cunhadas Aparecida e Vanderleny. Aos meus sobrinhos Aurora, Ivam Filho, Ariane, Matheus e Dyogo.

AGRADECIMENTOS

A meus pais Francisco Wagner Uchoa Lobato e Maria Polônia de Oliveira Lobato que mesmo enfrentando adversidades devido à pouca condição financeira conseguiram com muito esforço criar quatro filhos;

A meus queridos irmãos: Francisco Ernando de Oliveira Lobato, Antonio Erinaldo de Oliveira Lobato e Maria de Lourdes de Oliveira Lobato dos Santos;

À minha noiva Cleisce Agostinho de Lima, pessoa muito especial na minha vida, por está sempre disponível para ajudar e dar apoio;

Aos amigos que moram comigo: Francisco Clédio Sousa Beserra, Flavimacia Marques Bezerra e Orleandro Carlota da Silva pela excelente convivência;

A todos os tios, primos e demais parentes que sempre torceram por meu sucesso;

Ao colega do curso de agronomia, amigo e quase irmão José Frédson Bezerra Lopes pelo apoio e ajuda sempre que precisei e por ter sido o responsável pelo meu ingresso no grupo de pesquisa da professora Eunice;

À professora Eunice Maia de Andrade pelo apoio e orientação durante três anos e meio da graduação e ao longo do mestrado;

À doutora Ana Célia Maia Meireles pela orientação quando iniciei no DENA em 2005 e pela participação na banca examinadora;

Ao professor Pedro Henrique Augusto Medeiros pela sua participação na banca examinadora;

À Helba Araújo de Queiroz Palácio pelo apoio, amizade e por estar sempre disponível para ajudar as vezes que precisei, tanto no tempo que estava em Iguatu como em outras ocasiões e pelas sugestões dadas que ajudaram na conclusão desta dissertação;

Ao colega Julio Cesar Neves dos Santos pelas sugestões, pela convivência e pelo acolhimento em sua residência em Iguatu sempre que preciso;

Ao colega Fernando Bezerra Lopes pelo apoio, principalmente na etapa final deste trabalho;

Ao colega José Ailton da Silva Filho pelo acolhimento em sua casa quando eu estava em Iguatu;

A todos os bolsistas do grupo MASSA que ajudaram na coleta dos dados de campo em 2010: José Ailton da Silva Filho, Cleene Agostinho de Lima; Naiara Sâmia de Caldas Izídio; Cleisce Agostinho de Lima; Josivânia Rodrigues Barros; Adriana Alves Batista; José Ribeiro Araújo Neto (Junior); Gerlange Soares da Silva e Jardênia da Silva Lima;

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;

Aos colegas orientados da professora Eunice que passaram pela salinha nesses quase 5 anos que passei no DENA: Luis Carlos Guerreiro Chaves; José Frédson Bezerra Lopes, Joseilson Oliveira Rodrigues, Thales Gomes Afonseca, Fernando Bezerra Lopes, Deodato do Nascimento Aquino, Marcos Amauri Bezerra Mendonça, Meilla Marielle Araújo Rodrigues, Rebeca Mendes Feitoza, Francisco Jairo Soares Pereira Antonio Flávio Batista de Araújo, Lucio José de Oliveira, Francisco Dirceu Duarte Arraes, Nilvia Nara de Lucena Alves; Marcos Meireles; José Itamar Frota Junior; Helba Araújo de Queiroz Palácio, Eveline Salgado Viana; Marcio Antonio da Rocha da Freitas; Francisco Cleiton da Rocha, Julio Cesar Neves dos Santos, Naiyara Rochelli de Sousa Luna e José Ribeiro de Araújo Neto;

Aos colegas de graduação, especialmente os mais próximos: José Frédson Bezerra Lopes, Joilson Silva Lima, Alan Diniz Lima, Alan Bernard Oliveira de Sousa, Haroldo Ferreira Araújo, Daniel Rodrigues Cavalcante Feitosa e Ana Vlândia da Costa Brito;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, especialmente os que foram meus professores durante o mestrado: José Carlos de Araújo, Adunias dos Santos Teixeira; Francisco Marcus Lima Bezerra; Luiz de França Camboim Neto; Eunice Maia de Andrade e Julien Daniel Pierre Burte;

Aos professores de outros departamentos que foram meus professores no mestrado: Raimundo Nonato de Assis Junior do Departamento de Ciência do Solo e Ticiania Marinho de Carvalho Studart do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental;

A todos os colegas de trabalho da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE; À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa nos primeiros dois meses do mestrado;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de mestrado e pelo financiamento da pesquisa.

Para finalizar, quero pedir desculpas às pessoas que não mencionei nestes agradecimentos. Aos que eu esqueci, peço que não fiquem chateados, tendo em vista que é comum nos fugir a lembrança algo ou alguém e isso é uma característica inerente ao ser humano;

Esta terra é desmedida
e devia ser comum,
Devia ser repartida
um toco pra cada um,
mode morar sossegado.
Eu já tenho imaginado
Que a baixa, o sertão e a serra,
Devia sê coisa nossa;
Quem não trabalha na roça,
Que diabo é que quer com a terra?
(Patativa do Assaré)

LOBATO, Francisco Antonio de Oliveira, Universidade Federal do Ceará. Maio de 2011. **Regime pluviométrico e erosão hídrica em diferentes coberturas vegetais no semiárido.** Orientador: Eunice Maia de Andrade. Conselheiros: Pedro Henrique Augusto Medeiros e Ana Célia Maia Meireles

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar as perdas de solo por erosão hídrica em três microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a três diferentes uso da terra para três classes de altura pluviométrico. Como objetivos específicos, avaliar: i) o potencial erosivo de cada classe de precipitação para os anos de 2009 e 2010; a influência do tipo de cobertura das microbacias na erosão e o comportamento das microbacias que sofreram intervenção antrópica em relação a mata nativa inalterada. A pesquisa foi realizada em três microbacias hidrográficas denominadas de B1, B2 e B3 localizadas em área de Caatinga, no município de Iguatu, Ceará. Nas microbacias foram instaladas calhas Parshall com sensores de nível para se obter a altura da lâmina de água, torres coletoras de sedimentos para se quantificar os sedimentos em suspensão e pluviógrafos de báscula para se medir a precipitação. Na área da B1 foi feito um raleamento no intuito de avaliar a influência desse tratamento na erosão; a B2 permaneceu intacta durante todo o período de estudo; a B3 permaneceu intacta no ano de 2009 e no final deste ano toda sua área foi desmatada e os restos vegetais foram queimados, seguido do plantio de capim (*Andropogon gayanus* Kunth) para se verificar a resposta a esse tratamento no ano de 2010. Os resultados encontrados mostraram que: quanto à erosividade total, os eventos da classe de alturas pluviométricas menores que 30 mm apresentaram o maior potencial erosivo no ano 2009 e os das classes de 30 a 50 mm e superiores a 50 apresentaram a maior capacidade em 2010; as características de precipitação que apresentaram melhor correlação com a erosividade foram: intensidade, intensidade máxima em 30 minutos (I30) e em 45 minutos (I45); nos dois anos estudados, para o evento que apresentou a maior erosividade do ano não ocorreu perdas de solo, o que mostra que a erosividade por si só não explica os processos erosivos; embora a erosividade seja um fator importante na erosão, esta apresentou pouca correlação com as perdas de solo para as microbacias B1, B2 e B3; devido ao tipo de cobertura vegetal e à algumas áreas sem vegetação (bancos de sedimentos), no geral a B2 (microbacia intacta) apresentou as maiores perdas de solo no ano hidrológico de 2009; no ano de 2009, a B1 (microbacia raleada) no geral apresentou perdas de solo menores quando comparada a B2 devido à proteção propiciada pela cobertura rasteira; no ano de 2009, a B3 (microbacia intacta) apresentou as menores perdas de solo devido à menor declividade e a localização da torre coletora de sedimentos; o tratamento aplicado na B3 (queima com plantio de capim) propiciou as maiores perdas de solo nesta microbacia no ano de 2010.

Palavras-chave: Perdas de solo. Processos erosivos. Produção de sedimentos.

LOBATO, Francisco Antonio de Oliveira, Universidade Federal do Ceará. May 2011. **Rainfall and water erosion with diverse vegetation covers in the semiarid zone of the Brazilian northeast** Advisor: Eunice Maia de Andrade. Panel members: Pedro Henrique Augusto Medeiros and Ana Célia Maia Meireles

ABSTRACT

This study was aimed at evaluating the soil losses by erosion in three micro-watersheds on the semiarid zone, subjected to three different types of land use, for three classes of rainfall level. That said, its specific objectives consisted of evaluating: (i) the erosive potential of each class of rainfall for the years 2009 and 2010, (ii) which rainfall class (or classes) could account for most soil loss for the three types of land use, (iii) the influence of the type of ground cover in the erosion of the micro-watersheds and (iv) the performance of the micro-watersheds that have suffered human intervention as compared to that of the untouched area. The survey was conducted in three watersheds called B1, B2 and B3, which are located in a caatinga area, in the municipality of Iguatu, Ceará. In the micro-watersheds were installed: Parshall flumes with water level sensors, sediment collecting towers (to quantify the suspended sediment) and tipping bucket rain gauges to measure precipitation. In the B1 area, was made a thinning in order to evaluate the influence of this treatment on erosion, the B2 remained intact throughout the study period, the B3 remained intact in 2009 and later this year its whole area was cleared, burning the remaining plants and residue, followed by the planting of grass to check the response to this treatment in 2010. The results showed that, as to the total erosivity, the events of the (< 30mm) rainfall class showed the greatest erosion potential in the year 2009, while the events of the (30 to 50 mm) rainfall class and those of the (> 50 mm) rainfall class, had the greatest erosive potential in 2010. According to the same results, the characteristics that could be best correlated with the erosivity were: intensity, maximum intensity in 30 minutes (I30) and maximum intensity in 45 minutes (I45). In the two years studied, for the event with the highest erosivity of the year there were no soil losses, which shows that the erosivity alone does not explain the erosion. In spite of erosivity being an important factor in the erosion, it showed little correlation with soil loss for the watersheds B1, B2 and B3. Due to the type of vegetation and to some areas without vegetation (sediment banks), overall the (intact) B2 watershed had the highest soil loss in the hydrological year of 2009. In 2009, the (thinned) B1 watershed overall had less soil loss compared to B2, because of the protection provided by the undergrowth. Also in 2009, the (intact) B3 watershed had the lowest soil loss due to the lower slope and to the location of the sediment collecting tower. However, the treatment later applied to the B3 watershed (burning and planting with grass) caused it to suffer the greatest soil losses in the year of 2010.

Keywords: Soil losses. Erosion. Sediment yield.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	Mapa de solos do estado do Ceará (IPECE, 2010).....	17
FIGURA 2	Aspecto da vegetação rasteira da microbacia B1 no período chuvoso do ano de 2009 (RODRIGUES, 2009).....	22
FIGURA 3	Localização da área de estudo no estado do Ceará.....	26
FIGURA 4	Média mensal normal da precipitação do posto Iguatu (1974 a 2010).....	28
FIGURA 5	Perfil do solo (a), fenda formada no período de estiagem (b) e poça formada no período chuvoso após o evento pluviométrico (c).....	29
FIGURA 6	Aspecto da microbacia B1 depois do raleamento.....	31
FIGURA 7	Realização do plantio do capim <i>Andropogon gayanus</i> Kunth na microbacia B3 (a) e aspecto da área quatro meses após o plantio.....	31
FIGURA 8	Pluviógrafo de báscula (a) e pluviômetro Ville de Paris (b) instalados na área de estudo.....	32
FIGURA 9	Calha Parshal (a) e detalhe do sensor de nível (linígrafo) usado para medir a altura da água na calha (b).....	34
FIGURA 10	Torre coletora de sedimento (a) e em detalhe as garrafas que armazenam a água proveniente do escoamento superficial (b).....	35
FIGURA 11	Cápsulas na estufa para quantificação dos sólidos suspensos totais.....	36
FIGURA 12	Relação entre altura pluviométrica e intensidade de chuva para os anos de 2009 (a) e 2010 (b).....	39
FIGURA 13	Relação entre intensidade e duração dos eventos pluviométricos para os anos de 2009 (a) e 2010 (b).....	40
FIGURA 14	Relação entre altura erosividade e intensidade máxima em 30 minutos consecutivos (I30) para os anos de 2009 (a) e 2010 (b).....	41
FIGURA 15	Correlação entre erosividade e os parâmetros: precipitação, intensidade de chuva, intensidade máxima em 5 minutos (I5), 15 minutos (I15) e 45 minutos (I45) consecutivos para o ano de 2009.....	43
FIGURA 16	Correlação entre erosividade e os parâmetros: precipitação, intensidade de chuva, intensidade máxima em 5 minutos (I5), 15 minutos (I15) e 45 minutos (I45) consecutivos para o ano de 2010.....	44
FIGURA 17	Lâmina escoada (LE) e produção de sólidos totais para o ano de 2009 nas microbacias B1, B2 e B3.....	45
FIGURA 18	Depósito de sedimentos a montante da calha Parshall da microbacia B3.....	46
FIGURA 19	Lâmina escoada (LE) e produção de sólidos totais para o ano de 2010 nas microbacias B1, B2 e B3.....	47
FIGURA 20	Aspecto da cobertura rasteira na microbacia B1 no período chuvoso em 06 de abril de 2009.....	51
FIGURA 21	Aspecto do solo das microbacias na estação seca.....	54
FIGURA 22	Áreas sem cobertura vegetal na microbacia B2.....	56
FIGURA 23	Depósito das partículas de solo desprendidas pela erosão na microbacia B3 no ano de 2010.....	57
FIGURA 24	Correlação entre perdas de solo e erosividade e perdas de solo e I30 nas microbacias B1 (a, b), B2 (c, d) e B3 (e, f).....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Características morfométricas das microbacias B1, B2 e B3.....	27
TABELA 2	Algumas características meteorológicas da região.....	27
TABELA 3	Dados das análises físico-químicas do solo representativo das microbacias B1 e B2.....	30
TABELA 4	Dados das análises físico-químicas do solo da microbacia B3.....	30
TABELA 5	Dados de precipitação, duração dos eventos, intensidade (I), intensidade máxima em 30 minutos (I30) e erosividade (R) dos anos de 2009 e 2010 na área de estudo.....	38
TABELA 6	Lâmina escoada (LE), sólidos suspensos e perdas de solo dos anos de 2009 e 2010 nas microbacias B1, B2 e B3 para as três classes de altura pluviométrica estudados.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 O semiárido brasileiro	15
2.1.1 Vegetação	15
2.1.4 Solos	16
2.1.2 Pluviometria	18
2.2 Escoamento superficial	19
2.3 Erosão hídrica	22
2.4 Efeito da cobertura do solo nos processos erosivos	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Localização	26
3.2 Clima	27
3.3 Solos	28
3.4 Uso da terra	30
3.5 Processo chuva-deflúvio	32
3.5.1 Precipitação	32
3.5.2 Escoamento superficial	33
3.5.3 Produção de sedimentos	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Regime pluviométrico	37
4.2 Perdas de solo	45
5 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O desmatamento indiscriminado para a formação de novas lavouras, aliadas à retirada de madeira para benfeitorias, lenha e carvão, e às queimadas sucessivas com manejo inadequado do solo tem contribuído, juntamente com as secas prolongadas, para comprometer o frágil equilíbrio do meio ambiente da região Nordeste. (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002). Como consequências se tem o aumento dos processos erosivos que resulta na perda da capacidade produtiva dos solos devido à remoção da camada superficial do solo, no assoreamento dos corpos hídricos, no aumento das áreas em processo de desertificação, dentre outras.

A erosão consiste nos processos de desprendimento, transporte e deposição das partículas de solo, ocasionados pela ação do vento (erosão eólica) e da água (erosão hídrica), sendo a principal causa da degradação de terras agrícolas. (PRUSKI, 2006a). Destes dois tipos, a erosão hídrica tem abrangência em quase toda a superfície do globo, em especial em regiões tropicais, onde os totais precipitados são mais elevados. (CARVALHO *et al.*, 2003).

O processo de erosão resulta de uma combinação de fatores que são dependentes e estão interligados entre si, e apresentam grande variabilidade espacial e temporal, tornando este fenômeno difícil de equacionar e quantificar. Os fatores que influenciam os processos erosivos são a erosividade da precipitação (medida pela sua intensidade e energia cinética), a erodibilidade dos solos (definida pelas suas características físicas e químicas), a cobertura vegetal (pela sua maior ou menor proteção do solo), os declives e comprimentos das encostas e as práticas de conservação existentes. (HAAN; BARFIELD; HAYES, 1994; PONCE ÁLVARES; PIMENTA, 1998).

A erosão promove a quebra da estrutura do solo e o transporte das partículas com conseqüente carreamento dos nutrientes químicos, matéria orgânica e microorganismos gerando o empobrecimento das áreas agrícolas e poluindo as fontes hídricas. As perdas por erosão tende a elevar os custos de produção na agropecuária, uma vez que requer um aumento no uso de fertilizantes, corretivos e energia. (CARVALHO *et al.*, 2003; PRUSKI, 2006a). Segundo Schick *et al.* (2000), as perdas de nutrientes por erosão hídrica é um dos principais fatores determinantes do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas com aumentos nos seus custos de produção.

Carvalho *et al.* (2005) destacam que o conhecimento e a quantificação dos fatores que influenciam a erosão hídrica são fundamentais para o planejamento de uso e manejo do

solo. Ressaltam também que a quantificação das características físicas das chuvas associadas ao seu potencial erosivo, são imprescindíveis na determinação de índices de erosividade adequados para cada região.

No Brasil, poucos são os estudos básicos realizados sobre características físicas das precipitações, sendo que os existentes são para um número reduzido de anos. Outro problema é a escassez de dados de perda de solo obtidos em experimentos de chuva natural e de longa duração, o que tem dificultado o desenvolvimento de índices de erosividade adaptados para as condições brasileiras. (CARVALHO *et al* ,2005). A escassez de informações confiáveis no Brasil, especialmente em pequenas bacias hidrográficas, tem levado à aplicação de metodologias desenvolvidas em outras regiões (principalmente Estados Unidos e Europa) para bacias com características fisiográficas e meteorológicas diferentes, resultando em valores estimados não confiáveis. (MELLO *et al.*, 2003).

Segundo Mello, Lima e Silva (2007), um dos grandes desafios da hidrologia, sobretudo, em microbacias hidrográficas que possuem comportamento efêmero (em que o escoamento é observado somente durante ou logo após a precipitação) é entender o comportamento do ciclo hidrológico em função de diferentes usos e manejos do solo. Os autores ainda ressaltam que a hidrologia dessas microbacias é uma área pouco estudada.

No semiárido nordestino a situação de escassez de informações é ainda maior quando comparada a outras regiões. Rodrigues (2009) afirma que apesar de existir alguns estudos no semiárido, mais pesquisas devem ser implementadas para se gerar informações em escala de microbacias de escoamento efêmero, principalmente investigando a ação antrópica na alteração de processos naturais. Ressalta ainda a importância de um monitoramento contínuo para que se possa gerar informações qualitativas e quantitativas consistentes desses processos.

Diante do exposto, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar as perdas de solo por erosão hídrica em três microbacias hidrográficas de escoamento efêmero do semiárido submetidas a três diferentes usos da terra para três classes de altura pluviométrica. Os objetivos específicos foram avaliar: o potencial erosivo de cada classe de precipitação para os anos de 2009 e 2010; a influência do tipo de cobertura das microbacias na erosão e o comportamento das microbacias que sofreram intervenção antrópica em relação a mata nativa inalterada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O semiárido brasileiro

A região semiárida do Brasil é a mais populosa do mundo, apresentando uma população de aproximadamente 20 milhões de habitantes. A região ocupa 18,27% do território brasileiro com uma área de 1.561.177,8 km², onde 962.857,3 km² situam-se no Polígono das Secas (que abrange os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e 86 municípios do norte de Minas Gerais), delimitado em 1936, através da Lei nº 175 de 07/01/1936. (SUDENE, 2011).

A região apresenta insolação média de 2800 h ano⁻¹; precipitação anual média igual ou inferior a 800 mm; temperatura média entre 23 e 27 °C; solos em sua maioria arenos-argilosos e pobres em matéria orgânica; cristalino como substrato dominante; limitações pluviométricas e baixa retenção de água pelos solos. (SUDENE, 2010).

As características hidrológicas gerais e edafoclimáticas do Nordeste são semelhantes às de outros semiáridos do mundo no que concerne à existência de secas periódicas alternadas por cheias frequentes dos seus rios temporários. A região semiárida do Nordeste Brasileiro apresenta características bem peculiares quando comparada a outras regiões áridas ou semiáridas do mundo, tendo em vista que cerca de 50% do seu domínio é ocupado por afloramentos rochosos, sem possibilidade de grande armazenamento de água subterrânea. (REBOUÇAS, 2010). O autor supracitado enfatiza que, como consequência dessa característica, os rios localizados nessas áreas são temporários (escoam apenas no período chuvoso ou pouco tempo depois do mesmo).

2.1.1 Vegetação

O bioma predominante na região é a floresta denominada Caatinga, abrangendo uma área de 73.683.649 ha, correspondendo a 6,83% do território nacional. (IBAMA, 2010). A palavra Caatinga é originária do tupi-guarani e significa “mata branca” ou “floresta branca”

(KAA – floresta, mata e TINGA – branco, claro). (ALVES, 2007). Essa denominação se deve ao fato de no período de estiagem a vegetação apresentar aspecto branco ou prateado como consequência da perda das folhas da grande maioria das plantas.

A Caatinga é um bioma único, genuinamente brasileiro, que apesar de estar localizado num clima semiárido, apresenta grande variedade de paisagens, relativa riqueza biológica e endemismo. (IBAMA, 2010). É um dos biomas mais ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável de seus recursos naturais, principalmente solo, água e vegetação, além de ser o menos conhecido cientificamente e ser tratado com baixa prioridade. (FRANCA-ROCHA *et al.*, 2007; IBAMA, 2010; MAIA; 2004).

A vegetação é composta por três estratos: arbóreo (8 a 12 metros), arbustivo (2 a 5 metros) e o herbáceo (abaixo de 2 metros). A vegetação é ramificada, com um aspecto arbustivo, tendo folhas pequenas ou modificadas em espinhos (adaptações para reduzir as perdas por evapotranspiração). A grande maioria das espécies vegetais perde as folhas no período seco para sobreviver até que inicie um novo período chuvoso, quando as folhas voltam a brotar. Existem espécies que armazenam água na época seca (bromélias e cactáceas, por exemplo). A vegetação é distribuída de forma irregular, contrastando áreas que se assemelham às florestas, com áreas com solo quase descoberto. Em algumas áreas, também existem solos férteis (“ilhas de umidade”), são os chamados brejos, localizados normalmente próximos às serras, onde a abundância de chuvas é maior. (SEIA, 2010; WWF, 2010).

2.1.4 Solos

A região Nordeste se caracteriza por apresentar terrenos cristalinos (praticamente impermeáveis) e sedimentares (com boa reserva de água subterrânea). (ALVES, 2007). Segundo Campos (1997), em torno de 50% da área do Polígono da Secas apresenta embasamento cristalino, praticamente impermeável, com capacidade de acumulação de água apenas nas zonas de fraturas. Os solos na sua maioria são pouco desenvolvidos, mineralmente ricos, pedregosos, pouco rasos e com fraca capacidade de retenção de água. (ALVES, 2007). Seus principais tipos são os Luvisolos, os Planossolos, os Neossolos Litólicos e os Neossolos Regolíticos, (Figura 1) todos inadequados para uma agricultura convencional. Também podem ser encontradas manchas de solos com aptidão agrícola. (FUNDAJ, 2010).

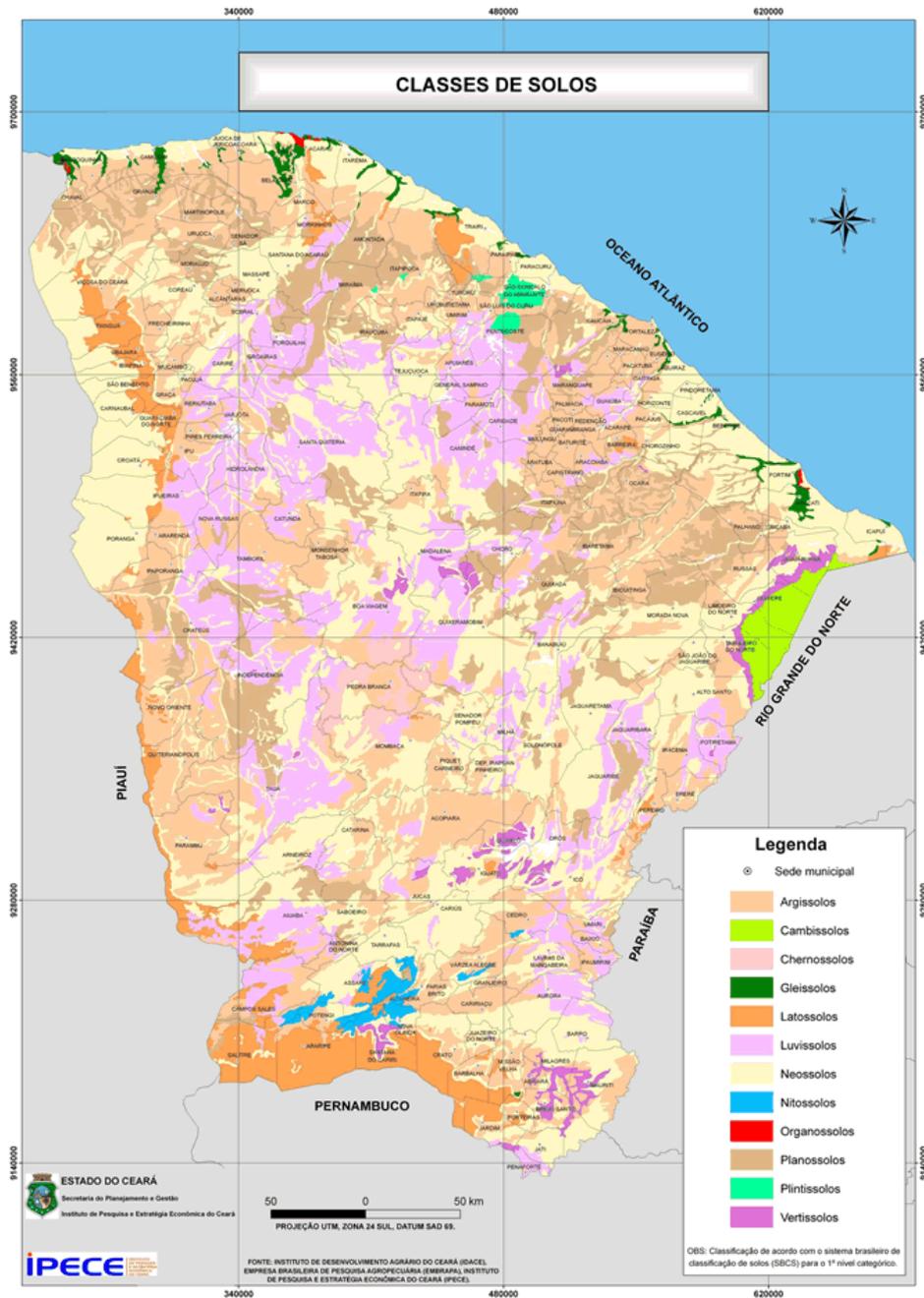


Figura 1 – Mapa de solos do estado do estado do Ceará (IPECE, 2010)

Outras características inerentes ao solo da região, assim como das regiões áridas e semiáridas em geral, são a baixa quantidade de matéria orgânica e a alta proporção da fração silte. Essas características fazem com que estes solos apresentem maior susceptibilidade à erosão devido a pouca estabilidade dos seus agregados. (ABU-AWWAD; SHATANAWI, 1997; FARIAS, 2008; ONDA *et al.*, 2007).

A alta quantidade de silte no solo o deixa mais vulnerável à erosão devido ao fato dessas partículas serem mais facilmente carregadas pelo fluxo de água por ter baixas pegajosidade e plasticidade. (UFSM, 2008). Já a matéria orgânica, juntamente com outras substâncias (argila, colóides de ferro e alumínio, dentre outras), atua como agente cimentante do solo, formando os agregados (estrutura do solo) que oferecem maior resistência ao processo da erosão. (AMARO FILHO; ASSIS JÚNIOR; MOTA, 2008; CEDDIA, 2008). Devido aos solos de regiões áridas e semiáridas serem pobres em matéria orgânica, estes são mais propícios à erosão, visto que a matéria orgânica é muito importante na formação da estrutura do solo já que tem característica cimentante.

2.1.2 Pluviometria

Os processos climáticos geradores de precipitação sobre a região Nordeste do Brasil são excessivamente complexos, associados ao comportamento de variados sistemas de circulação atmosférica e aos fatores orográficos, de maritimidade e continentalidade. A principal resultante desses processos é a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação na região, que interfere também no seu regime hidrológico. (PARAÍBA, 2008).

Segundo Campos (1997), cerca de 90% do total precipitado anualmente na região se concentra nos primeiros seis meses do ano. No norte da região, predominam as chuvas do sistema da zona de convergência intertropical (ZCIT); na parte sul, atuam os sistemas frontais que alcançam até a Bahia; no litoral a pluviosidade anual supera a 1000 mm, e mesmo a 2000 mm em alguns casos; nos sertões, está em torno de 700 mm. (CAMPOS, 1997).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) corresponde à faixa de encontro dos ventos alísios de nordeste (procedentes do hemisfério Norte) com os do sudeste (vindos do hemisfério Sul). Caracteriza-se por alta instabilidade atmosférica que favorece o desenvolvimento de intensas correntes ascendentes, com formação de grandes nuvens convectivas, geradoras de precipitação abundante. (VAREJÃO-SILVA, 2005;).

O El Niño ocorre quando as temperaturas do Pacífico na região dos Niños (faixa do oceano Pacífico, próximo à linha equatorial, nas proximidades da costa do Peru) apresenta-se superior à normal. Com isso, a pressão atmosférica na região torna-se menor, o que resulta na formação de ramos convergentes de ar em sua direção. Em consequência, o deslocamento de massas de ar em direção ao Nordeste brasileiro é dificultado, implicando em baixas

precipitações na região. (SEMARH, 2010). Já o La Niña, é resultante da diminuição da temperatura na região dos Niños, o que resulta em maior pressão atmosférica. Esta maior pressão implica na formação de ramos divergentes de ar em direção à Austrália e ao Nordeste do Brasil. Ao contrário do El Niño, o La Niña desloca massas de ar para o Nordeste, resultando em precipitações acima da média. (SEMARH, 2010).

O Dipolo do Atlântico Tropical também influencia a precipitação do Nordeste. Quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias, existem movimentos descendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, podendo causar secas (dipolo negativo). Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e países da África Ocidental, acelerando a formação de nuvens e aumentando a precipitação e provocando enchentes em muitas ocasiões (dipolo positivo). (ARAGÃO, 1998).

Para estudos de escoamento superficial, além da altura pluviométrica, é imprescindível se avaliar a duração do evento, sua intensidade e a influência do evento anterior na geração de escoamento (FIGUEIREDO, 2011). Reis *et al.* (2005), afirmam que a frequência de ocorrência das precipitações e a seqüência com que estas ocorrem, apresenta grande importância nos estudos de erosão dos solos.

A capacidade da chuva de erodir o solo (erosividade) depende da energia cinética das gotas e da intensidade da precipitação. No cálculo da erosividade, considera-se a energia cinética (que depende da intensidade da chuva) e a intensidade máxima ocorrida em trinta minutos consecutivos (I_{30}), daí a importância da intensidade dos eventos pluviométricos.

Em relação à influência do evento anterior no escoamento superficial, ressalta-se a importância da umidade antecedente do solo. Segundo Sequinatto *et al.* (2006), a vazão somente se inicia depois de algum tempo do início da precipitação devido, possivelmente, ao fato do solo necessitar de um certo tempo para umedecer e só depois se inicia o escoamento superficial e a drenagem no perfil para que ocorra a transferência do volume de água até a calha. Ressalta-se que quanto maior a umidade do solo no momento do início de um evento, mais rápido o escoamento se inicia.

2.2 Escoamento superficial

Após o início do evento pluviométrico, parte da água é interceptada pela vegetação, parte infiltra no solo e parte pode ser retida em depressões da superfície do terreno. Se a duração da chuva continuar, após o preenchimento dessas depressões, terá início o escoamento superficial propriamente dito. (ALENCAR; SILVA; OLIVEIRA, 2006). Associado ao escoamento ocorre também o transporte de partículas de solo que são desagregadas pela erosão. (SILVA et al, 2006). Rancy, Oliveira e Sampaio (2002), afirmam que das fases do ciclo hidrológico, o escoamento superficial é a que possui a maior importância para o manejo e conservação dos recursos naturais solo, água e planta.

O escoamento superficial pode ser dividido em componentes, destacando-se o escoamento superficial direto e o de base ou subterrâneo. O escoamento superficial direto é a parcela da precipitação que excede a capacidade de infiltração do solo e escoam sobre a superfície, gerando cheias e é freqüente quando ocorrem precipitações muito intensas e/ou quando o solo já está muito umedecido e com capacidade de infiltração reduzida. Esta parcela do escoamento é conhecida como precipitação efetiva ou deflúvio superficial e sua importância está diretamente associada a dimensionamentos hidráulicos, como barragens, terraços, bacias de contenção e controle da erosão hídrica. (PRUSKI *et al.*, 2003 apud SILVA *et al.*, 2008; TUCCI, 2001).

Diversos processos estão envolvidos na geração do escoamento superficial, tendo cada um diferentes respostas a um dado evento pluviométrico. Dentre os processos que interferem no escoamento superficial de uma microbacia estão a precipitação, a interceptação, a evapotranspiração, a infiltração, a retenção e o armazenamento superficial. (HAAN; BARFIELD; HAYES, 1994).

A variação da vazão de um curso d'água, decorrente de precipitação ocorrida na bacia, pode ser avaliada por meio de aparelhos apropriados, como os linígrafos, que registram as alturas das lâminas d'água no decorrer do tempo (TUCCI, 2002). Tendo-se a altura da lâmina no ponto de controle (exutório), esta pode ser correlacionada à vazão de um curso por intermédio da curva-chave. (ALENCAR; SILVA; OLIVEIRA, 2006).

Nos últimos anos têm sido feitos diversos estudos relacionados a escoamento superficial e/ou a erosão, tendo em vista que esses processos estão associados a grandes perdas econômicas em virtude do assoreamento e contaminação dos corpos hídricos e das perdas de nutrientes nas lavouras, afetando diretamente a população humana. Alves (2008) estudou a relação entre vazão de pico e intensidade máxima da precipitação em 5 minutos (I_5) em uma microbacia denominada B2 em Iguatu, CE. Os resultados mostraram que a maior

vazão de pico ($740 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) do ano hidrológico de 2008 ocorreu no dia 12 de março, dia em que ocorreu a maior chuva do ano (126 mm) com a maior intensidade máxima em 5 minutos. No estudo foi verificado também que as vazões no início do período foram menores. De acordo com a autora, com exceção dos eventos extremos, foi observado que a vazão apresenta maior dependência da umidade antecedente do solo do que da intensidade de chuva.

No período chuvoso de 2008, Lobato *et al.* (2009) estudaram as perdas de solo em quatro parcelas de erosão com diferentes coberturas e declividades, associando-as com a altura da precipitação no município de Iguatu. Quando se avaliou as perdas totais de solo, os menores valores foram observados nas áreas que predominavam a cobertura de vegetação rasteira, enquanto que as maiores perdas ocorreram na área de vegetação rasteira e rala. Os autores supracitados, ainda verificaram que na área com cobertura de porte alto (com predomínio de vegetação arbustivo arbóreo) ocorreu a segunda maior perda total de solo, o que foi associado ao fato das gotas menores se juntarem na copa das árvores, formando gotas maiores que quando atingem o solo são capazes de desprender mais partículas quando comparado as gotas menores. Ressalta-se que Aguiar *et al.* (2006) também observaram esse comportamento em Sistemas Agroflorestais (SAFs) em Sobral – CE.

No ano de 2009, Rodrigues (2009) estudou o processo chuva-deflúvio em quatro microbacias denominadas B1, B2, B3 e B4 localizadas em uma área experimental em Iguatu, estado do Ceará. O autor chama a atenção para a grande variabilidade entre os valores dos parâmetros lâmina escoada (LE), vazão máxima (Q_{\max}), coeficiente de escoamento superficial (C) e volume escoado, ressaltando que apenas a altura pluviométrica não é suficiente para explicar esse comportamento. Chama atenção para os eventos ocorridos dos dias 12 e 18 de fevereiro de 2009 para a microbacia B1, que apresentaram precipitação de 43,60 mm e 47,43 mm, respectivamente, porém seus volumes foram de $6,58 \text{ m}^3$ e $112,87 \text{ m}^3$, respectivamente. Segundo o autor, o baixo volume de 12/02 pode ser atribuído à magnitude do evento anterior e ao intervalo de tempo sem precipitação.

Ao comparar o escoamento das microbacias B1 (que se tinha sido raleada) e B2 (vegetação nativa), o autor supracitado verificou que o volume escoado na B1 era maior no início do período chuvoso de 2009, sendo que a partir de 12 de fevereiro, o volume escoado na B2 passou a ser superior. Esse comportamento foi atribuído ao rápido crescimento da vegetação rasteira na B1 quando do início da quadra chuvosa, fato bem evidenciado no local (Figura 2), mostrando a importância da vegetação na geração e na quantidade do escoamento superficial.



Figura 2 – Aspecto da vegetação rasteira da microbacia B1 no período chuvoso do ano de 2009 (RODRIGUES, 2009).

2.3 Erosão hídrica

A erosão consiste no destacamento das partículas de solo, seu transporte e deposição nas partes mais baixas pela ação da água (erosão hídrica) ou do vento (erosão eólica), sendo a principal causa da degradação de áreas agrícolas. (HAAN; BARFIELD; HAYES, 1994; PRUSKI, 2006a). Devido à erosão eólica ter um menor grau de importância nas regiões tropicais e não ser o foco do presente estudo será dado enfoque à erosão hídrica.

Quanto à origem, existem dois tipos de erosão: geológica ou natural e acelerada. A erosão geológica é uma ocorrência normal dos processos de modificação da crosta terrestre e é percebida somente com o decorrer de longos períodos. Ela envolve a remoção das partículas e o seu transporte sem intervenção humana. A erosão acelerada é aquela induzida, principalmente, por ação antrópica, tendo alta rapidez e grande poder destrutivo. (HILU, 2003; SANTOS JÚNIOR; SÁ; ARAÚJO, 2010).

Os fatores que afetam a erosão são erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento e declividade da encosta (fator topográfico), cobertura do solo e práticas de conservação do solo.

A erosividade é a capacidade da chuva promover erosão e depende da energia cinética da gota e da intensidade da precipitação. Wischmeier e Smith (1958 apud PRUSKI, 2006b) propuseram um índice denominado EI_{30} que melhor expressa a erosividade da chuva, definido como sendo o produto da energia cinética da chuva (E) pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de trinta minutos consecutivos (I_{30}).

Devido à grande dificuldade de se obter os dados de intensidade de chuva, diversos autores têm desenvolvido equações para algumas regiões para obter a erosividade da chuva mensal com base no total pluviométrico do mês de interesse e da precipitação média anual da região. Silva (2004) apresenta uma divisão do Brasil em 8 (oito) diferentes regiões e para cada uma apresentou uma equação para erosividade mensal, desenvolvidas por diferentes autores. Para o estado do Ceará, Silva Filho (2003) desenvolveu equações para o Sertão (com base nos postos: Tauá, Jaguaribe, Canindé, Jaguaratama e Castanhão), Litoral (como base nos postos de Coreaú e Fortaleza) e para todo o estado como base nos sete postos pluviométricos já citados.

A erodibilidade expressa a susceptibilidade do solo à erosão, sendo uma propriedade intrínseca que depende da capacidade de infiltração e de armazenamento de água e das forças de resistência do solo à ação da chuva e do escoamento superficial. (PRUSKI, 2006b). De acordo com Correchel (2003), a resistência do solo à erosão depende de fatores extrínsecos e intrínsecos ao solo. Os fatores intrínsecos são as propriedades físicas (textura, estrutura, permeabilidade, densidade, matéria orgânica), químicas, mineralógicas e biológicas do solo e os extrínsecos são o comprimento, a forma, o declive de rampa, o manejo adotado e a cobertura.

A erodibilidade do solo pode ser obtida indiretamente por meio de uma representação gráfica denominada nomograma, método desenvolvido por Wischmeier *et al.* (1971 apud HAAN; BARFIELD; HAYES, 1994), que considera percentagem de silte e de areia muito fina, percentagem de areia (entre 0,1 e 2 mm), permeabilidade e percentagem de matéria orgânica.

O comprimento e a declividade da encosta também influenciam nos processos erosivos. O aumento do comprimento da rampa acelera a erosão, pois aumenta o volume de água que escoar. Com relação a declividade, quando esta aumenta, aumenta a energia da água e, como consequência, sua capacidade erosiva. (PARANHAS FILHO *et al.*, 2003).

2.4 Efeito da cobertura do solo nos processos erosivos

A cobertura vegetal das bacias hidrográficas sofre várias modificações (naturais ou artificiais) que produzem os mais variados impactos no meio ambiente. O escoamento superficial é um dos primeiros fatores a serem alterados quando a cobertura vegetal é modificada e, conseqüentemente, a produção de sedimentos. (SANTOS *et al.*, 2000).

A degradação dos recursos naturais, principalmente solo, água e vegetação tem se apresentado como um grande problema da atualidade. A remoção indiscriminada da vegetação para extração de lenha e madeira para suprir às demandas das famílias, das cerâmicas e padarias tem contribuído para a degradação do bioma Caatinga. (AGUIAR *et al.*, 2006).

De acordo com Sampaio e Salcedo (1997 apud AGUIAR *et al.*, 2006) a retirada de madeira para suprir a demanda por lenha, associada às áreas agrícolas é responsável pela maior parte das áreas desmatadas nos estados do Ceará (53%), Rio Grande do Norte (66%), Paraíba (49%) e Pernambuco (55%). De acordo com Maia (2004), no estado do Ceará a área ocupada pela caatinga é de 12.692.600 ha (quase 85% do território estadual), porém, o Ceará é o estado do Nordeste em que a Caatinga se encontra em maior estágio de devastação, tendo apenas 16% da vegetação nativa.

O solo descoberto com a retirada da madeira fica sem nenhuma proteção contra o impacto das gotas de chuva, tornando-se mais vulnerável aos processos erosivos. A gota provoca o desprendimento das partículas de solo, deixando-as disponíveis para serem carregadas pela água de escoamento superficial. Por sua vez, o escoamento gerado também causa a desagregação das partículas, aumentando ainda mais o processo erosivo.

A erosão transporta as partículas do solo com conseqüente carreamento dos nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas, que poluem os mananciais, além de causar prejuízos à agropecuária. As perdas por erosão tendem a elevar os custos de produção na agropecuária, uma vez que requer um aumento no uso de fertilizantes e corretivos. (CARVALHO *et al.*, 2003). Schick *et al.* (2000), afirmam que as perdas de nutrientes por erosão hídrica é um dos principais fatores determinantes do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas com aumentos nos seus custos de produção. Outra conseqüência da erosão provocada pelo uso irracional do solo é o assoreamento de reservatórios, o que resulta na diminuição do volume de água armazenado, como mostrado por Araújo (2003).

Em estudos sobre o efeito do desmatamento nas perdas de solo por erosão na bacia do Sumé – PB, Albuquerque *et al.* (2002), mostraram que as perdas de solo em parcelas sem vegetação são muito superiores às com vegetação. Os autores afirmam que essa diferença é devido à remoção da cobertura vegetal da superfície do solo.

Seganfredo, Eltz e Brum (1997) afirmam que das diversas variáveis que afetam a erosão, a cobertura vegetal é o fator de maior influência e que a proteção do solo pode ser proporcionada por plantas vivas ou seus resíduos (serapilheira) e a extensão da cobertura por plantas vivas depende do tipo de planta, tipo de folha e das raízes. De acordo com Haan, Barfield e Hayes (1994), os efeitos do fator cobertura do solo, em geral, podem ser divididos em três categorias: efeitos acima da superfície do solo (interceptação das chuvas e absorção da energia das gotas), efeitos de superfície (se referem às condições e à capacidade de transporte do escoamento gerado) e efeitos de subsuperfície (efeitos do sistema radicular das plantas, dos restos de raízes mortas, dos resíduos incorporados e da umidade do solo na erosão).

Já Brooks *et al.* (1991) consideram que o fator cobertura do solo para condições de ecossistemas naturais, apresenta três diferentes tipos de efeitos que são considerados como subfatores: (i) efeitos da cobertura do dossel; (ii) efeitos das plantas herbáceas, da cobertura morta e da serapilheira e (iii) efeitos do tipo de uso do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

A área objeto do presente estudo pertence ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Iguatu e está localizada no município de Iguatu – Ceará entre as coordenadas geográficas 6°23'35'' a 6°23'60'' S e 39°15'15'' a 39°15'35'' W. O laboratório de campo é composto por três microbacias hidrográficas, denominadas B1, B2 e B3 (Figura 3 e Tabela 1) e estão inseridas na bacia do Alto Jaguaribe.

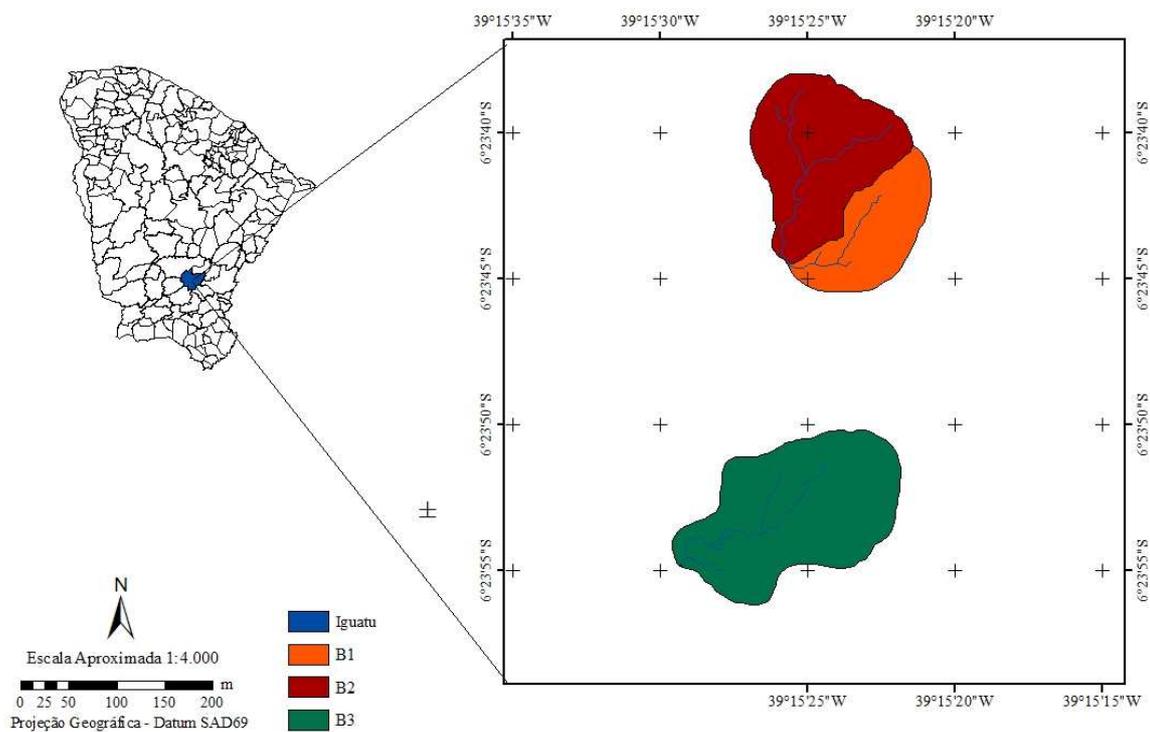


Figura 3 – Localização da área de estudo no estado do Ceará

As microbacias apresentam cursos de primeira e segunda ordem de acordo com o critério de classificação introduzido por Horton e modificado por Strahler. (VILLELA; MATTOS, 1975). Apresentam escoamento efêmero, onde o fluxo de água no canal principal se faz presente durante um tempo médio de no máximo 24 horas após o término do evento pluviométrico. (RODRIGUES, 2009).

Tabela 1 – Características morfométricas das microbacias B1, B2 e B3

Características	Microbacias			Unid.
	B1	B2	B3	
Área	1,15	2,06	2,80	ha
Perímetro	478,35	594,50	696,75	m
Comprimento do talvegue (Lt)	120,54	183,87	187,90	m
Comprimento do curso principal (Lcp)	147,18	252,11	238,20	m
Comprimento da bacia (Lb)	188,17	204,40	253,90	m
Declividade média da bacia (Db)	8,72	10,59	5,57	%
Fator de forma (Rf)	0,32	0,49	0,43	-
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,25	1,16	1,17	-
Tempo de concentração (Tc)	0,05	0,06	0,07	h
Extensão média do escoamento superficial	19,5	20,50	18,92	m
Sinuosidade do curso principal (Sin)	1,20	2,06	2,80	-

3.2 Clima

O clima da região é do tipo BSw'h'- semiárido quente com chuvas de outono e temperatura média mensal sempre superior a 18 °C. A região apresenta um elevado fluxo de energia solar e insolação resultando em elevadas taxas de evapotranspiração potencial (Tabela 2). O regime pluviométrico apresenta uma distribuição unimodal (Figura 4), havendo uma concentração de 74,6% entre os meses de Jan-Abr. Outras características do regime pluviométrico da região são a alta intensidade e a elevada variabilidade espacial e temporal. (LOPES *et al.*, 2006).

Tabela 2 – Algumas características meteorológicas da região.

Parâmetros	Valor	Tempo
Pluviometria (mm ano ⁻¹)	805,3	SIRH/CE (2008)
Temperatura máxima média (°C)	32,6	AGRITEMPO (2008)
Temperatura mínima média (°C)	21,9	AGRITEMPO (2008)
Temperatura média (°C)	26-28	IPECE (2004)
Radiação solar média anual (kWh m ⁻² dia)	5,63	SOLARTERRA (2008)
Insolação (h ano ⁻¹)	2945,0	
Umidade relativa do ar (%)	66,1	
Evaporação (mm ano ⁻¹)	2943,0	COTEC (1989 apud
Velocidade média anual do vento (m s ⁻¹)	1,8	Palácio, 2004)

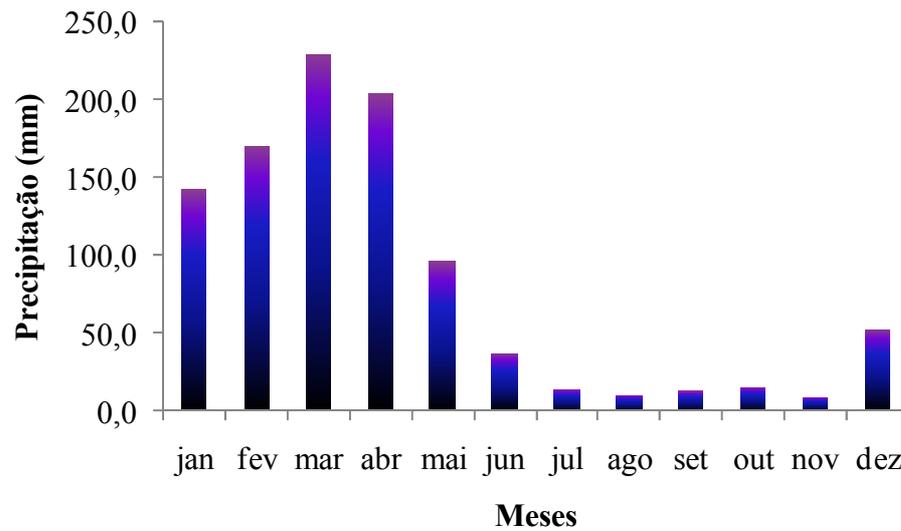


Figura 4 – Média mensal normal da precipitação do posto Iguatu (1974 a 2010)

3.3 Solos

Para se fazer a classificação do solo foram abertas duas trincheiras: uma representando as microbacias B1 e B2 e outra para a B3 (Figura 5a). Os solos das três microbacias foram classificados como Vertissolo Ebânico Carbonático Típico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. (EMBRAPA, 2006). No período seco, o solo das microbacias se contrai formando fendas (Figura 5b) e na estação chuvosa, facilmente se encharca dificultando o acesso e a locomoção (Figura 5c).

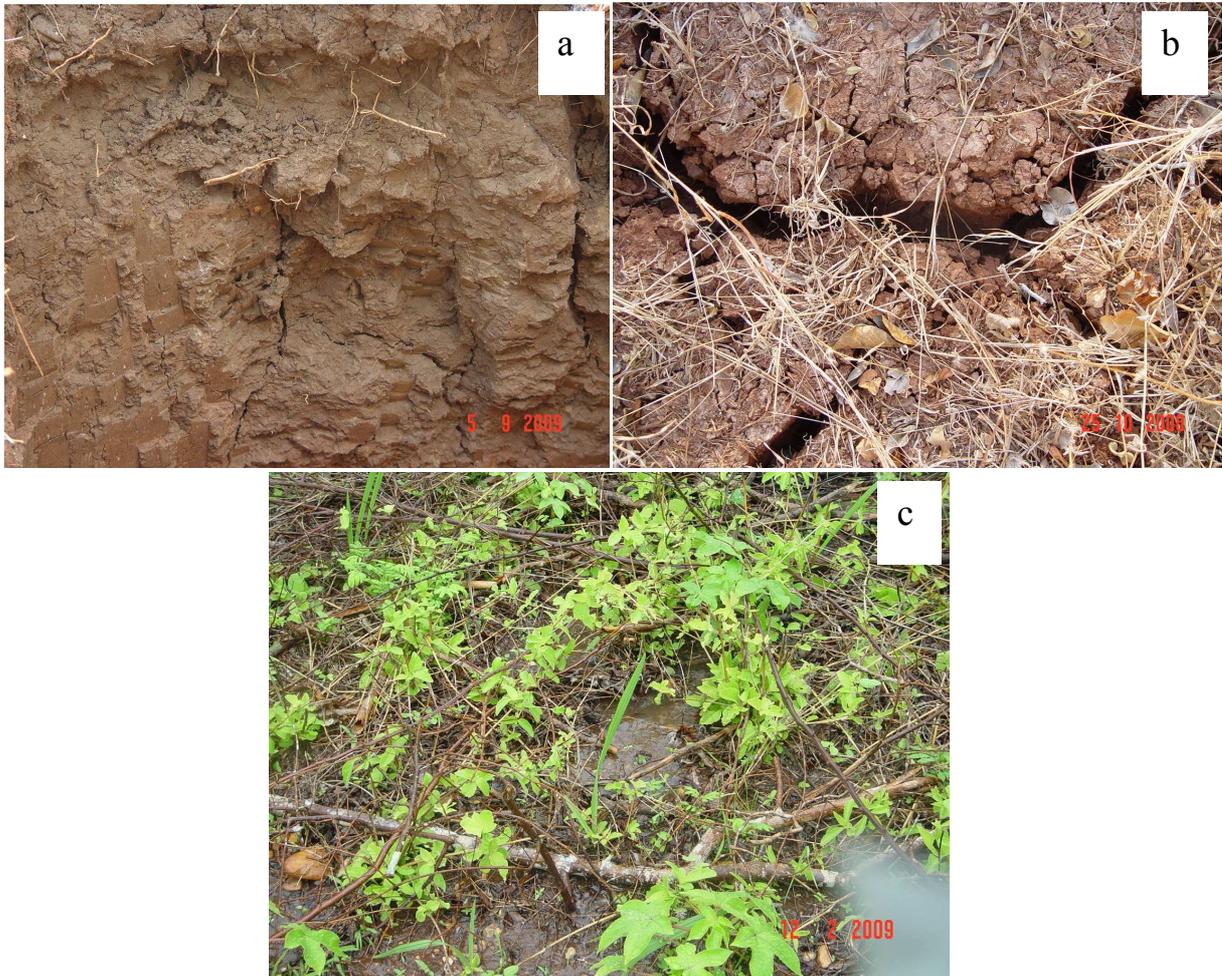


Figura 5 – Perfil do solo (a), fenda formada no período de estiagem (b) e poça formada no período chuvoso após o evento pluviométrico (c)

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados dados da caracterização físico-química do solo das microbacias levantados a partir de amostras coletadas nas trincheiras para cada horizonte. As análises foram realizadas nos Laboratórios de Física e de Química do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará.

Tabela 3 – Dados das análises físico-químicas do solo representativo das microbacias B1 e B2

Horizonte	A	B	BCv
Profundidade (cm)	0 - 5	5 - 21	21 - 31
Parâmetros físicos			
Granulometria (g kg ⁻¹)			
Areia	137	205	182
Silte	447	405	470
Argila	416	390	348
Classe textural			
Parâmetros químicos			
C (g kg ⁻¹)	24,10	13,30	10,20
Cálcio (cmol _c kg ⁻¹)	35,00	43,00	39,00
Magnésio (cmol _c kg ⁻¹)	12,00	10,00	8,60
Sódio (cmol _c kg ⁻¹)	0,13	0,13	0,15
Potássio (cmol _c kg ⁻¹)	1,04	0,37	0,29

Tabela 4 – Dados das análises físico-químicas do solo da microbacia B3

Horizonte	A	B1	B2	C1
Profundidade (cm)	0 - 25	25 - 103	103 - 116	116 - 137
Parâmetros físicos				
Granulometria (g kg ⁻¹)				
Areia	315	291	166	322
Silte	425	387	502	478
Argila	260	322	332	200
Classe textural				
Parâmetros químicos				
C (g kg ⁻¹)	8,31	5,75	5,44	3,86
Cálcio (cmol _c kg ⁻¹)	18,00	20,00	18,00	20,80
Magnésio (cmol _c kg ⁻¹)	15,20	12,40	10,00	14,20
Sódio (cmol _c kg ⁻¹)	0,81	1,42	3,37	5,32
Potássio (cmol _c kg ⁻¹)	0,21	0,19	0,23	0,21

3.4 Uso da terra

No final da estação seca do ano de 2008 havia sido realizado um raleamento na microbacia B1, onde as espécies vegetais com caule de diâmetro igual ou superior a 10 cm e espécies de porte herbáceo foram mantidas intactas. Ressalta-se que galhos dos indivíduos eliminados foram mantidos espalhados sobre a área (Figura 6) como proteção à ação direta da

chuva sobre o solo. Já a vegetação da microbacia B2 foi mantida intacta (com vegetação nativa) durante todo o período de estudo.



Figura 6 – Aspecto da microbacia B1 depois do raleamento

Quanto à microbacia B3, no período chuvoso de 2009 a mesma se encontrava com sua vegetação nativa. Já no segundo semestre de 2009, foi realizada supressão da vegetação seguida da queima e em janeiro de 2010 realizou-se o plantio do capim *Andropogon gayanus* Kunth na área (Figura 7). Esse tratamento foi feito com o objetivo de observar o comportamento do escoamento superficial e da produção de sedimentos na área, tendo em vista essa prática ser comum no semiárido.



Figura 7 – Realização do plantio do capim *Andropogon gayanus* Kunth na microbacia B3 (a) e aspecto da área quatro meses após o plantio (b)

3.5 Processo chuva-deflúvio

3.5.1 Precipitação

Na área estudada existem 3 (três) pluviógrafos de báscula (Figura 8a) instalados: um na microbacia B1, representado as microbacias B1 e B2, um na microbacia B3 e um em outra microbacia, denominada B4, não contemplada pelo presente estudo. Cada basculada dos pluviógrafos corresponde a 0,254 mm e o equipamento é ligado a um datalogger que coleta e armazena os dados a cada 5 minutos. Os dados de precipitação foram obtidos do pluviógrafo da microbacia B4, que dista aproximadamente 270 e 550 m das microbacias B1/B2 e B3, respectivamente. O fato de se ter utilizado apenas os dados do pluviógrafo da B4 se deve a maior confiabilidade nos dados medidos por este equipamento, o que foi constatado fazendo a comparação com as medições obtidas nos 3 (três) pluviômetros Ville de Paris (Figura 8b) instalados na área.



Figura 8 – Pluviógrafo de báscula (a) e pluviômetro Ville de Paris (b) instalados na área de estudo

Tendo como base os resultados de outros estudos que afirmam que a altura pluviométrica não é um parâmetro suficiente para explicar o comportamento hidrológico de uma bacia, foram calculados as seguintes características para cada evento: duração, intensidade (I), intensidade máxima em 5 minutos (I_5), em 15 minutos (I_{15}), em 30 minutos

(I30), em 45 minutos (I45) e erosividade (R). Também dividiu-se os eventos em 3 (três) classes de altura pluviométrica: valores menores que 30 mm; maiores que 30 mm e menores que 50 mm e precipitações superiores a 50 mm. Os intervalos considerados neste estudo foram os mesmos adotados por Lobato et al. (2009).

A erosividade foi calculada por meio da equação 1 e 2.

$$R = EC * I_{30} \quad (1)$$

em que:

R – erosividade da chuva (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹)

EC – energia cinética associada à chuva (MJ ha⁻¹ mm⁻¹)

I₃₀ – intensidade máxima em 30 minutos consecutivos (mm h⁻¹)

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (2)$$

em que: I – intensidade da chuva (mm h⁻¹)

3.5.2 Escoamento superficial

O escoamento superficial foi medido através de calhas Parshall (Figura 9a) instaladas nos exutórios (ponto de controle) das microbacias. A altura da água que passa pelas calhas foi medida por meio de sensores capacitivos que funcionam como linígrafo (Figura 9b). Estes medem a frequência (kHz), sendo necessária a calibração para se obter as alturas de água na calha Parshall. A descrição detalhada de como foi feita a calibração dos sensores pode ser encontrada em Rodrigues (2009). Com a calibração, foram obtidas curvas específicas para cada sensor, que relacionam frequência e altura da água na calha. As equações 3 e 4 mostram as curvas dos sensores das microbacias B1 e B2, respectivamente.



Figura 9 – Calha Parshal (a) e detalhe do sensor de nível (linígrafo) usado para medir a altura da água na calha (b)

Durante todo o ano de 2009 até o dia 15 de março de 2010, o sensor utilizado na microbacia B3 foi o da equação 5. A partir dessa data, devido a um problema no sensor, houve a substituição do linígrafo e a equação para determinação da altura do nível de água na calha passou a ser feita por meio da equação 6.

$$\text{Freq} = -2326,1 \ln(h) + 9469,6 \quad (3)$$

$$\text{Freq} = -2217,3 \ln(h) + 8970,5 \quad (4)$$

$$\text{Freq} = -2415,7 \ln(h) + 9880,7 \quad (5)$$

$$\text{Freq} = -2506 \ln(h) + 12096 \quad (6)$$

em que:

Freq – frequência obtida no sensor (kHz);

h – altura em cm do nível de água na calha Parshall

De posse dos dados de nível de água nas calhas, calculou-se a vazão por meio da equação 7 para então se obter o volume escoado para cada microbacia.

$$Q = 3,72W * 0.0086^{W^{0,026}} * h^{1,393 * W^{0,026}} \quad (7)$$

em que:

Q - vazão da calha Parshall ($L s^{-1}$);

W - largura do estrangulamento da calha (cm), que é de 47,5 cm para as calhas das microbacias B1 e B2 e de 30 cm para a calha da microbacia B3;

h – altura do nível de água na calha (cm).

3.5.3 Produção de sedimentos

Em cada microbacia, a montante da calha Parshall, tem instaladas torres coletoras de sedimentos em suspensão. As torres possuem aberturas que ligam o meio externo a garrafas de 100 mL por meio de tubos plásticos (Figura 10). A altura inicial de coleta é de 15 cm e as demais estão espaçadas 5 cm entre si. Sempre que acontece um evento gerador de escoamento suficiente para que água atinja altura da(s) abertura(s), água é coletada na(s) garrafa(s).

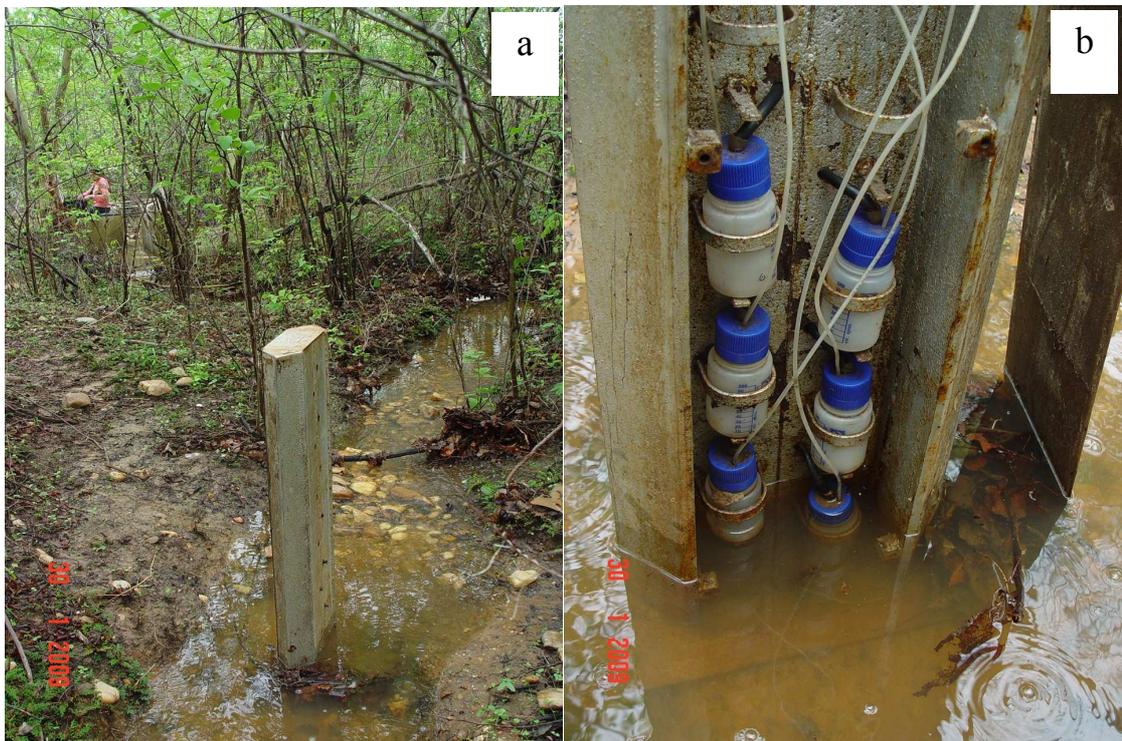


Figura 10 – Torre coletora de sedimento (a) e em detalhe as garrafas que armazenam a água proveniente do escoamento superficial (b)

A água coletada nas garrafas coletoras era levada ao Laboratório de Água, Solos e Tecidos Vegetais – LABAS do IFCE, campus Iguatu, para se fazer a quantificação dos

sólidos suspensos – SS (Figura 11), conforme a metodologia descrita por Piveli e Kato (2005). A análise dos sólidos era feita para cada garrafa coletora individualmente, sendo que para os eventos em que houve coleta em diferentes alturas foram feitas médias das concentrações dos sólidos.



Figura 11 – Cápsulas na estufa para quantificação dos sólidos suspensos totais

De posse dos resultados das análises de sólidos suspensos totais foi quantificada a perda de solo para as três microbacias (B1, B2 e B3) utilizando a equação 8.

$$PS = \frac{SS \times V}{1.000.000 \times A} \quad (8)$$

em que:

PS – perda de solo (kg ha^{-1});

SS – sólidos suspensos (mg L^{-1});

V – volume escoado (L);

A – área da microbacia (ha)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Regime pluviométrico

Pelos dados referentes aos eventos pluviométricos para as três classes de precipitação dos anos de 2009 e 2010 (Tabela 5), nota-se claramente a baixa correlação existente entre altura pluviométrica e intensidade da chuva (Figura 12), tendo em vista que a intensidade depende também da duração do evento.

Tabela 5 – Dados de precipitação, duração dos eventos, intensidade (I), intensidade máxima em 30 minutos (I30) e erosividade (R) dos anos de 2009 e 2010 na área de estudo

Evento	Prec. (mm)	Dur. (h)	I (mm h⁻¹)	I30 (mm h⁻¹)	R (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹)
Ano de 2009					
< 30 mm					
04/fev	15,6	1,17	13,33	26,01	87,85
04/mar	21,4	1,83	11,68	29,58	134,45
13/abr	23,4	2,75	8,50	18,80	87,91
19/abr	24,9	2,00	12,45	32,51	173,66
24/abr	23,1	2,42	9,56	19,81	93,68
25/abr	24,6	2,58	9,54	26,42	133,11
30/abr	29,2	0,75	38,95	55,88	420,89
08/mai	22,9	1,92	11,93	36,98	178,08
13/mai	20,1	0,83	24,08	36,07	173,37
Total	205,2	-	-	-	1483,00
30 – 50 mm					
18/03	42,4	3,67	11,57	29,46	264,72
15/abr	49,3	5,00	9,86	38,10	386,30
17/abr9	39,9	2,25	17,72	49,28	448,06
Total	131,6	-	-	-	1099,08
> 30 mm					
30/jan	76,0	1,92	33,79	62,22	1017,48
12/fev	59,7	3,17	13,37	40,29	522,60
18/fev	58,9	2,75	17,25	61,72	825,40
Total	183,3	-	-	-	2365,48
Ano de 2010					
< 30 mm					
19/mar	12,5	1,08	11,49	17,78	47,02
28/mar	10,7	1,25	8,53	14,73	31,47
29/mar	28,7	3,00	9,57	25,91	152,17
12/abr	11,9	2,25	5,31	9,14	19,83
29/abr	13,2	1,25	10,57	23,88	65,69
14/mai	9,91	0,92	10,81	15,75	32,66
Total	86,91	-	-	-	348,84
30 – 50 mm					
27/mar	47,5	1,92	24,78	52,32	598,24
19/abr	46,2	3,92	11,80	53,85	529,16
Total	93,7	-	-	-	1127,40
> 50 mm					
15/fev	57,7	4,25	13,57	58,93	740,27
21/mar	80,3	9,08	8,84	39,12	633,30
11/abr	62,2	5,50	10,39	36,07	466,30
30/abr	56,1	3,25	17,27	43,18	550,27
Total	256,3	-	-	-	2390,14

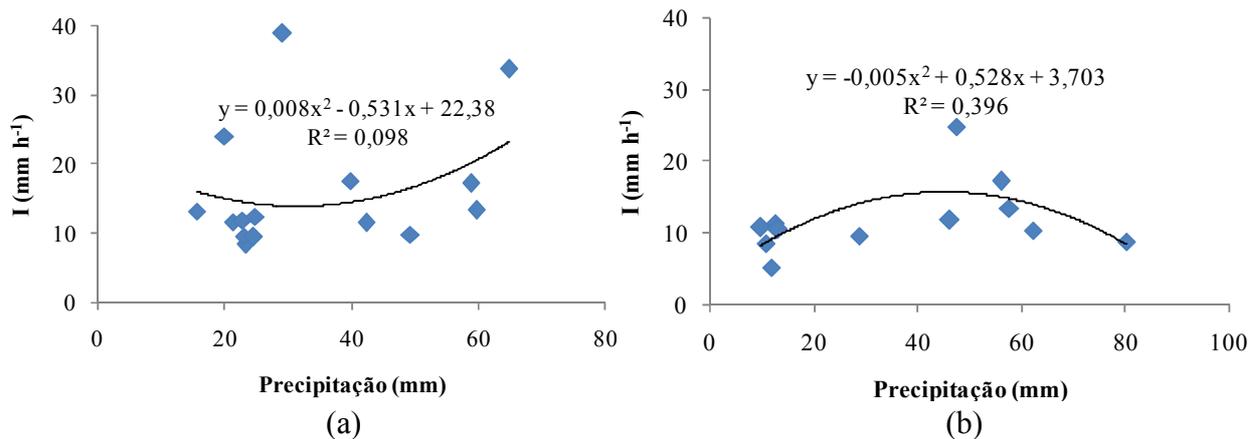


Figura 12 – Relação entre altura pluviométrica e intensidade de chuva para os anos de 2009 (a) e 2010 (b)

Para a classe de alturas pluviométricas inferiores a 30 mm de 2009 se dispõe de 9 (nove) eventos, com precipitação variando de 15,55 mm a 29,2 mm. O evento mais intenso da classe (30/04/2009) teve intensidade de 38,95 mm h⁻¹ e duração de 0,75 h (45 min). Nota-se que, nessa data, a precipitação foi de apenas 29,2 mm, porém, foi a maior chuva dentre todas as outras menores que 30 mm e a de menor duração, daí a explicação para a alta intensidade observada.

No ano de 2010, para a primeira classe (precipitações menores que 30 mm) o evento de maior precipitação (29/03/2010) apresentou maior duração (3 horas), maior I30 (25,91 mm h⁻¹) e maior erosividade (152,17 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). O evento que apresentou menor erosividade da classe foi o de 12/04/2010 (19,83 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). Ressalta-se que este foi o segundo evento mais duradouro da sua classe e sua erosividade foi a menor dentre todos os eventos de 2010. O menor evento da classe em altura de precipitação (9,91 mm) ocorreu em 14/05/2010, sendo também o de menor duração do ano. Na Figura 13 estão apresentadas as correlações entre intensidade e duração do evento para os anos de 2009 e 2010. Nota-se que existe baixa correlação entre os parâmetros, o que reforça o fato destes serem inversamente proporcionais.

O evento menos intenso foi o do dia 13/04/2009 (8,50 mm h⁻¹), o que se deve ao fato da sua longa duração, que foi de 2,75 h. Vale destacar que a erosividade nessa data foi de 87,91 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, valor muito similar ao do dia 04/02/2009 que foi de 87,85 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. A erosividade é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, entre as quais a sua quantidade, intensidade e energia cinética. (SILVA *et al.*, 2009).

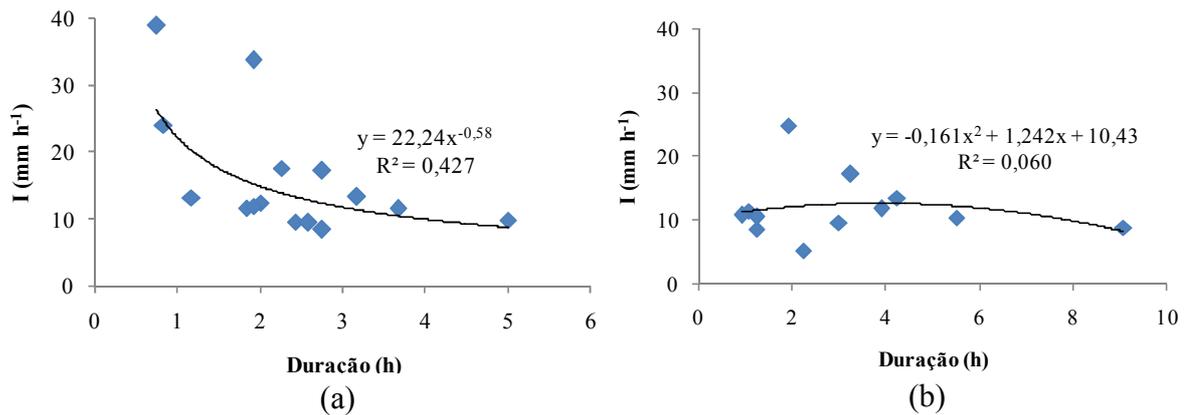


Figura 13 – Relação entre intensidade e duração dos eventos pluviométricos para os anos de 2009 (a) e 2010 (b)

O maior evento da classe de precipitação entre 30 e 50 mm de 2009 (49,3mm) apresentou intensidade de apenas $9,86 \text{ mm h}^{-1}$, o que se deve à duração do evento que foi de 5 horas. Já o evento de 17/04/2009 teve menos da metade da duração em relação ao de 15/04/2009 e intensidade 1,8 vezes superior. Observa-se que o evento de 17/04/2009 foi o que apresentou maior erosividade. Ao observar as três características do evento consideradas no cálculo desse parâmetro, que são precipitação, intensidade e I30, nota-se que os dois últimos se apresentaram superiores no evento mais erosivo (17/04/2009).

Analisando os dois eventos desta classe para o ano de 2010, observa-se que a diferença de precipitação entre eles é de 1,3 mm e que a diferença na duração dos eventos é de 2 horas. Essa grande diferença no tempo de duração dos eventos faz com que os mesmos apresentem intensidades muito diferentes, porém, seus valores de I30 são muito próximos e, conseqüentemente, suas erosividades, mostrando a correlação existente entre I30 e erosividade. (Figura 14).

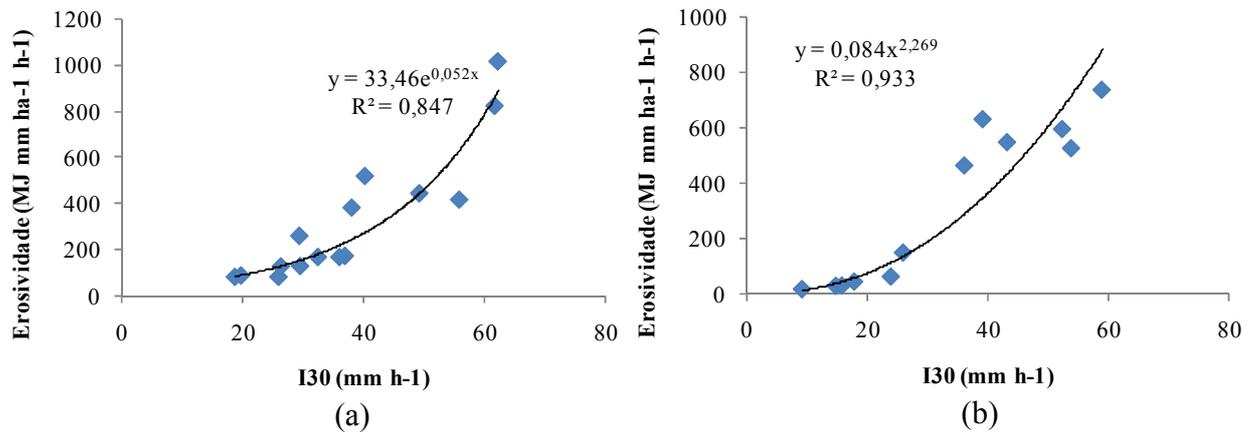


Figura 14 – Relação entre altura erosividade e intensidade máxima em 30 minutos consecutivos (I30) para os anos de 2009 (a) e 2010 (b)

Comparando os eventos inseridos na classe de 30 a 50 mm para os dois anos, nota-se que dos três eventos de 2009 apenas um (15/04/2009) foi superior aos dois de 2010 em lâmina precipitada. No entanto esse evento apresentou a maior duração dentre os cinco desta classe para os dois anos e segunda menor erosividade. Os dois eventos de 2010 apresentaram valores de erosividade superiores aos de 2009 com total de 1127,40 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e, portanto, as duas precipitação de 2010 (27/03 e 19/04/2010) apresentaram maior capacidade erosiva que as de 2009 para esta mesma classe.

Dentre os eventos superiores a 50 mm do ano de 2009, o maior em altura pluviométrica foi o que apresentou a menor duração (1,92 h), o maior I30 e a maior erosividade de todos os eventos, independente da classe de altura pluviométrica. Ao observar os outros dois eventos (12 e 18/02/2009), nota-se que a diferença entre eles quanto a precipitação é de apenas 0,77 mm, no entanto as durações diferentes faz com as intensidades sejam diferentes. A maior erosividade (825,40 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) foi gerada pelo evento mais intenso e de maior I30 (18/02/2009).

Para 2010, dentre os quatro eventos dessa classe, o de 21/03/2010 foi o de maior precipitação (80,3 mm) e maior duração e, conseqüentemente, o menos intenso. Quanto aos eventos de 15/02/2010 e 30/04/2010, verifica-se que quanto à altura pluviométrica eles se diferenciaram apenas em 1,6 mm e quanto a duração em 1 hora. O de maior duração (15/02) é o de menor intensidade, porém, tem maior I30 (58,93 mm h⁻¹) e maior erosividade (740,27 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹).

Analisando os anos de 2009 e 2010 para essa classe, observa-se que os dois eventos de maior erosividade ocorreram em 2009 (30/01 e 18/02/2009). A erosividade média

desse ano foi de 788,49 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, enquanto que a de 2010 foi 597,54 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Observando a erosividade total da classe para os dois anos, verifica-se que os eventos de 2010 apresentam capacidade erosiva um pouco superior que ao de 2009, sendo que as erosividades totais foram muito próximas (2365,48 e 2390,14 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ para 2009 e 2010, respectivamente).

Quando se analisa todos os eventos de 2009 e 2010, independente da classe observa-se que no geral os valores de erosividade são menores na classe de precipitações inferiores a 30 mm. Na classe entre 30 e 50 mm as erosividades são maiores quando comparadas à primeira classe. E os eventos superiores a 50 mm apresentaram os maiores valores de erosividade.

Na Figura 15 estão apresentadas as correlações existentes entre o fator erosividade e os parâmetros precipitação, intensidade, I5, I15 e I45 do ano de 2009. Nota-se que dentre estes índices o que apresentou maior correlação com a erosividade foi o I45 com R² de 0,886, mostrando que 88,6% da erosividade de 2009 pode ser explicada pela intensidade de precipitação máxima ocorrida em 45 minutos consecutivos (I45).

A precipitação também apresentou alta correlação com a erosividade no ano de 2009, com um R² de 0,817 (81,7% da erosividade de 2009 pode ser explicada pela altura pluviométrica). Dentre os índices apresentados na Figura 16, a intensidade foi o parâmetro de chuva que teve menos correlação com o fator erosividade de precipitação com R² de 0,374.

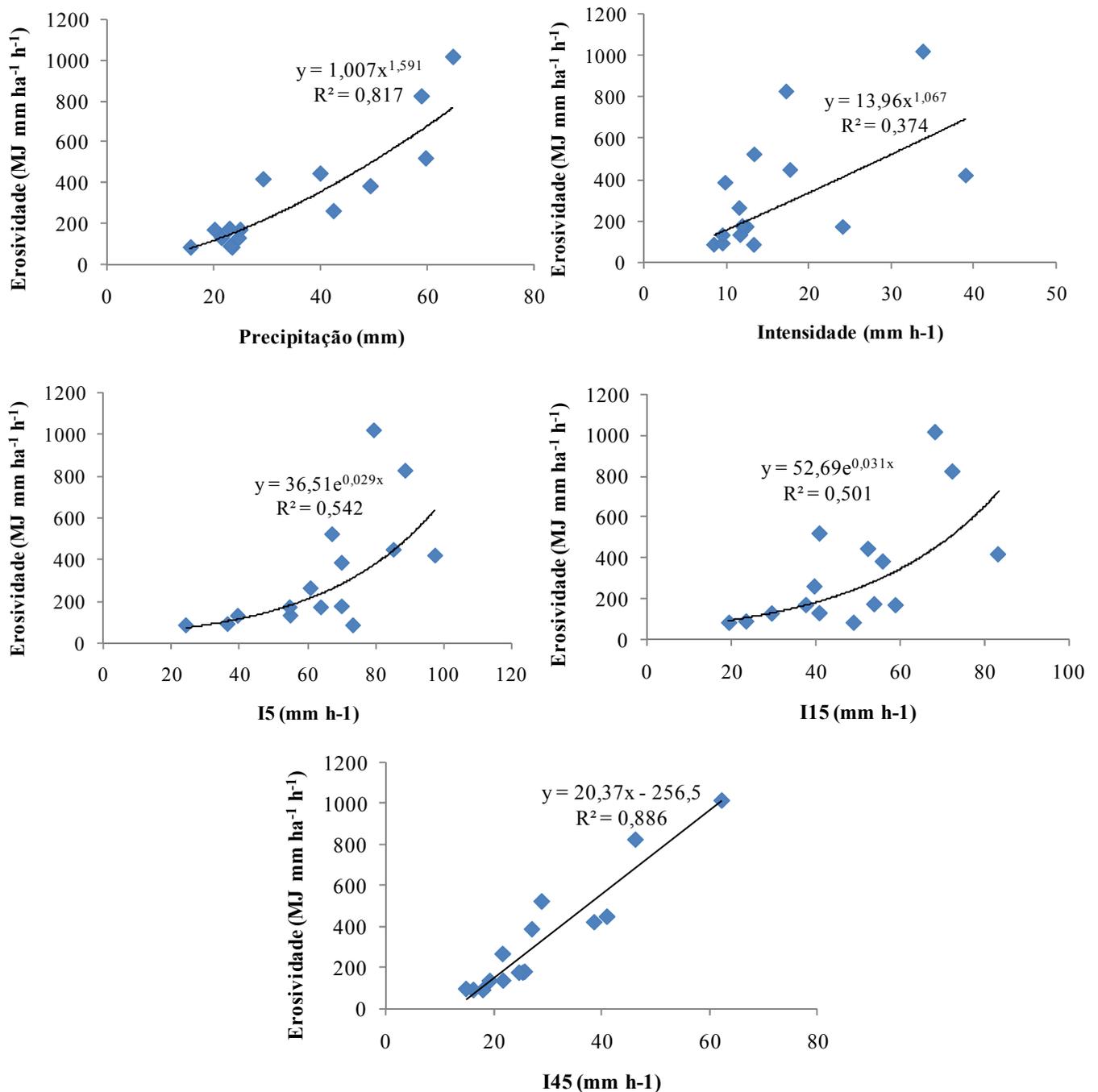


Figura 15 – Correlação entre erosividade e os parâmetros: precipitação, intensidade de chuva, intensidade máxima em 5 minutos (I5), 15 minutos (I15) e 45 minutos (I45) consecutivos para o ano de 2009

As correlações existentes entre erosividade e lâmina precipitada, intensidade, I5, I15 e I45 do ano de 2010 estão apresentadas nos gráficos da Figura 16. Observa-se que as características das precipitações que apresentaram maior correlação com a erosividade foram altura pluviométrica (R^2 de 0,943), I45 (R^2 de 0,933) e I15 (R^2 de 0,808), mostrando que para o ano de 2010 a erosividade pode ser explicada por estes índices de chuva em 94,3; 93,3 e

80,8%, respectivamente. Assim como observado para o ano de 2009, a intensidade apresentou a menor correlação com a erosividade com R^2 de 0,378, valor semelhante ao de 2009, que foi de 0,374.

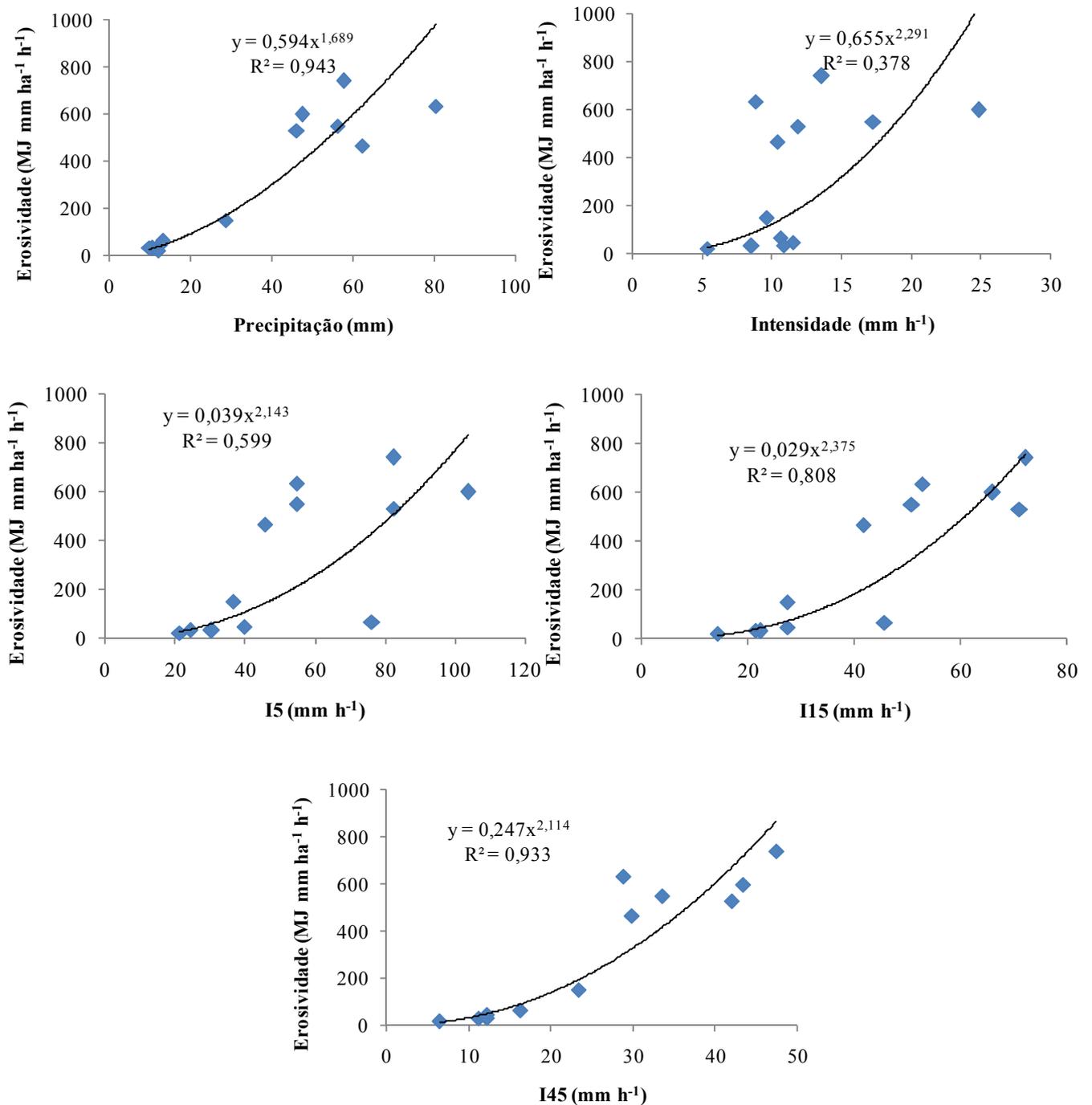


Figura 16 – Correlação entre erosividade e os parâmetros: precipitação, intensidade de chuva, intensidade máxima em 5 minutos (I5), 15 minutos (I15) e 45 minutos (I45) consecutivos para o ano de 2010

4.2 Perdas de solo

A lâmina escoada (LE) e os valores de sólidos suspensos nas microbacias B1, B2 e B3 do ano de 2009 estão presentes na Figura 18. Na B1 os valores variaram de 567,0 a 4.100,0 mg L⁻¹, na B2 de 516,5 a 5.489,3 mg L⁻¹ e na B3 de 271,6 a 1549,5 mg L⁻¹. Quando se observa o gráfico da Figura 17, nota-se claramente que para alguns eventos pluviométricos (um evento na B1, cinco na B2 e oito na B3) não se dispõe de dados de sólidos suspensos, o que se deve principalmente ao fato das lâminas escoadas não terem sido suficientes para atingir a altura de coleta. Rodrigues (2009) ao estudar essa mesma área, observou que devido ao pequeno tamanho dos orifícios dos tubos de entrada de água nas garrafas coletoras, em alguns eventos também ocorreu a obstrução dos mesmos por insetos, culminando em perda de dados.

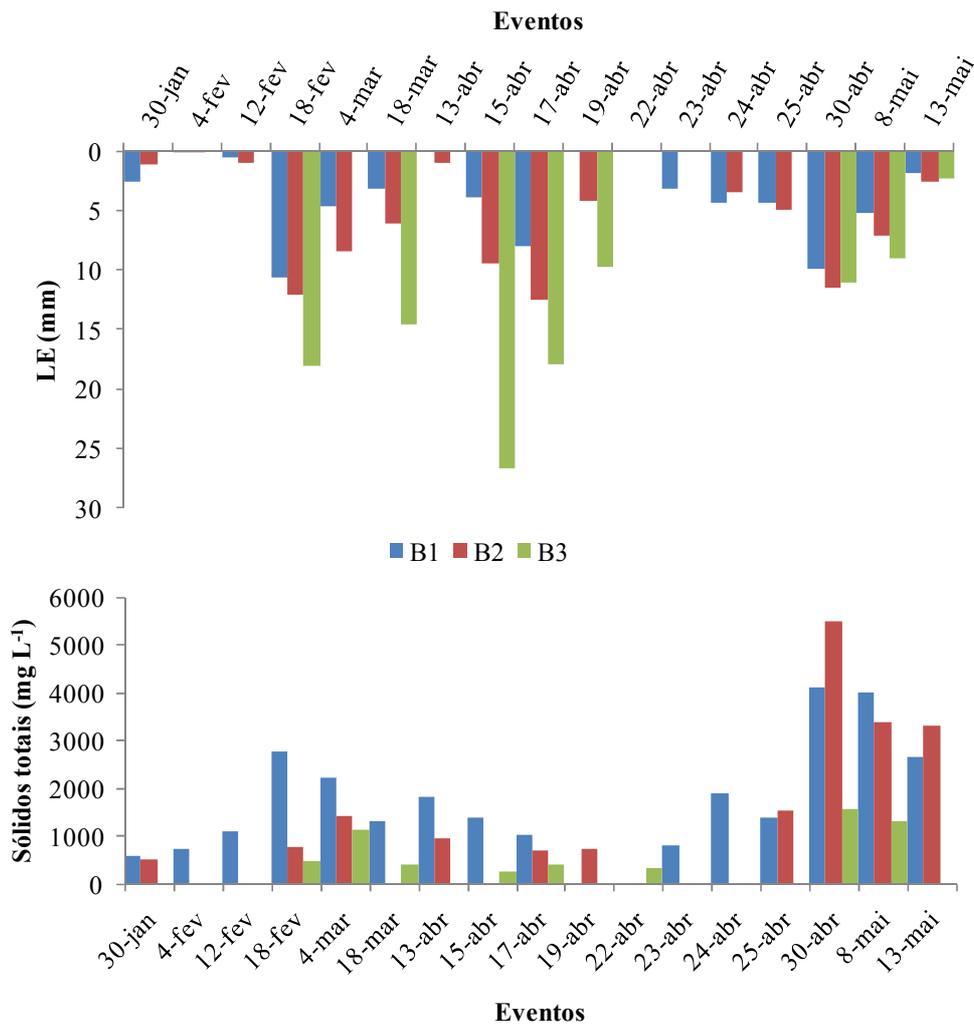


Figura 17 – Lâmina escoada (LE) e produção de sólidos totais para o ano de 2009 nas microbacias B1, B2 e B3

Verifica-se também que as concentrações de sólidos suspensos por evento foram menores na B3 e que esta bacia apresentou no geral os maiores valores de lâmina escoada. Esse comportamento mostra que a lâmina escoada não guarda proporcionalidade com a produção de sedimentos. Rodrigues (2009) mostra que em 2009, a B3 apresentava a maior densidade de cobertura vegetal quando comparada às demais e ressalta que embora o fator vegetação seja importante, não é a principal variável responsável pelos altos valores de coeficiente de escoamento e picos de descarga encontrados nessa microbacia.

Quanto aos baixos valores de sólidos suspensos observados na microbacia B3, esse comportamento pode ter ocorrido devido à menor declividade (5,57%), o que pode ter contribuído para que a energia gerada pelo escoamento fosse menor. Segundo Paranhas Filho *et al.* (2003), existe uma proporcionalidade entre declividade e capacidade erosiva. Segundo Rodrigues (2009) a baixa declividade dessa microbacia faz com ela atue como uma área de deposição em que os maiores depósitos foram observados próximo (a montante) à calha Parshall (Figura 18) e principalmente após os eventos de maior escoamento. Estudando a erosão na bacia experimental de Sumé, estado da Paraíba, Santos *et al.*, (2000) ao compararem duas parcelas desmatadas e com declividades diferentes, observaram que a parcela de maior declividade teve maior erosão.



Figura 18 – Depósito de sedimentos a montante da calha Parshall da microbacia B3

Os dados de sólidos suspensos e de lâmina escoada (LE) do ano de 2010 estão apresentados na Figura 19. Nota-se que houve poucos eventos com escoamento no ano e que em nem todos os eventos se dispõe de dados de sólidos suspensos, principalmente em B1 (que se dispõe de apenas um dado) e B2 (que se dispõe de dois dados). O único evento que se tem

dados relativos a sólidos para B1 é o do dia 30/04/2010 (181,0 mg L⁻¹). Nessa data a precipitação foi de 56,1 mm, com intensidade de 17,27 mm h⁻¹ (segunda maior do ano). Com relação a B2, os eventos que apresentam dados de sólidos suspensos são os dos dias 19/04/2010 e 30/04/2010. A predominância de dados de sólidos na B3 se deve ao fato do escoamento em B1 e B2 na maioria dos eventos não ter sido suficiente para haver coleta nas garrafas coletoras. A explicação para isso se deve ao desmatamento seguido de queimada feito na B3 no ano anterior, gerando maior volume escoado em todos os eventos que produziram escoamento.

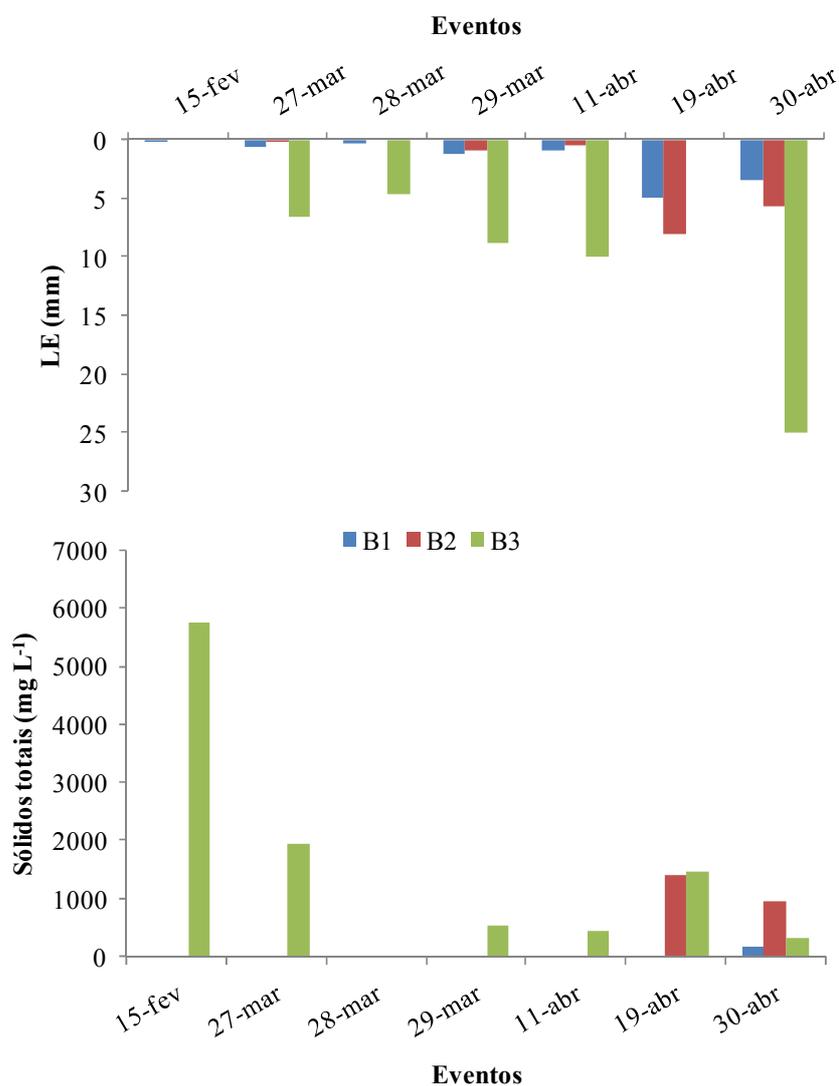


Figura 19 – Lâmina escoada (LE) e produção de sólidos totais para o ano de 2010 nas microbacias B1, B2 e B3

Quanto à LE, observa-se que na B3 os valores sempre foram superiores aos das outras duas microbacias, o que se deve ao tratamento já citado anteriormente que foi aplicado nesta microbacia. Santos *et al.* (2000), em estudo realizado na bacia experimental de Sumé,

PB, observaram que quando a proteção do solo é mínima, a erosão é máxima. De acordo com os autores, tanto a vegetação nativa (caatinga) quanto a cobertura morta se mostraram eficientes no controle da erosão.

Na Tabela 6 estão apresentados os valores de lâmina escoada, sólidos suspensos e perdas de solo dos anos 2009 e 2010 para as três classes de precipitação. Quando se observa os eventos menores que 30 mm de 2009, nota-se que o evento do dia 30/04/2009 (evento de maior precipitação da classe) foi o que apresentou a maior LE em B1 e B2 e maior produção de sólidos suspensos nas três microbacias. Nessa data as quantidades de sólidos foram de 4.100,0; 5.489,3 e 1.549,5 mg L⁻¹ para B1, B2 e B3, respectivamente. Ressalta-se que embora esse evento não tenha sido o maior do ano em altura pluviométrica, foi o mais intenso do ano (intensidade de 38,95 mm h⁻¹), apresentando o maior I30 (55,88 mm h⁻¹) e maior erosividade (420,89 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) dentre os eventos inferiores a 30 mm. O evento em questão também apresentou as maiores perdas de solo, com valores de 406,37; 635,50 e 171,43 kg ha⁻¹ em B1, B2 e B3, respectivamente.

Observando todas as lâminas escoadas para os dois anos independentemente da classe de precipitação, nota-se que, no geral, seus valores não seguem a mesma tendência que as características dos eventos, o que mostra a complexidade da resposta hidrológica a diferentes precipitações, sendo que existe vários outros fatores relacionados ao escoamento e à erosão. Alencar, Silva e Oliveira (2006) ao estudarem a influência da precipitação no escoamento superficial durante seis anos hidrológicos na microbacia do Córrego Capetinga, sudeste do Distrito Federal, relacionaram as maiores lâminas geradas aos valores de precipitação, intensidade de chuva e precipitação antecedente e verificaram que as maiores lâminas não estão necessariamente relacionadas com os maiores valores dessas variáveis, mostrando que esse comportamento não pode ser avaliado levado em consideração apenas a precipitação.

A segunda maior perda de solo ocorreu no evento de segunda maior erosividade (178,08 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) e segundo maior I30 (36,98 mm h⁻¹) da classe (dia 08/05/2009) e seus valores para B1, B2 e B3 foram: 209,78; 245,18 e 117,15 kg ha⁻¹, respectivamente. O evento também apresentou a segunda maior concentração de sólidos suspensos nas três microbacias. Esse comportamento mostra a importância do fator erosividade da chuva na erosão hídrica. Em estudo realizado na Estação Experimental de Sumé, PB, Albuquerque *et al.* (2002) observaram que as curvas de erosividade e perdas de solo anuais são semelhantes (a medida que a erosividade aumenta, a erosão também aumenta). Ao estabelecer relação entre essas duas variáveis, os autores encontraram coeficientes de determinação (R²) de 0,88 e 0,89

para duas parcelas desmatadas mostrando que 88 e 89% dos valores médios anuais de perdas de solo nessas parcelas podem ser explicadas pela erosividade anual. O evento também apresentou a segunda maior concentração de sólidos suspensos nas três microbacias. Este foi o evento de segundo maior I30 e segunda maior erosividade da sua classe, mostrando a relação existente entre esses parâmetros e produção de sedimentos.

Observando as lâminas do dia 13/05/2009 e seus respectivos valores de sólidos suspensos, nota-se que neste caso não há proporcionalidade entre estes dados. Enquanto as lâminas das três microbacias são um dos menores valores apresentados da classe, os sólidos produzidos correspondem à terceira maior produção. Isso significa que a lâmina não é o principal responsável pelo destacamento das partículas de solo. Ao analisar o evento em questão, observa-se que se trata do terceiro maior evento em I30, índice diretamente relacionado à erosão, como têm sido mostrados em diversos estudos relativos ao tema. Nesse caso, a capacidade erosiva do evento foi responsável pelo desprendimento das partículas de solo e a lâmina escoada pelo transporte, além do papel secundário no desprendimento. Isso já foi observado por pesquisadores como Rodrigues (2009).

Tabela 6 – Lâmina escoada (LE), sólidos suspensos e perdas de solo dos anos de 2009 e 2010 nas microbacias B1, B2 e B3 para as três classes de altura pluviométrica estudados

Evento	Prec. (mm)	LE (mm)			Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)			Perda de solo (kg ha ⁻¹)		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
Ano de 2009										
< 30 mm										
04/fev	15,6	0,16	0,06	0,31	729,0	***	***	1,16	***	***
04/mar	21,4	4,60	8,51	**	2207,5	1415,5	1133,0	101,47	121,43	**
13/abr	23,4	**	1,06	6,78	1824,7	956,0	***	**	10,24	***
19/abr	24,9	1,96	4,19	9,70	***	732,0	****	***	30,90	****
24/abr	23,1	4,42	6,51	20,02	1908,0	***	****	84,28	***	****
25/abr	24,6	4,32	4,94	14,31	1395,0	1545,0	****	60,28	76,78	****
30/abr	29,2	9,92	11,50	11,06	4100,0	5489,3	1549,5	406,36	635,20	171,43
08/mai	22,9	5,27	7,18	9,01	3986,0	3390,0	1299,0	209,78	245,18	117,15
13/mai	20,1	1,90	2,56	2,26	2664,0	3326,5	***	50,62	85,60	***
Total								914,0	1205,4	288,6
30 – 50 mm										
18/mar	42,4	3,22	6,05	14,49	1303,0	****	402,3	41,98	****	58,34
15/abr	49,3	3,95	9,40	26,64	1388,0	****	271,6	54,78	****	72,29
17/abr	39,9	8,07	12,56	17,93	1030,5	706,3	417,0	83,11	89,33	74,80
Total								179,9	89,3	205,4
> 50 mm										
30/jan	76,0	2,57	1,13	7,71	567,0	516,5	****	14,55	5,85	****
12/fev	59,7	0,57	0,99	5,83	1093,7	***	***	6,26	***	***
18/fev	58,9	10,59	12,06	18,12	2798,2	774,7	472,4	295,76	94,02	85,64
Total								316,6	99,9	85,6
Ano de 2010										
< 30 mm										
19/mar	12,5*									
28/mar	10,7	0,30	0	4,64	***	***	***	***	***	***
29/mar	28,7	1,13	0,89	8,81	***	***	541,0	***	***	47,69
12/abr	11,9*									
29/abr	13,2*									
14/mai	9,91*									
Total							541,0			47,69
30 – 50 mm										
27/mar	47,5	0,63	0,18	6,51	***	***	1945,5	***	***	126,80
19/abr	46,2	4,90	7,95	**	***	1406,0	1464,7	***	112,53	**
Total									112,53	126,80
> 50 mm										
15/fev	57,7	0,16	**	**	***	***	5735,0	***	***	**
21/mar	80,3	0	0	15,71	***	***	***	***	***	***
11/abr	62,2	0,83	0,40	10,0	***	***	435,0	***	***	43,55
30/abr	56,1	3,37	5,71	25,0	181,0	963,0	341,0	6,09	55,31	85,29
Total								6,09	55,31	128,84

*Eventos sem registro de escoamento nos sensores de nível; **Sem dados por ter ocorrido falha nos sensores; ***Sem dados pelo fato das lâminas escoadas não terem atingido as garrafas coletoras; ****Sem dados devido a problema de entupimento dos orifícios de coletas

Ainda analisando esses dois eventos (30/04/2009 e 08/05/2009), verifica-se que as perdas de solo foram superiores em B2, quando comparada às demais. Essa diferença é atribuída à cobertura vegetal das microbacias. A B1 foi raleada no final do ano de 2008 e no período chuvoso de 2009 sua vegetação rasteira ao se desenvolver formou uma espessa camada de proteção do solo contra a incidência direta das gotas de chuva (Figura 20) e por esse motivo após o crescimento da vegetação rasteira as perdas de solo da B1 passaram a ser inferiores às da B2. De acordo com Rodrigues (2009), o crescimento da vegetação herbácea após o raleamento e a manutenção dos restos vegetais sobre o solo tiveram influência sobre as respostas hidrológicas na B1, tornando-se necessárias observações mais sequenciadas e investigação sobre qual tipo cobertura vegetal (herbácea ou arbórea) promove mais proteção ao solo.



Figura 20 – Aspecto da cobertura rasteira na microbacia B1 no período chuvoso em 06 de abril de 2009

Ressalta-se que após o raleamento da B1, os restos vegetais resultantes do tratamento aplicado (troncos, galhos, folhas) foram deixados sobre o solo e estes funcionam como barreira de proteção do solo contra a energia das gotas de chuva, além de diminuir a velocidade de escoamento. Balbinot *et al.* (2008) discutem a importância da serapilheira na proteção do solo contra os processos erosivos. Já Aguiar *et al.* (2006), observaram comportamento semelhante ao do presente estudo em Sistemas Agroflorestais no município de Sobral. Os autores observaram que a maior perda de solos ocorreu em uma área de mata nativa (área de Reserva Legal).

Em estudo de parcelas de erosão na mesma área experimental do presente estudo no ano hidrológico de 2008, Lobato *et al.* (2009) consideraram os mesmos três intervalos de precipitação do presente trabalho e observaram que para precipitações superiores a 50 mm, a área com predominância de vegetação arbustivo-arbórea apresentou perdas de solo superiores às que apresentavam predominância de vegetação rasteira. Segundo Seganfredo, Eltz e Brum (1997), a proteção do solo pela cobertura vegetal pode ser proporcionada por plantas vivas ou seus resíduos (serapilheira) e a extensão da cobertura por plantas vivas depende do tipo de planta, tipo de folha e das raízes. Eltz (1977 apud SEGANFREDO; ELTZ; BRUM, 1997) afirma que plantas de hábito prostrado protegem mais o solo do que plantas eretas.

Como a B2 permaneceu intacta, o sombreamento propiciado pelas árvores não permitiu o desenvolvimento da vegetação rasteira em tamanho e densidade como aconteceu na B1, deixando o solo mais exposto à erosão. Aliado a isso, as gotas de chuva quando chegam à copa das árvores se juntam formando gotas maiores e estas, quando caem no solo, apresentam maior energia que as gotas menores, o que aumenta o desprendimento das partículas de solos, aumentando o processo erosivo. (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Outro fator que também pode ter contribuído para as menores perdas da B1 é a sua menor declividade (declividade média de 8,72%) em relação a B2 (declividade média de 10,59%). Amorim *et al.* (2001), estudando a influência da declividade na erosão hídrica em Viçosa – MG, observaram que quanto maior a declividade, maior as perdas de solo devido a contribuição da maior velocidade de escoamento na capacidade de transporte de sedimentos.

O evento do dia 04/03/2009 foi o que gerou a terceira maior perda de solos na classe de precipitações inferiores a 30 mm do ano, sendo o segundo menor da classe em precipitação (21,42 mm). O evento em questão apresentou I30 de 29,58 mm h⁻¹ e erosividade de 134,45 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

Para os eventos da classe de altura pluviométrica menor que 30 mm de 2010, não se dispõe de dados de perdas de solo pelo fato de as LE não terem sido suficientes para que houvesse coleta nas garrafas coletoras de sedimentos, com exceção da B3 que apresentou perda de solo de 47,69 kg ha⁻¹ no dia 29/03/2010. Este evento apresentou erosividade (152,17 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) e mesmo assim as lâminas da B1 e da B2 não foram suficientes para atingir a altura dos coletores de sedimentos. Ao observar a erosividade da classe de eventos menores que 30 mm dos dois anos estudados, verifica-se que de um modo geral os valores de 2010 são inferiores aos de 2009, exceção de 29/03/2010. Esse comportamento mostra o motivo de não se ter quantificado perda de solo na B1 e na B2 em todos os eventos. Diversos estudos têm mostrado a importância da erosividade da chuva nas perdas de solo por erosão hídrica, dos

quais cita-se Lombardi Neto e Moldenhauer (1992); Nascimento e Chaves (1996); Albuquerque *et al.* (1998), dentre outros.

O fato da B3 ter perdido 47,69 kg ha⁻¹ de solo no dia 29/03/2010 se deve ao tratamento aplicado (desmatamento seguido de queima) que a deixou mais susceptível a erosão. Ressalta-se que embora não se tenha quantificado as perdas de solo para a maioria dos eventos desta classe, observações de campo mostraram que em muitos eventos houve escoamento, não tendo sido quantificadas as perdas de solo pelo fato de se ter medido apenas os sólidos suspensos.

Ao observar os eventos da classe de valores de precipitação entre 30 e 50 mm do ano de 2009, verifica-se que o de 17/04/2009 que teve maior I30 (49,28 mm h⁻¹) e erosividade (448,06 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) foi o que apresentou as maiores perdas de solo: 83,11; 89,33 e 74,80 kg ha⁻¹ nas microbacias B1, B2 e B3, respectivamente. Nessa classe, as perdas de solo foram proporcionais aos valores de erosividade. Estudando diferentes coberturas de solo em parcelas experimentais nas Bacias Experimentais de Sumé e São João do Cariri, estado da Paraíba, Santos, Silva e Srinivasan (2007) concluíram que existe correlação entre erosividade e erosão.

Quanto à classe de precipitações superiores a 50 mm de 2009, verifica-se que os três eventos da classe foram os que apresentaram maior erosividade do ano. O de maior erosividade (1017,48 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) foi também o maior do ano em altura pluviométrica (76,0 mm), no entanto, seus valores de perdas de solo foram um dos menores do ano. Isso significa que a erosividade por si só não explica a erosão do solo, tendo em vista que esta última depende da condição de umidade em que se encontra o solo. O evento em questão foi o primeiro do ano de 2009 a ter escoamento superficial. Outro aspecto a ser considerado é o fato do solo das três microbacias (Vertissolo Ebânico Carbonático Típico) apresentarem fendas quando secos (Figura 21) e as primeiras precipitações que ocorrem são responsáveis pelo umedecimento e fechamento das fendas e por isso não geram escoamento. Santos, Silva e Srinivasan (2007) ressaltam a importância de se considerar outras características das chuvas (além da erosividade) e da área para melhor caracterizar o processo de erosão.



Figura 21 – Aspecto do solo das microbacias na estação seca

Para a classe de eventos de precipitação entre 30 e 50 mm de 2010 foram perdidos 126,80 kg ha⁻¹ na B3 no dia 27/03/2010. Assim como a classe de alturas pluviométricas inferiores a 30 mm, de um modo geral as lâminas não apresentaram alturas suficientes para que ocorresse coleta de águas na torre coletora. No dia 19/04/2010 foi quantificada uma perda de solo de 112,53 kg ha⁻¹ na B2. Os dois eventos apresentam similaridades quanto ao valor precipitado (47,5 e 46,2 mm para 27/03 e 19/04, respectivamente) e ao I30 (52,32 e 53,85 mm h⁻¹ para 27/03 e 19/04, respectivamente), porém, seus valores de erosividade são diferentes. Observa-se que o evento de maior erosividade (27/03/2010) teve uma LE de 0,18 mm em B2, não sendo suficiente para se quantificar o solo perdido. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato deste evento ter sucedido seis dias secos sucessivos, reforçando o que já foi mencionado anteriormente: a erosividade por si só não explica o comportamento dos processos erosivos, porque além do fator chuva, estão envolvidos vários outros fatores como umidade do solo, condição atual do solo, manejo, tipo de cobertura, dentre outros. Isso mostra o cuidado que se deve ter quando se usa equações empíricas para estimar a erosão.

Albuquerque *et al.* (1998), em estudo que correlacionou erosividade de chuva e de enxurradas, realizado na Estação Experimental de Sumé – PB, observaram que em condições tropicais, provavelmente o volume da enxurrada seja um melhor preditor das perdas de solo, considerando os maiores valores de intensidade das chuvas tropicais, quando comparados aos das chuvas de clima temperado. De acordo com os autores, chuvas intensas proporcionam

intensas enxurradas, o que aumenta o processo de erosão nos sulcos, quando comparada à erosão de impacto da chuva ou entressulcos.

Para precipitações maiores que 50 mm de 2009, observa-se que as perdas de solo B1 são superiores às de B2. Estas respostas distintas se explica pela diferença da cobertura do solo. No início do período chuvoso a B1 que havia sido raleada encontrava-se sem proteção no solo, tendo em vista que a vegetação rasteira ainda não tinha se desenvolvido e, nesse caso, a B2 (vegetação intacta) protegia mais o solo dos processos erosivos, o que veio a mudar com o desenvolvimento da vegetação rasteira da B1. Santos *et al.* (2000), estudando a influência de diferentes coberturas do solo (parcelas desmatadas, com cobertura morta, com plantio de palma e com caatinga nativa) na erosão, chegaram à conclusão de que as parcelas com caatinga e cobertura morta foram as que protegeram mais o solo contra a erosão. De acordo com Seganfredo, Eltz e Brum (1997), a proteção do solo pode ser proporcionada por plantas vivas e/ou seus resíduos e a extensão da cobertura por plantas vivas depende do tipo de planta, do tipo de folha e das raízes

Analisando os eventos de precipitação maiores que 50 mm de 2010, verifica-se que o de 15/02/2010, apesar de ter apresentado a maior erosividade do ano (740,27 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), as lâminas da B1 e da B2 não foram suficientes para que houvesse coleta de sedimentos. Ressalta-se que o evento em questão foi o primeiro do ano a escoar. Mello *et al.* (2003) estudando a abstração inicial em uma microbacia localizada no sul de Minas Gerais, observaram que nos primeiros eventos com escoamento (início de novembro) o tempo de abstração inicial foi bastante alto, o que foi relacionado a baixa umidade antecedente do solo. De acordo com os autores, com o aumento da umidade antecedente houve a diminuição do tempo de abstração inicial e vice-versa.

Observando o evento de 11/04/2010 que teve valores de LE para B1, B2 e B3 de 0,83; 0,40 e 10,0 mm verifica-se que as lâminas de B1 e B2, assim como nos demais já mencionados, não atingiu a altura de coleta das garrafas coletoras. Já na B3, a perda de solo foi de 43,55 kg ha⁻¹. Para o dia 30/04/2010 houve perda de solo nas três microbacias, com valores de 6,09; 55,31 e 85,29 kg ha⁻¹, respectivamente para B1, B2 e B3. Assim como já observado para alguns eventos de 2009, a B1 (bacia raleada) apresentou a menor perda de solo, enquanto que a B3 teve a maior perda de solo. No caso de B1 e B2, o sombreamento faz com que a vegetação rasteira em B2 se desenvolva menos que a de B1, portanto, esta última fica menos susceptível aos processos erosivos. A B3 foi desmatada no final do ano de 2009 e em seguida a vegetação foi queimada, sendo que em janeiro de 2010 foi plantado capim *Andropogon gayanus* Kunth em toda a sua área, daí seu maior valor de perda de solo.

Analisando todos os valores de perdas de solo, independente da classe de precipitação, nota-se que no geral a B2 (vegetação intacta) apresentou maiores perdas de solo quando comparada a B1 (área raleada). Uma das razões para esse comportamento é a existência de zonas desprotegidas (sem vegetação) ao longo da B2, funcionando com bancos de sedimentos (Figura 22), além da proteção propiciada pela vegetação rasteira da B1.



Figura 22 – Áreas sem cobertura vegetal na microbacia B2

Vale salientar que embora tenham ocorrido poucos eventos com escoamento registrado nos sensores de nível de água e em muitos eventos a LE não tenha sido suficiente para que houvesse coleta, foi observado “in loco” que em alguns eventos ocorreu erosão, porém, no presente estudo não houve a sua quantificação, tendo em vista que foi quantificado apenas os sedimentos em suspensão. Também foi verificado que na B3 muitas vezes ocorria o depósito de solo em algumas áreas (Figura 23), ficando disponível para ser carregado por eventos posteriores.



Figura 23 – Depósito das partículas de solo despreendidas pela erosão na microbacia B3 no ano de 2010

Embora se tenha observado que os eventos que tiveram as maiores perdas de solo foram os que apresentaram os maiores valores de erosividade, os gráficos da Figura 24 mostram a baixa correlação existente entre os parâmetros I30 e erosividade e as perdas de solo para as três microbacias estudadas. A explicação para esse comportamento é a grande variabilidade dos dados de perdas de solo e o fato de que além da erosividade, existir diversos outros fatores envolvidos nas perdas de solo, como já discutido anteriormente.

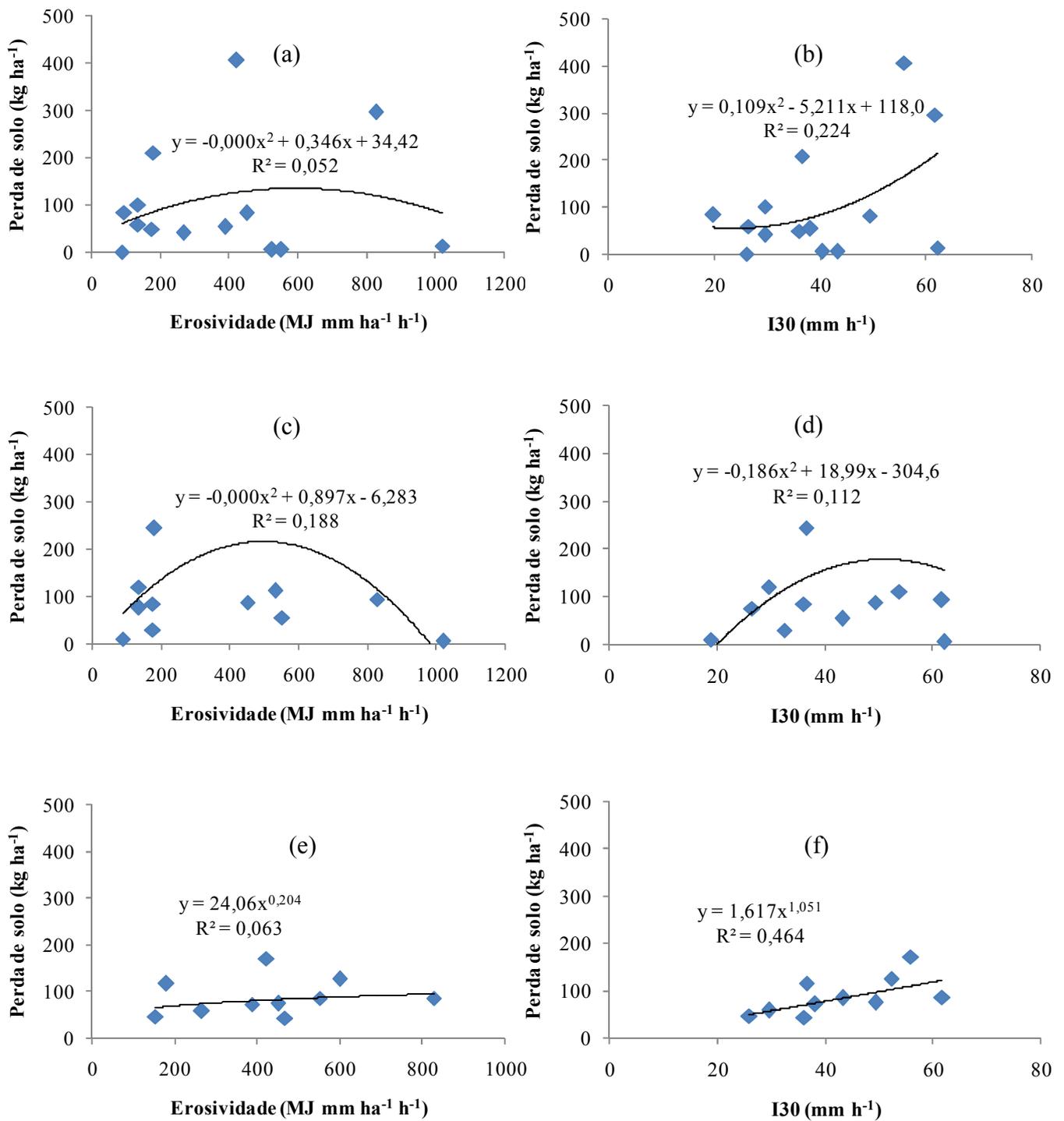


Figura 24 – Correlação entre perdas de solo e erosividade e perdas de solo e I30 nas microbacias B1 (a, b), B2 (c, d) e B3 (e, f)

5 CONCLUSÕES

Quanto à erosividade total, no ano 2009 os eventos da classe de alturas pluviométricas menores que 30 mm foram os que apresentaram maior potencial erosivo e em 2010, foram os das classes de 30 a 50 mm e superiores a 50 apresentara que tiveram a maior capacidade erosiva;

As características de precipitação que apresentaram melhor correlação com a erosividade foram: intensidade, intensidade máxima em 30 minutos (I30) e intensidade máxima em 45 minutos (I45);

Nos dois anos estudados, para o evento que apresentou a maior erosividade do ano não ocorreu perdas de solo, o que mostra que a erosividade por si só não explica os processos erosivos;

Embora a erosividade seja um fator importante na erosão, esta apresentou pouca correlação com as perdas de solo para as microbacias B1, B2 e B3;

Devido ao tipo de cobertura vegetal e à algumas áreas sem vegetação (bancos de sedimentos), no geral a B2 (microbacia intacta) apresentou as maiores perdas de solo no ano hidrológico de 2009;

No ano de 2009, a B1 (microbacia raleada) no geral apresentou perdas de solo menores quando comparada a B2 devido à proteção propiciada pela cobertura rasteira;

No ano de 2009, a B3 (microbacia intacta) apresentou as menores perdas de solo devido à menor declividade e a localização da torre coletora de sedimentos;

O tratamento aplicado na B3 (queima com plantio de capim) propiciou as maiores perdas de solo nesta microbacia no ano de 2010.

REFERÊNCIAS

- ABU-AWWAD, A. M.; SHATANAWI, M. R. Water harvesting and infiltration in arid areas affected by surface crust: examples from Jordan. **Journal of Arid Environments**, v. 37, p. 443-452, 1997.
- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza – CE, v. 37, n. 3, p. 270-278, 2006.
- AGRITEMPO - **Sistema de monitoramento agrometeorológico**. Dados meteorológicos - Iguatu (INMET). Dados históricos. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario>. Acesso em: 09 de julho de 2008.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; CATANEO, A. SRINIVASAN, V. S. Parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um solo Bruno não Cálcico Vértico em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campina Grande – PB, v. 22, p. 743-749, 1998.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.
- ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação de perda de solo nas condições de Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005.
- ALENCAR, D. B. S. DE.; SILVA, C. L. DA.; OLIVEIRA, C. A. S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 103-112, 2006.
- ALVES, J. J. A. Geocologia da Caatinga no Semi-árido do Nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudo das Paisagens**, Rio Claro, v. 2, n. 1, p. 58-71, jan/jun. 2007.
- ALVES, N. N. L. **Caracterização de micro-bacia hidrográfica experimental no semi-árido brasileiro como suporte a estudos de degradação**. 74 f. 2008. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2008.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. A. C. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza. 2008, 290 p.

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**, Campina Grande – PB, v. 5, n. 1, p. 124-130, 2001.

ARAGÃO, J. O. R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull Inst Fr Études Andines**, v. 27, n. 3, p. 839-844, 1998.

ARAÚJO, J. C. Assoreamento de reservatórios no semi-árido: modelagem e validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre – RS, v. 8, n. 2, p. 39-56, abr./jun. 2003.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava – PR, v. 4, n. 1, p. 131-149, jan./abr. 2008.

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

BROOKS, K. N.; FFOLLIOTT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; THAMES, J. L. **Hydrology and the management of watersheds**. Iowa: 1. ed. 1991, 392 p.

CAMPOS, J. N. B. Vulnerabilidades Hidrológicas do Semi-Árido às Secas. In: Planejamento e Políticas Públicas, Brasília, v. 2, n. 16, p. 261-294, 1997.

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**, Campina Grande – PB, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, D. F.; MONTBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; LANA, A. M. Q.; SILVA, W. A. Efeito da cobertura morta e do preparo do terreno nas perdas de solo e água em um argissolo vermelho-amarelo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa – MG, v. 11, n. 1-4, p. 15-22, jan./dez. 2003.

CARVALHO, D. F.; MONTBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões adões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2005.

CEDDIA, M. B. Propriedades morfológicas do solo. Disponível em: <www.residenciaagronomica.ufpr.br/bibliografia/PROPRIEDADES%20MORFOLGICAS.DOC> Acesso em: 14 set. 2008.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do ¹³⁷Cs**. 79f. 2003. Tese (Doutorado em Ciências – Energia Nuclear na Agricultura) – Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2003.

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

FARIAS, T. R. L. **Produção de sedimentos em bacias hidrográficas sobe diferentes contextos geoambientais: medida e modelagem**. 110 f. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2008.

FIGUEIREDO, J. V. **Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em caatinga preservada**. 83 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2011.

FRANCA-ROCHA, W; SILVA, A. B.; NOLASCO, M. C.; LOBÃO, J.; BRITTO, D; CHAVES, J. M.; ROCHA, C. C. Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis – SC. **Anais...** São Paulo – SP: INPE, 2007.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Download de Séries Históricas. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas>> Acesso em: 21 mar. 2011

FUNDAJ – Fundação Joaquim Nabuco. Caracterização do Semi-Árido Brasileiro. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/notitia/servlet/newstorm.ns.presentation.NavigationServlet?publicationCode=16&pageCode=377&textCode=7924&date=currentDate>> Acesso em: 04 mar. 2010.

HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. **Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments**. San Diego: Academic Press, 1994, 588 p.

HILU, A. **Erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Marumbi no estado do Paraná**. 107f. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2003.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Eossistemas brasileiros: Caatinga. Disponível em:
<<http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/caatinga.htm>> Acesso em: 04 mar. 2010.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em mapas. 2010. Disponível em: < <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/lista/>> Acesso em: 01 set. 2010.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil básico municipal. Iguatu. 2004.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SANTOS, J. C. N.; LOPES, J. F. B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista – RR, v. 3, n. 2, p. 65-71, 2009.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. V. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP) **Bragantia**, Campinas – SP, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

LOPES, F. B.; AQUINO, D. N.; ANDRADE, E. M.; COSTA, C. A. G.; OLIVEIRA, A. D. S.; LOBATO, F. A. O. Representatividade dos dados pluviométricos do no estado do Ceará. In: SIMPÓSIO DE RECURSO HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006, Gravatá – PE. **Anais...** Porto Alegre – RS: ABRH, 2006.

MAIA, G. B. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo – SP: Leitura e Arte Editora, 2004. 413 p.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; LOPES, D. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- PB, v. 7, n. 3, p. 494-500, 2003.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M. Simulação do deflúvio e vazão de pico em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- PB, v. 11, n. 3, p. 407-412, 2007.

NASCIMENTO, C. W. A. N.; CHAVES, I. B. Erosividade e características da chuva correlacionadas com perdas de solo em Alagoinha – PB. **Ciência Rural**, Santa Maria – RS, v. 26, n. 3, p. 407-412, 1996.

ONDA, Y; KATO, H.; TANAKA, Y. TSUJIMURA, M.; DAVAA, G.; OYUNBAATAR, D. Analysis of runoff generation and soil erosion processes by using environmental radionuclides in semiarid areas of Mongolia. **Journal of Hydrology**, v. 333, p. 124-132, 2007.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 96 f. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2004.

PARAÍBA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). Plano Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em: < Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>> Acesso em: 23 maio 2008.

PARANHAS FILHO, A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESIS, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do rio Taquarizinho – MS. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 52, p. 49-59, 2003.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005, 285 p.

PRUSKI, F. F. Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa – MG: Editora UFV, 2006b. cap. 3, p.41-74

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

RANCY, S. C. R.; OLIVEIRA, F. H.; SAMPAIO, S. C. Efeitos da ocupação urbana no escoamento superficial da micro-bacia do rio Cascavel. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2002, Maringá – PR. Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: < http://www.ppg.uem.br/Docs/pes/eaic/XI_EAIC/trabalhos/arquivos/11-2038-1.pdf> Acesso em: 11 set. 2010.

REBOUÇAS, A. C. O Potencial de Água do Semi-Árido Brasileiro :Perspectivas do Uso Eficiente. Disponível em:
<www.cpatia.embrapa.br/catalogo/doc/strategy/1_5_Aldo_Rebouças.doc> Acesso em: 08 mar. 2010.

REIS, M. H.; GRIEBELE, N. P.; SARMENTO, P. H. L.; OLIVEIRA, L. F. C.; OLIVEIRA, J. M. Espacialização dos dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia – GO. **Anais...** São Paulo – SP: INPE, 2005.

RODRIGUES, J. O. **O uso da terra e resposta hidrossedimentológica em pequenas bacias hidrográficas semiáridas**. 128 f. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2009.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. S. Aálise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa- PB, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V. S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- PB, v. 4, n. 1, p. 92-96, 2000.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KEF, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5.ed. Viçosa: SBCS. 2005, 92 p.

SANTOS JÚNIOR, O. F.; SÁ, E. M.; ARAÚJO, F. A. Aspectos Morfológicos e Geotécnicos de Processo Erosivo na Região de Natal – RN. 2008. Disponível em:
<http://www.ufrn.br/sites/producao_ct/sec1_4.html> Acesso em: 31 maio 2010.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, 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**, Viçosa - MG, v. 24, n. 2, p. 437-447, 2000.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUN, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 21, n. 2, p. 287-291, 1997.

SEIA – Secretaria Estadual de Informações Ambientais da Bahia. Bioma Caatinga.

Disponível em:

<<http://www.seia.ba.gov.br/biorregional/caatinga/template01.cfm?idCodigo=234>> Acesso em 04 de mar. 2010.

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. El Nino ou La Nina? Disponível em: < http://www.semarh.al.gov.br/tempo%20e%20clima/el-nino/EL_%20Nino%20abr2010.pdf> Acesso em: 23 maio 2010.

SEQUINATTO, L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R.; CORCINI A. L. M. Quantidade de sedimentos escoados durante eventos chuvosos numa microbacia rural. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E DA ÁGUA, 16, Aracaju. **Anais...** Viçosa: SBCS. 2006.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p 251-259, 2004.

SILVA, J. M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A. Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em encostas e canais. Parte II: modelo computacional e análise de sensibilidade. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 704-712, 2006.

SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 258-265, 2008.

SILVA, T. P. N.; SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; GUSMÃO, M. A. M.; PONCIANO, I. M; GALINDO, C. T. Índice de erosividade (EI30) das chuvas para a bacia experimental do riacho Mimoso, no semi-árido pernambucano.. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 7., 2009, Caruaru-PE. **Anais...** Petrolina: ABCMAC, 2009.

SILVA FILHO, A. V. **Equação de erosividade de chuva para o estado do Ceará**. 72 f. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2003.

SIRH/CE - Sistema de Informação dos Recursos Hídricos. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos e Meteorológicos do Ceará**. Dados do município - precipitação anual. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/dadosmunicipais_municipio.asp?municipio=77>. Acesso em: 6 de Julho de 2008.

SOLARTERRA - Engenharia Alternativa. Anexo 1 - **radiação solar**. Disponível em: <<http://www.solarterra.com.br/pdf/radia%C3%A7%C3%A3o-solar-brasil.PDF>>. Acesso em: 09 de julho de 2008.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Área de Atuação da SUDENE – O semiárido nordestino. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/site/extra.php?cod=130&idioma=ptbr>> Acesso em: 05 nov. 2010.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Área de Atuação da SUDENE – Polígono das secas. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/site/extra.php?idioma=&cod=111>> Acesso em: 30 maio 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: Ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2001. 943p.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 256 p.

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria. Arquitetura e propriedades físicas do solo. Disponível em: <http://www.ufsm.br/petagonomia/apostilas/fisicasosolo_esalq.pdf> Acesso em: 14 set. 2008.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife – PE: Versão Digital, 2005, 516 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo – SP: McGraw Hill, 1975, 245 p.

WWF - Worldwide Fund for Nature. Biomas Brasileiros: Caatinga. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/informacoes/questoes_ambientais/biomas/bioma_caatinga/> Acesso em: 04 mar. 2010.