



**POTENCIAL DE EROÇÃO NA BACIA DE DRENAGEM
DO AÇUDE ORÓS - CE**

PATRÍCIA VASCONCELOS FROTA

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

POTENCIAL DE EROÇÃO NA BACIA DE DRENAGEM DO
AÇUDE ORÓS - CE

PATRÍCIA VASCONCELOS FROTA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo
CO-ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Maria Lúcia Brito da Cruz

TESE DE DOUTORADO
PUBLICAÇÃO PPG EFL.TD – 20/2012

BRASÍLIA/DF: MARÇO, 2012.

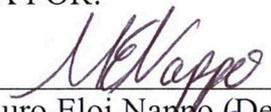
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

POTENCIAL DE EROSÃO NA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE ORÓS - CE

PATRÍCIA VASCONCELOS FROTA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:

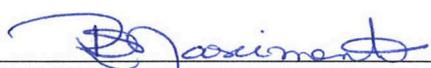


Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo (Departamento de Engenharia Florestal - UnB);
(Orientador)

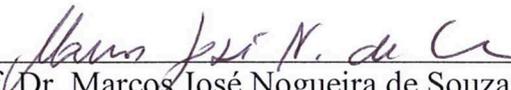


Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi (Departamento de Engenharia Florestal - UnB);
(Examinador interno)

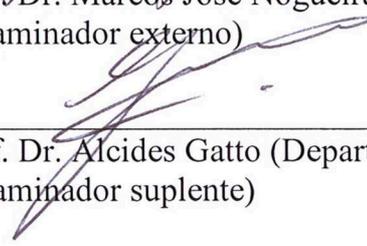
Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira (Departamento de Engenharia Florestal - UnB);
(Examinador interno)



Prof.^a Dr.^a. Roselir de Oliveira Nascimento (Departamento de Geografia - UnB);
(Examinadora externa)



Prof. Dr. Marcos José Nogueira de Souza (Universidade Estadual do Ceará - UECE);
(Examinador externo)



Prof. Dr. Alcides Gatto (Departamento de Engenharia Florestal - UnB);
(Examinador suplente)

Brasília, 22 de março de 2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

POTENCIAL DE EROÇÃO NA BACIA DE DRENAGEM
DO AÇUDE ORÓS – CE

PATRÍCIA VASCONCELOS FROTA

Orientador: Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo
Co-orientadora: Prof^ª. Dr.^a. Maria Lúcia Brito da Cruz

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL. TD – 20/2012

BRASÍLIA/DF, MARÇO: 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

FROTA, PATRÍCIA V.

Potencial de Erosão na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE
xvii, 179 p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Doutora, Ciências Florestais, 2012).
Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais.

1. Erosão dos solos 2. Região semiárida
3. erosividade 4. erodibilidade

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

FROTA, P. V. (2012). Potencial de Erosão na Bacia Hidrográfica do Açude Orós – CE. (Tese de Doutorado em Engenharia Florestal), Publicação PPGEFL. TD – 20/2012 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 2012,

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Patrícia Vasconcelos Frota

TÍTULO: Potencial de Erosão na Bacia Hidrográfica do Açude Orós – CE.

GRAU: DOUTORA

ANO: 2012

É concedida a Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais copias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

Patrícia Vasconcelos Frota

A minha filha Ana Luísa

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas bênçãos concedidas.

À minha mãe, que sem seu suporte não teria sido possível a realização deste trabalho.

Ao Orientador Mauro Eloi Nappo, não apenas pelo conhecimento transmitido, mas pela paciência, compreensão e generosidade de conduzir minha orientação pelos seus contínuos estímulos de forma a contribuir para meu desenvolvimento humano e profissional.

À minha Co-orientadora Maria Lúcia Brito da Cruz pela competência e ensinamentos que foram fundamentais em várias etapas do trabalho.

À Universidade de Brasília e ao Departamento de Engenharia Florestal, em nome do coordenador do programa de Pós-graduação em Ciências Florestais Reginaldo Sérgio Pereira.

À Universidade Federal do Ceará e aos Departamentos de Engenharia Hidráulica - DEHA e Ambiental e Engenharia Agrícola - DENA, que permitiram a realização de disciplinas complementares e utilização do espaço físico para elaboração do trabalho final.

À Universidade Estadual do Ceará e ao Departamento de Geografia, pelo incentivo à qualificação de seus profissionais e apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

Ao professor Carlos Alberto da Silva Oliveira, um dos profissionais mais decentes que já conheci e que muito contribuiu com várias idéias desenvolvidas neste trabalho.

Aos professores Marcos José Nogueira de Souza e José Carlos de Araújo, exemplos de competência e simplicidade.

Aos professores que disponibilizaram do precioso tempo para participar da minha banca e contribuir para aperfeiçoar este trabalho.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo, viabilizando dessa forma o alcance dessa conquista.

Ao Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual do Ceará e seus bolsistas.

Ao meu pai, irmão, minha grande e amada família, minhas amigas (em especial Raquel) que sempre incentivaram meus sonhos e foram essenciais na concretização desta tese.

RESUMO

FROTA, Patrícia Vasconcelos, Universidade de Brasília. Março de 2012. **Potencial de Erosão na Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE.** Orientador: Mauro Eloi Nappo. Coorientadora: Maria Lúcia Brito da Cruz. Examinadores: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi, Alcides Gatto. Marcos José Nogueira de Souza, Roselir de Oliveira Nascimento.

A erosão do solo é um processo que ocorre em toda a superfície terrestre e, em conjunto com outros processos naturais, é responsável pela modelagem das formas de relevo. A atividade agrícola produz grandes impactos nos recursos naturais para garantir alimentos à população mundial, com isto necessita incorporar novas áreas e intensificar suas técnicas para aumentar a produção. O modelo de exploração vem causando degradação principalmente nas regiões áridas e semiáridas do planeta. Estudos sobre o meio físico são importantes para auxiliar a compreensão do risco ao processo erosivo. O semiárido brasileiro é vulnerável à erosão hídrica, principalmente devido às suas características climáticas, edáficas e às práticas de explorações insustentáveis, resultando no empobrecimento dos solos agrícolas e comprometendo a qualidade das águas dos reservatórios superficiais (principais reservas hídricas da região). O principal objetivo deste trabalho é indicar uma proposta metodológica para cálculo do potencial de erosão a partir de variáveis do meio físico da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE. A área de estudo é representada por terrenos do embasamento cristalino, com solos pouco desenvolvidos, rasos e pedregosos, bastantes susceptíveis aos processos erosivos. A vegetação típica é a caatinga, esparsa, com porte arbustivo, oferecendo pouca proteção ao solo. Para minimizar impactos decorrentes de novas ocupações é necessário obter informações do meio físico, principalmente as relacionadas ao risco de erosão, desta forma o trabalho também pretende interpretar os condicionantes do meio físico que determinam maior ou menor susceptibilidade ao processo. Os resultados apontam uma distribuição sazonal irregular da erosividade das chuvas, com sua maior parte concentrada nos meses de março e abril. Por sua vez, em função das classes de solos ocorrentes de forma predominante, verificou-se que a erodibilidade é classificada como média-alta. O fator topográfico mostrou predominância espacial de baixos valores, embora algumas áreas mostrando altos valores também foram representadas de forma isolada.

Palavras-chave: erosão de solos, região semiárida, erosividade e erodibilidade.

ABSTRACT

FROTA, Patrícia Vasconcelos, Universidade de Brasília. Mars, 2012. **Potential Erosion in Watershed Dam Orós - CE.** Advisor: Mauro Eloi Nappo; Maria Lúcia Brito da Cruz. Examiners: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi, Alcides Gatto, Marcos José Nogueira de Souza, Roselir de Oliveira Nascimento.

Soil erosion is a process that may occur all over the earth surface and, among other natural processes, it is responsible for modeling landscapes. Agricultural activities have a great impact on natural resources in order to ensure food supply for the world population, which requires definition of strategies to incorporate new areas and enhance its techniques to increase food production. Studies on the physical environment are important to support better understanding of the risk of soil erosion. The land occupation model is causing most of soil degradation in arid and semiarid regions in the world. The semi-arid region is vulnerable to water erosion, mainly due to its climatic and edaphic characteristics, and the unsustainable land use practices, which result in soil impoverishment for cropping and surface water quality deployment that is considered the most important water resources available in that region. This work aimed to map Potential Soil Erosion in the Orós Basin located in the semiarid region, where rainfall spatial and temporal distribution is highly irregular, also showing high average annual temperatures. The study area is predominantly occupied by ground based crystalline terrains, with poorly developed soils, shallow and rocky, quite susceptible to erosion. The typical vegetation is savanna, sparsely distributed in the area, with shrubby, offering little soil erosion protection. To mitigate impacts caused by the new human occupations, it was necessary to acquire dataset of the physical environment, especially those related to the risk of soil erosion. Based on it, this study intended to identify the physical environment constrains that determine levels of soil erosion susceptibility. The results showed that an irregular seasonal distribution of rainfall erosivity, mostly concentrated between March and April. Additionally, I observed that depending on soil types, the erodibility was classified as medium-high. The spatial topographic factor showed predominantly low values throughout the study site while low values were observed only in isolated areas.

Keywords: soil erosion, semi-arid region, erosivity e erodibility..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos núcleos de desertificação apontados pelo Programa de Ação Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca	47
Figura 2 – Formas básicas de encostas na paisagem e a direção da água	53
Figura 3 – Presença de calcário (a) e quartzo na rocha em decomposição (b). Distrito Pau de Leite, Acopiara – CE.	82
Figura 4 – Afloramento composto por mármore com veios de quartzito no sentido WSW-ENE (a) e vista de afloramentos de rochas em porções de Neossolos Litólicos (b) no Distrito de José de Alencar, Iguatu – CE.	83
Figura 5 – Mapa Geológico-Gemorfológico da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	85
Figura 6 – Mapa Hipsométrico da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	87
Figura 8 – Apesar da semiaridez característica da Depressão Sertaneja, estas áreas estão sujeitas às grandes pressões ambientais em virtude da ocupação desordenada e ausência de manejo sustentável da água e solo. Quixelô - CE.	90
Figura 9 – Topografias levemente onduladas no entorno do Açude Orós, Quixelô – CE.	91
Figura 10 – Evidência do complexo granítico. Entorno do açude Orós – CE.....	92
Figura 11 – Planície fluvial do rio Jaguaribe, Iguatu - CE.....	93
Figura 12 – Horizonte superficial do solo com destaque para a pedregosidade (a) e perfil para coleta de solo no Distrito de Serrote Grande (b), Orós – CE.	94
Figura 13 – Utilização do Trado para coleta de Neossolo Litólico no Distrito de José de Alencar, Iguatu – CE.	95
Figura 14 – Mapa Morfo-Pedológico da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	97
Figura 15 - Barragem do Açude Orós - CE (a), rio Jaguaribe, à jusante da barragem, tem o seu fluxo regularizado no período de estiagem pela água liberada do açude (b e c).....	99
Figura 16 – Mapa de Precipitação Média Anual da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	101
Figura 17 – Gráfico da Média Mensal de Precipitação da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	102
Figura 18 – Vegetação no período seco (a) e no período chuvoso (b) no entorno do Açude Orós - CE.....	103
Figura 19 - Mata ciliar bordejando as margens do rio Jaguaribe (a) e palmeiras de carnaúba, típica da planície fluvial (b).....	104
Figura 20 – Principais unidades fitoecológicas da Bacia de Drenagem do Açude Orós-CE. Respectivamente representadas pela (a) Catingueira e (b) Mameleiro.	105
Figura 21 – Retirada da vegetação da Área de Preservação Permanente do Açude Orós para cultivo de lavoura de subsistência (a) e desmatamento nas margens do Açude Orós - CE (b).	107
Figura 22 – Pastagem em Área de Preservação Permanente do Açude Orós utilizada pela pecuária bovina (a) e criação de caprinos (b).....	110

Figura 23 – Queimadas frequentes na Área de Preservação Permanente do Açude Orós com o objetivo de “limpar” o terreno para pasto e introdução de lavoura de subsistência.....	111
Figura 24 – Degradação ambiental representada por queimadas (a) para abertura de novas áreas de pastagem deixam o solo sem a proteção da cobertura vegetal (b) e construções nas margens do Açude Orós – CE. (c e d).....	112
Figura 25 – Área de rizicultura, município de Iguatu – CE (a) e solo encharcado, na área de agricultura de vazante (b).....	113
Figura 26 – Mapa de Uso e Ocupação da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE.....	114
Figura 27 – Mapa de Localização dos Postos Pluviométricos da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	118
Figura 28 – Pontos de amostragem da coleta de solos na área de estudo.....	121
Figura 29 – Oito possíveis direções para um determinado pixel (a) e direção do fluxo em função da cota ponderada pela distância entre eles (b).	125
Figura 30 – Representação da obtenção do Fluxo Acumulado a partir da Direção do Fluxo, pelo método D8; onde a) é uma representação da direção do fluxo em modelo numérico; b) é uma representação gráfica da direção do fluxo e c) é uma representação fluxo acumulado em modelo numérico e gráfica.	125
Figura 31 – Gráfico da Média Mensal de Erosividade das chuvas na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	128
Figura 32 – Mapa de Erosividade Anual da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	130
Figura 33 – Correlação entre a Precipitação Média Anual e o Índice de Erosividade Anual na Bacia Hidrográfica de Drenagem do Açude Orós – CE.....	131
Figura 34 – Mapa de Erodibilidade Anual da Bacia Hidrográfica de Drenagem do Açude Orós – CE.....	137
Figura 35 – Mapa de Declividade da Bacia da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	139
Figura 36 – Mapa do Fator Topográfico da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	142
Figura 37 – Perfil de Curvatura.....	144
Figura 38 – Mapa do Potencial de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	147
Figura 39 – Correlação dos Resultados de Erodibilidade com o Potencial de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	148
Figura 40 – Correlação dos Resultados de Erosividade com o Potencial de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	149
Figura 41 – Correlação dos Resultados do Fator Topográfico com o Potencial de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	149
Figura 42 – Mapa das Áreas com Alto Risco de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias de Vulnerabilidade e suas principais características.....	26
Tabela 2 – Ecodinâmica das paisagens, vulnerabilidade e sustentabilidade ambiental	27
Tabela 3 – Classes de Erodibilidade dos Solos.	72
Tabela 4 – Síntese da Geologia e Geomorfologia da Bacia de Drenagem do Açude Orós-CE.	84
Tabela 5 – Hipsometria da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	86
Tabela 6 – Classes de solos da Bacia de Drenagem do Açude Orós e suas principais características.....	96
Tabela 7 – Indicadores Demográficos dos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	108
Tabela 8 – Produto Interno Bruto dos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	108
Tabela 10 – Relação de Postos Pluviométricos, Precipitação e Erosividade (média/anual) da Bacia de Drenagem Açude Orós - CE.....	119
Tabela 11 - Pontos amostrados georreferenciados (UTM, SAD 69, Zona 24S) na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	122
Tabela 12 – Classes de Erodibilidade do Solo da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	122
Tabela 13 - Classes e Declividade pré-determinadas de acordo com a Legislação Ambiental	124
Tabela 14 – Precipitação Média Anual e Índice de Erosividade Médio Anual da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	127
Tabela 15 – Índices de Erosividade (R) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	129
Tabela 16 – Atributos físicos dos solos da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	133
Tabela 17 – Vulnerabilidade e Erodibilidade da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	134
Tabela 18 – Índices de Erodibilidade da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	135
Tabela 19 – Declividades da Bacia Hidrográfica de Drenagem do Açude Orós – CE.....	138
Tabela 20 – Classes do Fator Topográfico da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	141
Tabela 21 – Área Ocupada pela perda de solo na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	145
Tabela 22 – Características ambientais, potencial de erosão e práticas de manejo e conservação do solo e da água na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	154

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO E HIPÓTESES DA PESQUISA	17
1.3 ESCOPO DA TESE.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA	19
2.2 SISTEMAS AMBIENTAIS: CONDIÇÕES DE VULNERABILIDADE	22
2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS, PLANEJAMENTO E GESTÃO INTEGRADA	28
2.4 SEMIÁRIDO BRASILEIRO	33
Características Ambientais.....	33
Uso e Ocupação.....	37
Degradação Ambiental e Desertificação no Semiárido Cearense	40
2.5 EROSÃO E FATORES CONDICIONANTES	48
Fatores Condicionantes.....	50
Erosão hídrica e impactos ambientais	56
Equação Universal de Perda do Solo	63
Potencial de Erosão	67
3 MATERIAL E MÉTODO	78
3.1 MATERIAL	78
Levantamentos e Etapas	78
Delimitação da Área	80
Características Ambientais da Bacia de Drenagem do Açude Orós.....	81
3.2 MÉTODO.....	115
Cálculo da Erosividade (Fator R)	116
Cálculo da Erodibilidade (Fator K).....	121
Declividade e Fator Topográfico (Fator LS).....	123
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	127
4.1 Cálculo da Erosividade (Fator R) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.....	127
4.2 Cálculo da Erodibilidade (Fator k) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE. ..	132

4.3 Cálculo do Fator Topográfico (Fator LS) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	138
4.4 Cálculo do Potencial de Erosão (PE) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.	143
4.5 Práticas de Manejo e Conservação	152
5 CONCLUSÕES	157
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	159

1 INTRODUÇÃO

O ambiente em que vivemos é formado de sistemas, que podem ser descritos como um conjunto de elementos que mantêm relações entre si. As ligações entre os elementos do sistema resultam em um grau de organização, num certo espaço e num determinado tempo. As discussões sobre os impactos ambientais gerados pelas atividades econômicas ganham força dentro de todos os setores produtivos.

Desta forma, um avançado estado de degradação ambiental é atualmente constatado em áreas de produção agropecuária, impondo a necessidade de reabilitar ecossistemas como um objetivo comum da inovação tecnológica que busca o desafio de transformar a atividade agrícola na modalidade de uso sustentável dos recursos naturais básicos para a produção, buscando a viabilidade econômica e social.

A apropriação de novas áreas pelas forças produtivas sem práticas de manejo e conservação dos recursos naturais gera uma situação de conflito entre a sociedade e a natureza e isso é pautado fundamentalmente nos princípios econômicos vigentes. Esse modelo de exploração tem se agravado principalmente nas regiões áridas e semiáridas do planeta, pois elas possuem ecossistemas que, historicamente, vêm sendo considerados extremamente frágeis por pesquisadores como Kassas (1995), devido a sazonalidade das precipitações, associadas aos incidentes de seca e solos rasos com baixo teor de matéria orgânica.

A economia agrícola nas regiões semiáridas do planeta está fortemente sustentada na exploração dos recursos naturais como o extrativismo vegetal, o pastoreio em áreas com pastagens nativas e a exploração agrícola sem qualquer tipo de prática conservacionista (SCHENKEL; MATALLO JUNIOR, 1999) e assim, são considerados os principais fatores de degradação dos solos.

As regiões semiáridas têm como principal característica o desequilíbrio entre oferta e demanda de recursos naturais, que são altamente influenciáveis pelo delicado equilíbrio entre as condições climáticas, de solo, de vegetação e pelo modelo de produção implantado na área, além da deficiência hídrica, fazendo com que o ambiente seja bastante vulnerável. A degradação nestas regiões vem ocorrendo há muito tempo, devido principalmente à grande e contínua redução da cobertura vegetal, e à conseqüente erosão do solo.

O semiárido brasileiro abrange uma área de quase um milhão de km², abrigando uma população em torno de 20 milhões de habitantes. Está situado dentro de um ecossistema de extrema fragilidade, marcado por alta variabilidade das chuvas (temporal e espacial), com elevados índices de evaporação, com histórico marcado seguidamente por alternância de anos secos e chuvosos (DUQUE, 2004; MOLLE, 1994). As características ambientais do semiárido como os solos rasos da depressão sertaneja, a sazonalidade e variabilidade climática inter-anual impõem a necessidade de otimizar o potencial hídrico dessas áreas,. Desta forma a principal fonte de abastecimento hídrico dessa região são as águas superficiais acumuladas nos reservatórios, onde já se presencia o conflito pela água (ARAUJO, 2003).

O clima, litologia, uso intensivo do solo e mudanças na cobertura, fazem com que o semiárido do Nordeste brasileiro apresente uma elevada vulnerabilidade à erosão hídrica, levando a excessivas perdas de nutrientes, matéria orgânica e assoreamento acelerado dos reservatórios. Diversos pesquisadores, em várias regiões do Brasil, alertam para a escassez de dados e pesquisas de campo objetivando avaliar as perdas de solo (AGUIAR et al., 2006; ALBUQUERQUE et al., 2002; FRANCO et al., 2002; RODRIGUES, 2009; SANTOS et al., 2011).

A intensificação da exploração do homem sobre os recursos naturais dessas regiões tem causado a degradação do solo, dos recursos hídricos, da vegetação e da biodiversidade, que somados aos fatores socioeconômicos e a uma possível alteração das condições climáticas: local ou regional, vem dando início ao processo chamado desertificação. O estado do Ceará, sob o aspecto hidro-climatológico, destaca-se pelo regime irregular das precipitações, altas taxas de evaporação e rios intermitentes, sendo altamente dependente de reservatórios superficiais para atendimento de demandas hídricas.

Dentre os principais agravantes que culminam com o empobrecimento ambiental, da caatinga, Leal et al. (2005) citam a atividade humana não sustentável, como a agricultura de corte e queima – que converte, anualmente, remanescentes de vegetação em culturas de ciclo curto –, o corte de madeira para lenha, a caça de animais e a contínua remoção da vegetação para a criação de bovinos e caprinos, onde segundo Araújo et al., (2005) 30% da área do bioma já foi alterado pelo homem, principalmente em função da agricultura.

A sociedade precisa desenvolver práticas de manejo que, conservem os recursos naturais de modo a deixá-los de forma acessível às próximas gerações. Com isto surge a necessidade de se definir e testar um modelo de exploração no qual a sustentabilidade dos ecossistemas seja

mantida. Desta forma, é de primordial importância à obtenção de dados de erosão do solo em diferentes escalas espaciais. Esses dados possibilitam uma melhor análise das práticas atuais de uso do solo e contaminação dos corpos hídricos.

Neste contexto, destaca-se que os estudos relacionados à bacia hidrográfica sempre foram representativos para o meio ambiente, proporcionando a compreensão de um dado sistema ambiental relacionado à estruturação das redes de elementos fluviais, que é resultante da interação dos elementos da natureza tais como: geológicos, climatológicos, topográficos, pedológicos e biogeográficos. A dinâmica das bacias hidrográficas adquire grande importância com suporte técnico e científico para o planejamento ambiental.

Compreender as especificidades do semiárido consiste na análise integrada dos elementos que interagem com a quantidade limitada das precipitações anuais, além da sua irregularidade temporal e espacial. Trata-se das condições de distribuição e de acesso na água. As questões referentes à escassez hídrica, dizem respeito às problemáticas de gestão de água e não somente de disponibilidade e de armazenamento do recurso hídrico. A proposta do DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) na construção de reservatórios com o intuito de expandir o território agrícola, aliada a falta de técnicas adequadas e investimentos na manutenção das estruturas físicas dos perímetros fizeram com que houvesse uma maior demanda dos recursos naturais, sobrecarregando a capacidade de suporte e acentuando o nível de vulnerabilidade a atividade agrícola.

No Ceará, as barragens suprem mais de 90% da demanda hídrica do Estado. Entretanto, a produção de sedimentos nas bacias hidrográficas tem afetado a disponibilidade hídrica através do assoreamento e conseqüente redução da capacidade de armazenamento de água e vida útil dos reservatórios (ARAÚJO et al., 2005; 2006). Desta forma foi selecionada como área para desenvolvimento do estudo a bacia hidrográfica do Açude de Orós, que está localizada em parte dos municípios de Acopiara, Iguatu, Quixelô e Orós na porção sub-oriental do Estado do Ceará a aproximadamente 450 km da capital cearense, barrando o rio Jaguaribe, numa das mais importantes bacias hidrográficas da região, drenando uma área de 25.000 km² (SOARES et al., 2009). O Açude Orós é o maior reservatório estratégico atualmente em operação na Bacia do Jaguaribe no estado do Ceará. Foi projetado e construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, DNOCS, com uma capacidade de armazenamento de água de 1,96 bilhões de m³. Embora localizado no alto Jaguaribe, destina

maior parte de suas águas ao atendimento das regiões do médio Jaguaribe, baixo Jaguaribe, Salgado (canal Icó-Lima Campos) e região metropolitana de Fortaleza.

A erosão, o transporte e a deposição de sedimentos são questões ambientais que afetam a sociedade através do decréscimo da produtividade agrícola, da diminuição da capacidade dos reservatórios, da intensificação das inundações e da redução da disponibilidade hídrica, entre outros (FARIAS, 2008).

Ante o exposto, a presente pesquisa pretende trazer a lume, diante da relevância e da falta de informações disponíveis sobre a temática de erosão dos solos no Estado do Ceará, uma proposta de metodologia para análise do potencial de erosão a partir de dados de precipitação, solos e topografia da bacia de drenagem do açude Orós. O presente estudo contribui para análise do processo erosivo na área de estudo a partir da integração de informações qualitativas às técnicas de geoprocessamento, que permitiram gerar dados de suporte à análise da dinâmica espacial dos processos erosivos na referida bacia hidrográfica. Os dados e informações gerados com este trabalho oferecem base teórica e dados de apoio às instituições governamentais e iniciativa privada no planejamento de atividades de manejo e conservação do solo e da água.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é estimar o potencial de erosão a partir do uso de ferramentas de geoprocessamento e das características físicas e antropogênicas em áreas do semiárido brasileiro, oferecendo subsídios para as políticas públicas na redução do impacto causado pelas atividades agrícolas. São objetivos específicos:

- Indicar proposta metodológica para cálculo do potencial de erosão a partir de variáveis do meio físico da bacia de drenagem do açude Orós - CE;
- Caracterizar a área de estudo em seus aspectos físico-biótico e socioeconômico;
- Preparar informações estratégicas de suporte à implementação de políticas públicas para apoio e orientação ao pequeno, médio e grande agricultor;

- Elaborar material de estudo para técnicos de instituições públicas e privadas no tratamento de questões ligadas aos sistemas de manejo e conservação do solo e da água.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO E HIPÓTESES DA PESQUISA

Historicamente, as atividades socioeconômicas ditam a exploração dos recursos naturais, que são vistos como abundantes e permanentes. O quadro atual reflete a utilização não sustentável dos recursos naturais de forma geral, e mais especificamente dos recursos hídricos, que com grande desperdício, contribui para a diminuição da disponibilidade da oferta de água.

Dentre as principais alterações no uso do solo, a erosão é, provavelmente, a forma mais grave de degradação da paisagem ao redor do globo, e as práticas socioeconômicas têm acelerado esses processos de maneira intensa. Os sistemas de produção agrícola caracterizam-se por um extrativismo predatório dos recursos naturais. Desta forma, a degradação ambiental tem se tornado mais evidente e torna-se necessário, não apenas reverter esse processo, mas também prever danos futuros com base no planejamento ambiental e na adoção de práticas de manejo e conservação do solo e da água.

As discussões sobre vulnerabilidade à erosão dizem respeito ao reconhecimento de diferentes graus de sensibilidade/susceptibilidade do ambiente aos processos erosivos. São estudos associados à possibilidade de ocorrência da erosão, a partir da avaliação das atuais condições ambientais, tanto no que se refere às características naturais de solo, pluviosidade, relevo, geologia e cobertura vegetal como as condições de ocupação e uso da terra.

O desmatamento atinge diretamente as bacias hidrográficas cearenses, tendo em vista que ele é praticado tanto nas nascentes dos rios, nos setores topograficamente elevados, quanto nas áreas mais rebaixadas, ao longo das planícies fluviais. Esse tipo de prática implica em exposição direta do solo à ação das chuvas, o que resulta em erosão acelerada. Assim, os sedimentos são transportados com grande intensidade, por movimentos de massa e escoamento superficial, sendo depositados nos leitos dos rios e açudes, produzindo assoreamento ao longo dos vales fluviais.

. Os açudes estão, por esse fator, e diante do quadro de semiaridez da região, apresentando indícios elevados de salinidade. A população do entorno desses recursos

hídricos depende dessas águas superficiais para a subsistência, caracterizando assim um problema de ordem socioambiental. A gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos dessas bacias necessitam, portanto urgentemente levar em consideração a dinâmica geomorfológica local, no intuito de conscientizar a sociedade que ocupa e utiliza as águas das nascentes e cursos dos rios.

Desta forma, tem-se as seguintes hipóteses para este estudo: 1) Técnicas de geoprocessamento aliadas a dados físico-bióticos e socioeconômicos permitem estimar o potencial de erosão dos solos da Bacia Hidrográfica do Orós, 2) O manejo e conservação do solo e da água pode ser viabilizado a partir da estimativa e espacialização do potencial de erosão dos solos na área de estudo.

1.3 ESCOPO DA TESE

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. Neste primeiro foram apresentados os elementos básicos que nortearam a pesquisa como a introdução, apresentação do problema e justificativas e os objetivos do estudo. No segundo capítulo é apresentada a revisão de literatura, que traz os conceitos norteadores e os elementos teóricos que serviram de subsídio para o desenvolvimento deste trabalho. No terceiro capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados, bem como o método proposto para obtenção dos resultados. No quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões a partir da base cartográfica produzida e dos cenários de sustentabilidade sistematizados, assim como o elenco de propostas para manejo de água e solo em ambientes com elevado potencial de erosão. No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações diante dos procedimentos adotados no desenvolvimento da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA

A compreensão dos fenômenos associados aos problemas ambientais requer a integração das diversas áreas do conhecimento com o intuito de orientar intervenções na realidade e com o objetivo de alcançar a sustentabilidade. Moreira (2006) considera que o ambiente é um sistema integrado por um conjunto dinâmico de elementos da natureza (bióticos e abióticos) e da sociedade (socioeconômicos, culturais e políticos) interdependentes num tempo e espaço determinados. Para o estudo do ambiente torna-se necessário estabelecer uma abordagem sistêmica, baseada no princípio da interdisciplinaridade, que possibilite a identificação das alterações naturais e das introduzidas pelo homem e a previsão dos danos que possam ser causados por um uso incompatível com a capacidade de suporte deste ambiente.

Neste âmbito, pode-se observar que as preocupações em torno das questões ambientais estão cada vez mais em evidência, pois o meio natural compreende a base para a sobrevivência. Dessa forma, os estudos setoriais são de natureza analítica buscando identificar e interpretar os diversos componentes do ambiente.

O dinamismo da paisagem expressa que os elementos que a constituem, participam do processo de transformação de forma isolada e integrada, tendo a intervenção da sociedade como um elemento essencial, para a compreensão do geossistema e sua dinâmica. Igualmente, foram considerados os estudos de Tricart (1977) sobre a ecodinâmica das paisagens; Sotchava (1977), Monteiro (2000), Souza (2000), que discutem a teoria geossistêmica e sua aplicação, além de tratarem da relação sociedade - natureza.

As paisagens enquanto sistemas dinâmicos de objetos em permanente alteração vêm se modificando ao longo do tempo, devido aos fluxos de energia e matéria da natureza, bem como às ações humanas sobre os objetos que compõem as paisagens. Sobre a perspectiva de paisagem enquanto sistema, Tricart (1977), ressalta que tal perspectiva é o melhor instrumento lógico disponível para estudar as questões ambientais. Segundo Bertrand (1969) as unidades de paisagem se distinguem na forma como ocorre à inter-relação dos seus componentes geoambientais, fazendo com que possuam uma dinâmica própria justificando toda a organização espacial.

Tricart (1977) propôs uma classificação ecodinâmica baseada na relação dos processos pedogenéticos e morfogenéticos, classificando como “meios estáveis” aqueles onde predominam os processos pedogenéticos; “meios fortemente instáveis” representados pelas áreas onde há predominância de processos morfogenéticos e os “meios de transição” representados pelas áreas onde existe um relativo equilíbrio entre a morfogênese e a pedogênese.

Os ambientes estáveis são caracterizados por apresentarem uma cobertura vegetal densa que sirva de proteção contra efeitos erosivos; apresentam uma dissecação moderada do relevo; caracterizam-se como regiões tectonicamente calmas com predominância de processos pedogenéticos em função da incapacidade das ações pluviais e eólicas de removerem materiais.

Os fortemente instáveis detêm uma cobertura vegetal ausente ou esparsa, que apresenta limitadas condições de atenuação do processo erosivo; mostram relevos fortemente dissecados onde a influência da gravidade acentua o transporte de materiais desagregados; caracterizam-se como regiões de tectonismo intenso e, por fim, apresentam solos muito rasos.

Quanto aos meios de transição caracterizam-se por apresentar certo equilíbrio no balanço entre a pedogênese e a morfogênese, podendo haver a acentuação de um ou de outro processo dentro dessa relação.

Nos últimos anos, o estudo dos geossistemas tem ganhado importância e aplicação crescente nas pesquisas que entre outros objetivos, procuram promover a conservação, o uso racional e o desenvolvimento do espaço geográfico beneficiando toda biosfera, em especial, a sociedade humana. A evolução de metodologias geossistêmicas (MENDONÇA, 2003, SOUZA, 2000 e ROSS, 1995), apresenta a importância dos estudos de caráter integrado no planejamento do território. Mesmo com divergências quanto à aplicabilidade do Geossistema, (diante da relação sociedade e natureza), cada vez mais, estudos aprofundados sobre a definição do termo são conduzidos.

Cada sistema é uma unidade de organização do espaço natural e cada um apresenta potencialidades e limitações específicas do ponto de vista dos recursos naturais. Como tal, reagem também de forma singular no que tange às condições históricas de uso e ocupação (SOUZA, 2006). A análise sistêmica mostra a existência das interações ambientais existentes em um sistema ambiental, sua dinâmica e estrutura, fortalecendo a ligação entre os elementos

existentes em um sistema, cada qual com suas próprias características, mas com interdependência entre os mesmos.

Christofoletti (1999, 2001) fortalece a importância dada ao estudo dos sistemas ambientais, ao explicitar que os resultados desses estudos, devem resultar em propostas concretas para o manejo dos recursos naturais e planejamento ambiental, visando favorecer as metas da sustentabilidade. De maneira integrada, as relações entre os ecossistemas, os processos morfogenéticos e as intervenções humanas passam a ter um resultado lógico. Segundo Monteiro (2000), os sistemas ambientais apresentam uma grandeza espacial que resultará da própria dinâmica ao longo do tempo.

O estudo dos sistemas ambientais se fundamenta na compreensão dos modos de organização dos elementos físicos e biogeográficos, tanto a partir de um ponto de vista espacial, quanto temporal. Tal procedimento deve ser pautado pelo discernimento dos constituintes do sistema, pelos fluxos de matéria e energia, e pela definição das variáveis de análise mais relevantes (MAIA JÚNIOR, 2011).

A análise de sistemas foi considerada como o domínio de aplicabilidade e da operacionalização, em busca da compreensão do sistema bacia hidrográfica, enquanto a Teoria Geral dos Sistemas foi concebida no plano genérico e teórico-conceitual. Para tanto, a linha teórico-metodológica proposta está fundamentada na abordagem sistêmica e visão holística, compreendida na Geografia por meio da análise geossistêmica (BERTRAND, 1969). Tal perspectiva corresponde à análise geoambiental integrada (SOUZA, 2000).

Para Souza (2005) a análise geoambiental é uma concepção integrativa que deriva do estudo unificado das condições naturais conduzindo a uma percepção do meio em que vive o homem e onde se adaptam os demais seres vivos. Desta forma é possível concluir a partir do exposto que a problemática ambiental não pode ser entendida a partir de uma análise fragmentada. Para tanto se faz necessário conhecer o todo, percebendo a importância de cada componente geoambiental para a preservação dos sistemas ambientais face à suas fragilidades.

Desta forma, na perspectiva da análise ambiental integrada, o estudo dos recursos naturais, visa tanto à preservação dos sistemas ambientais, quanto o bem estar da sociedade, tendo como resposta o manejo sustentável. As atividades socioeconômicas passam a ser

levadas em consideração na modificação da paisagem, ou seja, o sentido de sustentabilidade ambiental passa a ser compreendido a partir do estudo integrado dos processos ambientais.

2.2 SISTEMAS AMBIENTAIS: CONDIÇÕES DE VULNERABILIDADE

A paisagem representa a combinação dinâmica e instável de elementos físicos, biológico e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazendo dessa paisagem um conjunto único e indissociável em perpétua evolução (BERTRAND, 1969).

A fim de garantir a sustentabilidade da paisagem, as múltiplas e interdependentes funções de seus ecossistemas devem ser identificadas em macro, meso e micro escala. Este entendimento de conjuntos distintos leva a compreensão de unidades de paisagem como uma “representação geográfica (projeção espacial) do ecossistema, denunciada por indicadores facilmente perceptíveis (vegetação, formas de relevo, uso e cobertura do solo) com um nível homogêneo de organização da vida em seu interior, tanto no que diz respeito a sua estrutura quanto ao seu funcionamento” (FÁVERO et al., 2004).

Thomas (2001) e Camargo (2002), afirmam que a dinâmica da paisagem é função da interação entre os fatores, onde qualquer componente alterado modifica o sistema como um todo; e dependendo da magnitude e frequência dos fenômenos espaciais e temporais, a paisagem sempre buscará mecanismos de ajuste de sua estabilidade para uma nova interação de todos dos elementos que a compõem.

As sociedades humanas não devem ser consideradas como elementos externos à natureza e, por conseguinte aos ecossistemas em que vivem. Elas devem ser vistas como integrantes fundamentais de tal dinâmica que é resultado de fluxos energéticos, os quais são responsáveis pelo funcionamento do sistema como um todo (ROSS, 1994). Monteiro (2001) sugere alternativas para a consideração conjunta da estrutura e dinâmica funcional da paisagem e abrem possibilidades para análise temporal-evolutiva. A organização e a evolução dos atributos naturais, juntamente com a consideração das derivações antropogênicas, analisadas segundo parâmetros qualitativos e quantitativos, levando-se também em consideração as expectativas sociais e a percepção humana, podem conduzir a decisões importantes no que se refere à busca da sustentabilidade ambiental das regiões.

A identificação da vulnerabilidade de uma área é uma abordagem que proporciona um conhecimento da situação atual do meio ambiente que pode servir como ponto de partida para se atingir o desenvolvimento de forma racional, preservando áreas de maior relevância ambiental.

Para Santos (2007), a caracterização ambiental é um procedimento de gestão ambiental na qual são estabelecidas as aptidões, as potencialidades, as fragilidades, as vulnerabilidades e as suscetibilidades naturais dos fatores ambientais (físicos, bióticos e antrópico), ou seja, é elaborado um diagnóstico da realidade local e realizada uma projeção de tendências. Desta forma a vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como o grau de exposição que determinado ambiente está sujeito, e assim disposto a diferentes fatores que podem acarretar efeitos adversos, tais como: impactos e riscos, derivados ou não das atividades socioeconômicas.

As diversas formas de uso e ocupação do solo podem intensificar os processos de transformação da paisagem e gerar resultados negativos, oriundos do desequilíbrio ambiental. Contudo, é necessário o levantamento de informações referentes ao meio biofísico e sócio organizacional, para se considerar de forma integrada as restrições, susceptibilidade e vocação do uso do solo, urbano e rural, de forma que as práticas socioeconômicas sejam desenvolvidas de maneira equilibrada, e com o mínimo de alteração na dinâmica dos sistemas ambientais.

Os estudos sobre vulnerabilidade ambiental têm crescido nos últimos anos, podendo-se mencionar a análise da vulnerabilidade de regiões à mudança climática. (METZGER et al., 2006) relacionaram vulnerabilidade a características do meio físico e biótico (declividade, altitude, temperatura, aridez, vegetação, solo), à exposição a fontes de pressão ambiental (densidade populacional, uso da terra) e à ocorrência de impactos ambientais (erosão hídrica) em uma área montanhosa (LI et. al., 2006), reservas hídricas subterrâneas à contaminação por agrotóxico e nitrato (BARRETO, 2006), geossistemas a processos morfogenéticos e pedogenéticos (LIMA et al., 2002), vulnerabilidade à mudanças climáticas e globais (SCHOTER et al., 2004, METZGER et al., 2006). Os autores mencionados consideram que a capacidade adaptativa é compreendida como a existência de ações sociais, econômicas e ambientais que permitem à sociedade melhor adaptação às possíveis mudanças ambientais; áreas próximas a unidades industriais às emissões de poluentes dessas unidades (TIXIER et al., 2005), bacias hidrográficas à degradação ambiental (TRAN et al., 2002; ZIELINSKI, 2002), e ecossistemas à degradação ambiental (VILLA; McLEOD, 2002).

A ocupação humana em áreas consideradas vulneráveis, sob o ponto de vista agrícola, tem aumentado o processo de perda do solo, ocorrência considerada natural devido à associação do clima com os tipos de litologia, relevo, solo e cobertura vegetal (SPÖRL; ROSS, 2004; GOMES, 2005). Para Mello et al., (2006), a falta de planejamento do uso do solo pode levar a processos erosivos em intensidade e velocidade que ultrapassam os limites de tolerância. Tendo em vista que a degradação dos solos afeta a sustentabilidade do agroecossistema inteiro (NAVAS et al., 2005), as práticas de conservação do solo e os métodos de avaliação de impactos ambientais e de perdas de solo surgem como importantes ferramentas no planejamento agroambiental.

Através da capacidade de suporte, é possível identificar áreas propícias à conservação dos recursos naturais, pois a análise da mesma utiliza indicadores que determinam o estado atual do ecossistema. A avaliação da vulnerabilidade à erosão e do solo indicam o estado atual dos fatores abióticos que estão intimamente associados aos fatores bióticos. Tais fatores devem ser protegidos, pois exercem papel essencial na conservação da diversidade biológica (DRUMMOND et al., 2005).

Para Silva e Rodrigues (2009) a paisagem é o resultado de uma interação entre elementos da natureza, o que inclui a sociedade e suas práticas de uso e ocupação do território e desta forma os autores aplicam o conceito aos estudos sobre fragilidade ambiental em bacias hidrográficas diante dos processos erosivos, condicionados pelas características físicas e econômicas de uma determinada área. Portes (2009) destaca que o conceito de fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica possibilita compreender a realidade dinâmica do ambiente e obter informações relevantes para subsidiar ações futuras. Vários modelos de mapeamentos de fragilidade ambiental foram elaborados, sendo os modelos de Ross (1995) e Crepani (2001) os mais conhecidos nacionalmente e aplicados em várias áreas das ciências ambientais (SPÖRL, 2001; SPÖRL; ROSS, 2004; DONHA et al, 2006; BASTOS, 2006; LUIZ, 2007). A fragilidade dos ambientes naturais, segundo Ross (2006) deve ser avaliada quando pretende-se considerá-la no planejamento territorial e ambiental.

O mapeamento das fragilidades ambientais identifica e analisa os ambientes em função de seus diferentes níveis de fragilidade. Com estas informações podem-se apontar as áreas onde os graus de fragilidade são mais baixos favorecendo então, determinados tipos de inserção; e também, aquelas áreas mais frágeis onde são exigidas ações tecnicamente mais adequadas a essas condições (SPÖRL, 2001).

Em relação aos estudos de fragilidade ambiental de cunho geográfico, Silva e Rodrigues (2009) esclarecem que estes se baseiam na análise empírica dos constituintes da paisagem organizados em níveis de informações que são superpostos e interpretados na tentativa de um estudo integrado dos componentes físico-naturais e sociais de determinada área. É necessário analisar o ambiente a partir de interações entre os processos geológicos e geomorfológicos, as condições morfopedológicas e as próprias condições relacionadas à cobertura vegetal, suas condições hidroclimatológicas, e as alterações intensificadas nesses elementos pelas formas de uso e ocupação da terra, sendo possível avaliar o grau de vulnerabilidade da área de estudo. Tal análise, sob a perspectiva qualitativa, visa contribuir com o planejamento ambiental e apoio na gestão territorial, apresentando seus resultados na forma de cartas temáticas que são organizadas e apresentadas por classes de fragilidade.

As correlações das categorias ecodinâmicas às de sustentabilidade e vulnerabilidade ambiental, descritas por Souza (2000) apresentam e discutem as relações ambientais conforme as características biofísicas preponderantes nas relações dialéticas dos geossistemas, considerando que as principais limitações de uso e estado de conservação dos recursos naturais, foram, portanto, enfocadas, qualitativamente, em quatro categorias de sustentabilidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Categorias de Vulnerabilidade e suas principais características

Categorias de Sustentabilidade	Características	Potencial hídrico e Clima	Solos	Ecodinâmica
SA	Boa capacidade produtiva dos recursos naturais e com limitações mitigáveis com o uso de técnicas simples	Boa quantidade de água superficial e subterrânea acumulada. Úmido com chuvas bem distribuídas	Moderadamente profundos com média a alta fertilidade natural, pouco suscetíveis à erosão em razão da conservação vegetal	Ambientes estáveis, com vulnerabilidade baixa ou muito baixa
SM	Razoável capacidade produtiva dos recursos naturais, incluindo-se condições satisfatórias dos recursos hídricos e possibilidades de uso das reservas paisagísticas	Subúmido a semiárido. Chuvas moderadas e distribuição temporo-espacial regular	Moderado potencial edafoclimático, bom estado de conservação pela vegetação primária ou pela sucessão ecológica	Ecodinâmica de Ambientes de transição ou <i>intergrades</i> , com vulnerabilidade moderada
SB	Sérios problemas quanto à capacidade produtiva dos recursos naturais renováveis	Apresenta baixo potencial o que converge para uma deficiência hídrica anual. Irregularidade climática	Solos rasos, muito erodidos, com afloramentos rochosos e baixa fertilidade natural	Ecodinâmica Instável com vulnerabilidade alta ou forte
SMB	Capacidade produtiva dos recursos naturais mínima. Degradação ambiental praticamente irreversível	Reduzido potencial hídrico associado à deficiência na distribuição espacial e temporal do recurso irregularidade climática	Solos rasos, pedregosos, muito erodidos, com afloramentos rochosos, pouca ou nenhuma cobertura vegetal	Ambiente fortemente instável com vulnerabilidade alta ou muito forte

*SA (Sustentabilidade Alta); SM (Sustentabilidade Moderada); SB (Sustentabilidade Baixa); SMB (Sustentabilidade Muito Baixa).
Fonte: Adaptado de Souza (2000).

Para Tricart (1977), o grau de estabilidade e instabilidade do relevo é de suma importância para nortear o uso e ocupação da terra na elaboração de zoneamentos ecológico-econômicos, as adaptações realizadas por Souza (2009), apresentam a relação entre o comportamento dos elementos que constituem o ambiente e à vulnerabilidade das condições geoambientais em função dos processos degradacionais, onde são definidas três categorias de meios ecodinâmicos: medianamente estáveis, de transição e instáveis. Neste contexto é importante considerar dentro das relações de causa e efeito os dados ligados às condições morfoestruturais, morfoesculturais, morfopedológicas, hidromorfológicas e a resposta fitoecológica. Conforme Souza (2000) e Santos (2006), deve-se representar traços característicos do uso e ocupação e do estado de conservação da vegetação para inferir elementos associados com a morfodinâmica atual derivada do antropismo.

As intervenções e transformações nos ambientes, causadas pelo modo de apropriação dos espaços estabelecidos pela sociedade, afetam a estabilidade do ambiente, tornando-o mais ou menos vulnerável. Desta forma é essencial que sejam realizados estudos sobre o nível de

intervenção associado à capacidade de suporte da área. Souza (2009) destaca a necessidade de considerar a ecodinâmica da paisagem associada ao uso e ocupação como critério básico para definição da fragilidade ambiental existente nos diferentes sistemas ambientais, onde as condições entre morfogênese e pedogênese foram analisadas a partir dos processos erosivos (Tabela 2).

Tabela 2 – Ecodinâmica das paisagens, vulnerabilidade e sustentabilidade ambiental

Ecodinâmica	Condições de Balanço entre Morfogênese e Pedogênese	Vulnerabilidade Ambiental	Sustentabilidade Ambiental
Ambientes medianamente estáveis	Apresentam fraco potencial erosivo decorrente da estabilidade morfogenética, favorecendo à pedogênese; a cobertura vegetal protege bem os solos contra os efeitos morfogenéticos de dissecação. É possível constatar solos mais espessos e horizontes mais diferenciados	Vulnerabilidade muito baixa	Sustentabilidade Alta
Ambientes de Transição	Interface permanente da morfogênese e da pedogênese, que promove uma tendência para a situação controlada pelo uso e ocupação do espaço. Os impactos são reversíveis e os solos quando bem manejados apresentam potencialidades de uso	Vulnerabilidade Moderada	Sustentabilidade Moderada
Ambientes Instáveis	A morfogênese é o elemento predominante. A deterioração ambiental é evidente e a capacidade produtiva dos recursos naturais está comprometida devido à intensa atividade do potencial erosivo. Os solos apresentam-se mais rasos com o aumento da erodibilidade (K) potencializado por outras variáveis como a retirada da cobertura vegetal	Vulnerabilidade Alta ou muito Forte	Sustentabilidade Baixa a muito Baixa

Fonte: Adaptado de Tricart (1977), Souza (2000) e Santos (2006).

Os Sistemas Ambientais são delimitados em função de combinações mútuas específicas entre as variáveis abióticas e bióticas. Destacando-se as diversidades internas dos sistemas, são delimitadas as unidades elementares contidas em um mesmo sistema de relações. Tais sistemas ambientais são resultantes do agrupamento de áreas dotadas de condições específicas quanto às relações mútuas entre os fatores do potencial ecológico (fatores abióticos) e aqueles da exploração biológica, compostos essencialmente pelo mosaico de solos e pela cobertura vegetal.

No que diz respeito à aplicação de estudos de abordagem sistêmica no Estado do Ceará, destacam-se as contribuições de Souza (1988, 2000, 2005, 2006 e 2009) e Oliveira (2002, 2003 e 2009) que apresentaram critérios modernos do zoneamento físico e da visão integrada da gestão do território, sendo mostradas as bases naturais e um esboço de zoneamento geoambiental.

Com base no exposto, verifica-se a importância dos estudos realizados a partir de uma abordagem sistêmica, sobretudo em ambientes cujas pressões das ações humanas são mais intensificadas devido à dependência que seus habitantes têm de seus recursos naturais. Tais estudos deverão produzir informações capazes de subsidiar o processo de gestão dos recursos naturais de modo a não deixar margem para que as decisões governamentais sejam regidas pelo imprevisto, pela pressão das necessidades e pelas mudanças conjunturais, mas sim, que sejam orientadas pelo conhecimento do território incluindo todos os seus elementos (SANTOS, 2004).

2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS, PLANEJAMENTO E GESTÃO INTEGRADA

O uso da bacia hidrográfica como unidade de trabalho busca atingir a eficácia da integração de um conjunto de práticas de manejo de solos e água, com vistas à manutenção do equilíbrio dos recursos ambientais, de modo a proporcionar um desenvolvimento adequado e sustentável das atividades agropecuárias, na área de abrangência da microbacia.

A análise geoambiental dá ênfase ao conhecimento integrado e à delimitação dos espaços territoriais modificados ou não pelos fatores econômicos e sociais. Para Souza (2009) os sistemas ambientais de uma bacia hidrográfica devem ser identificados e hierarquizados conforme as inter-relações dos seus componentes, dimensões, características de origem e evolução.

A bacia hidrográfica deve ser considerada como uma unidade físico-territorial, abrangendo dessa forma, além das condições físicas, as questões humanas nela inserida. É uma unidade natural constituindo-se como um sistema complexo diante do número de elementos e variáveis que a mesma possui (CARVALHO; NASCIMENTO, 2004). Além do mais as bacias integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas uma vez que, mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos ou impactos. Pinto (2007) destaca que a análise ambiental em bacias hidrográficas não pode ser realizada de forma fragmentada, em que geralmente as informações são construídas de forma setorializada.

Ranzini et al., (2004) considera as microbacias hidrográficas são ideais para avaliação dos impactos causados pela ação antrópica e para a caracterização do seu meio físico. Estes

procedimentos visam reconhecer as áreas críticas e com potencial de uso, e assim orientam a adoção de manejos que permitem a conservação da água. Entende-se que a bacia hidrografia é a unidade básica ideal para a análise ambiental, pois permite conhecer e avaliar seus múltiplos componentes e os processos e interações que ocorrem no seu interior. A visão sistêmica e integrada do ambiente fica submetida na adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise.

Guerra e Cunha (2006) consideram as bacias hidrográficas como excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nessa óptica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza. Deste modo, torna-se essencial a implantação de ações de monitoramento, pesquisa e gerenciamento (CALIJUR; BUBEL, 2006), conduzindo a bacia hidrográfica como célula básica de análise ambiental, permitindo conhecer e avaliar os diversos componentes, processos e interações (BOTELHO; SILVA, 2004).

Embora o conceito de bacia hidrográfica seja discutido por vários autores a exemplo de Villela e Matos (1975), Christofolletti (1999, 2001), Bigarella (2003), Tucci (2001), Cunha (2001), de forma generalizada, pode-se dizer que uma bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre de captação natural de água, drenada por um sistema interconectado de canais fluviais desde as nascentes até o ponto de saída da bacia. Os divisores de água são as cristas das elevações do terreno que separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes (NAGHETTINI, 2006). É importante salientar que tal conceito abrange todos os espaços de armazenamento, de circulação e saídas de água e do material dissolvido ou em suspensão por ela transportada (RODRIGUES; ADAMI, 2005).

Do ponto de vista hidrológico, a bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, de modo que, toda vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída. Nas depressões longitudinais, se verifica a concentração das águas das chuvas, isto é, do lençol de escoamento superficial, dando origem ao lençol concentrado – os rios. Tucci (2001) conceitua bacia hidrográfica como um sistema geomorfológico aberto, definida por um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, que recebe matéria e energia através de agentes climáticos e perde através do deflúvio. A bacia hidrográfica, como sistema aberto, pode ser descrita em termos de variáveis com inter-relações bem definidas. Estas formam os elementos que contribuem para a definição das características da bacia e são constituídos pelo clima,

relevo, solo e cobertura vegetal. Neste percurso, recebe suprimento contínuo de energia através do clima reinante e que sistematicamente, perde energia através da água e dos sedimentos que deixam. As transformações físicas que ocorrem na superfície são acompanhadas por quantidades de energia, onde a radiação solar funciona como a maior fonte de energia da matéria em movimento em seguida finalizando as saídas.

Guerra e Cunha (2006) têm demonstrado que os dados físicos de uma bacia hidrográfica podem ser utilizados para compreender o tipo de escoamento (superficial ou sub-superficial), os mecanismos erosivo-deposicionais mais preponderantes e as áreas mais susceptíveis as mudanças, que são resultantes da interação de diversos fatores na paisagem, com o clima, os aspectos geológicos, os solos, o relevo, a cobertura vegetal e as diversas formas de uso e ocupação da terra. Estas informações explicitam os indicadores físicos da bacia, caracterizando suas homogeneidades, diferenças e áreas de fragilidades naturais.

A área da bacia é caracterizada, topograficamente, pela drenagem de sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial (COELHO NETO, 2001). Tal conceito abrange todos os espaços de armazenamento, de circulação e saídas de água e do material por ela transportado, que mantêm relações com esses canais. A bacia de drenagem pode desenvolver-se em diferentes tamanhos e desta forma podem se articular a partir dos divisores de drenagem principais e drenar em direção a um canal, curso principal, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (CUNHA, 2001; CHRISTOFOLETTI, 1999, 2001).

Considerando o fato de que quase todas as áreas ocupadas por assentamentos humanos fazem parte de uma bacia hidrográfica, a sociedade poderá planejar e ocupar de forma ordenada o seu território, possibilitando a instalação de um novo equilíbrio neste importante sistema ambiental no qual habita (ALMEIDA, 2005). Isso levando-se em conta estudos relacionados à sustentabilidade do ambiente, principalmente a estrutura e a capacidade de suporte dos recursos naturais em relação aos seus mais diversos usos, sejam atividades direcionadas para áreas urbanas quanto em áreas rurais.

Segundo Porto e Porto (2008) sob o território da bacia hidrográfica se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Este conceito atualmente é uma das referências espaciais mais comuns nos estudos físico-territoriais ou de projetos, não só em função de suas

características naturais, mas pelo fato dela estar presente em grande parte da legislação vigente no que diz respeito ao meio ambiente, fazendo parte, portanto, do planejamento territorial e ambiental no Brasil (RODRIGUES; ADAMI, 2005).

A bacia hidrográfica é utilizada como unidade análise territorial, planejamento e gerenciamento mais eficaz para caracterizar os recursos hídricos, minimizar os impactos e recuperar os transtornos ambientais tais como poluição de afluentes de rio ou diminuição da mata ciliar. Neste contexto a bacia se constitui num sistema bem delimitado geograficamente, onde interagem a dimensão sócio-político-econômica da sociedade e a dimensão ambiental, nas quais estão presentes os recursos naturais bem como as trocas (input e output) entre estes sistemas (SANTOS, 2004). Sobre este ponto de vista é possível acompanhar as transformações na paisagem introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza (ALMEIDA, 2005).

A bacia hidrográfica por ser a principal unidade do estudo hidrológico. Ela permite o maior entendimento da dinâmica do ambiente por meio do conhecimento de variáveis hidrológicas como precipitação, vazão e evapotranspiração, pois estes dados permitem o suporte a calibração e a validação de modelos hidrológicos (CHOW, et al., 1988; MARTINS; PAIVA, 2001; RIGHETTO, 1998). No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, regida pela Lei 9.433/1987, regulamenta em seu artigo 21, inciso XIX da Constituição Federal, estabelece no seu artigo 1o, inciso V: “A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”.

Atualmente, os recursos hídricos têm sua gestão organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados. Há certamente dificuldades em se lidar com esse recorte geográfico, uma vez que os recursos hídricos exigem a gestão compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica (PORTO; PORTO, 2008). Desta forma, o conceito de bacia está bem estabelecido e consolidado, representando um grande processo de descentralização da gestão baseada em pesquisa e inovação aplicada a cada bacia hidrográfica. Nesse contexto, escalas espaciais e temporais são fundamentais a considerar (REBOUÇAS et. al., 2011).

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento tem um aspecto positivo, pois a maioria das relações de causa-efeito, aí geradas, está ligada ao uso dos recursos hídricos, cuja rede de drenagem se conforma a estes fatores de intervenção humana. Por outro lado, Freitas (2000) considera um efeito negativo da adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, o fato de que grande parte destas relações de causa e efeito tem caráter econômico e político, o qual extrapola os limites da bacia hidrográfica, o que dificulta a negociação social.

Catanoce (2002) relata que a forma de delimitar a área a ser planejada é aplicar o planejamento de bacia hidrográfica, que serve de subsídio para a elaboração do plano de recursos hídricos, plano diretor e o gerenciamento da bacia, onde dará diretrizes gerais para compatibilizar o desenvolvimento das atividades econômicas com as necessidades de proteção, recuperação e conservação dos recursos hídricos e outros recursos naturais da bacia. De acordo com Tonello (2005), a bacia hidrográfica é vista como unidade de planejamento, assim como o disciplinamento do uso e ocupação do solo é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram.

A bacia hidrográfica é considerada a unidade espacial de planejamento mais apropriada, pois permite a integração multidisciplinar entre distintos sistemas de planejamento e gerenciamento, estudo e atividade ambiental, possibilitando, assim, o controle objetivo dos recursos naturais e socioeconômicos, favorecendo a integração de práticas de uso e manejo do solo, da água e a organização comunitária (NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008). O tamanho ideal de bacia hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática de interesse. Esse conceito sistêmico adapta-se muito bem aos sistemas de gestão de recursos hídricos.

Souza et al., (2002) dizem, especificamente, que a delimitação de bacias, enquanto unidades de análise para estudos de planejamento, justificam-se não só pelo reconhecimento da importância dos recursos hídricos, como também pela riqueza de variáveis a serem destacadas na pesquisa, como relevo, solo, vegetação, interferências humanas. As bacias de tamanhos diferentes articulam-se através dos divisores de drenagem principais em direção a um canal, tronco ou coletor principal, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado. Como bacias hidrográficas compreendem-se aquelas compostas basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem, composta por cursos hídricos confluentes, formando único leito.

Do ponto de vista da conservação do solo e da água, a unidade de terreno para planejamento de ações deve ser uma bacia hidrográfica ou microbacia, sendo esta última mais comumente referida, porque é nessa unidade que todos os processos erosivos, associados aos processos hidrológicos, estão representados. A avaliação da erosão nessas condições, portanto, também tem grande importância na evolução do conhecimento e da tecnologia de controle da erosão, especialmente no planejamento de bacias e microbacias hidrográficas em programas de conservação e uso da água, conservação de solos e proteção ambiental. O conhecimento dos níveis de fragilidade presentes em uma bacia hidrográfica, por meio da integração de diversas variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais, possibilita compreender a realidade e obter uma visão mais clara sobre quais são as opções mais adequadas para o uso da terra (SPÖRL, 2001).

O planejamento ambiental em bacias hidrográficas vem constituindo-se, nas últimas décadas, no caminho mais propício para o desenvolvimento de atividades de enfoque sistêmico na aplicação de projetos de pesquisa e desenvolvimento. O enfoque deve ser participativo na geração e validação de tecnologias adaptadas às condições agro-ecológicas e socioeconômicas das diferentes regiões, objetivando a execução de ações que visem reverter quadros de degradação ambiental (MACHADO; STIPP, 2003).

2.4 SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Características Ambientais

O semiárido brasileiro está situado em um ecossistema de extrema fragilidade, marcado pela alta variabilidade das chuvas (temporal e espacial), com elevados índices de evaporação e histórico marcado com alternância de anos seguidos de secas e outros chuvosos (DUQUE, 2004). A principal fonte de abastecimento hídrico dessa região são as águas superficiais acumuladas nos reservatórios, onde já é possível presenciar o conflito entre as demandas representativas dos diversos tipos de usos (ARAUJO, 2003).

A escassez de água em quantidade e/ou qualidade adequada tem sido um grave problema enfrentado pela sociedade em várias partes do mundo, com algumas regiões já enfrentando situação de estresse hídrico (LOZÁN et al., 2007). Em regiões que naturalmente apresentam deficiência hídrica, a escassez desse recurso pode representar um dos principais

fatores limitantes ao desenvolvimento econômico. No Nordeste brasileiro, essa realidade tem graves conseqüências sociais, por ser uma das regiões semiáridas mais densamente povoadas do mundo.

De acordo com Araújo (2003) o semiárido ocupa uma área de 982.563 km² e abriga uma população em torno de 15 milhões de habitantes, onde o conflito pela água já é uma realidade. A região apresenta como característica marcante a irregularidade ou escassez de chuvas, podendo ser agravada pelo fato da evaporação ser maior que a precipitação, favorecendo a ocorrência de secas.

O semiárido padece de vulnerabilidades de caráter geoambiental, socioeconômico e científico-tecnológico. O ritmo e a forma de ocupação demográfica e produtiva do seu ambiente acentuam as fragilidades.

Entre os aspectos físicos que caracterizam o semiárido, a pluviometria é considerada a variável climatológica mais importante. De acordo com Wenner e Gerstengarbe (2003), as estações de chuva no Ceará (úmida/ seca) são predominantemente determinadas pela posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) do Atlântico Norte, pela temperatura da superfície do mar (TSM) e pelos eventos El Niño e La Niña. Por isso, a distribuição espacial das precipitações no estado não é uniforme.

O semiárido é caracterizado pelo desequilíbrio entre oferta e demanda de recursos naturais e, submetidas a condições particulares de clima, solo, vegetação, relações sociais de produção e, em consequência, a distintos modos de vida. Para Santos (2008) as terras secas se adaptam às variações climáticas e por definição, tem fortes limitações de água doce. As precipitações podem variar consideravelmente ao longo do ano e períodos de seca prolongada podem durar vários anos.

As secas estão associadas às características climáticas da região, as quais possuem grande variabilidade espacial e temporal na distribuição de precipitação, bem como a concentração de mais de 80% do total anual da chuva no período de quatro meses (MARENGO, 2006).

O entendimento dos processos hidrológicos dominantes é fundamental para a quantificação da disponibilidade hídrica e a avaliação do impacto de ações antrópicas sobre a mesma (MEDEIROS et al., 2009). No semiárido brasileiro, estudos têm demonstrado que o

principal condicionante da geração de escoamento superficial são as elevadas intensidades das precipitações, gerando escoamento do tipo hortoniano (COSTA, 2007). Outro aspecto importante é a ocorrência de solos rasos sobre substrato cristalino, conferindo uma capacidade reduzida de armazenamento sub-superficial e subterrâneo de água.

Para Marengo (2006), o semiárido é representado por grandes secas ou grandes cheias e, estatisticamente, acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos. O regime pluviométrico delimita duas estações bem distintas: a estação de chuvas, com duração de três a cinco meses e a estação de seca, com duração de sete a nove meses. Tais condições, dentre outras, determinam o sucesso de atividade agrícola e pecuária e a sobrevivência das famílias.

Quanto à disponibilidade hídrica, a mesma, não só é limitante quanto extremamente variável no tempo e no espaço. Essa variabilidade origina-se de quatro causas principais: (i) sistema muito complexo da formação das chuvas, com frentes que vêm de vários quadrantes e que vão perdendo sua força à medida que penetram no núcleo do semiárido, resultando em chuvas erráticas e concentradas em poucos meses do ano e em anos chuvosos alternados irregularmente com anos de secas; (ii) disposição orográfica, com serras e chapadas mais altas interceptando as frentes mais úmidas, recebendo mais chuvas que o entorno e criando zonas pouco chuvosas a sotavento; (iii) escoamento das águas, deixando as encostas mais secas e concentrando-se nos vales, formando lagoas e rios, onde a disponibilidade hídrica estende-se por semanas e até meses depois que as chuvas cessam; e (iv) variabilidade dos solos, com maior ou menor capacidade de reter as águas das chuvas, por conta de diferentes profundidades e texturas (SAMPAIO, 2010).

Mesmo com os condicionantes apresentados, o semiárido brasileiro é o mais chuvoso do planeta: a pluviosidade é, em média, 750 mm.ano^{-1} variando, dentro da região, de 250 mm.ano^{-1} a 800 mm.ano^{-1} . Todavia, existe déficit hídrico. Mas isso não significa falta de chuva ou de água. A grande questão está na relação chuva-evaporação onde a chuva que cai é menor que a água que evapora. Segundo Malvezzi (2007) a evaporação potencial na região é de $3.000 \text{ mm.ano}^{-1}$, muito superiora precipitação. Como as precipitações são concentradas em cerca de quatro meses ao ano, há excedente hídrico nesses meses, possibilitando seu aproveitamento; então, caso as precipitações ocorressem continuamente, o excedente da chuva seria próximo de zero, fazendo da região um deserto (ARAÚJO; GONZALEZ PIEDRA, 2009).

Outro elemento que afeta significativamente os fluxos hídricos em bacias hidrográficas no semiárido brasileiro é a densa rede de barragens nos rios da região (MALVEIRA, 2009). Estas são construídas com a finalidade de acumular parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos, para compensação das deficiências hídricas nos períodos de estiagem (COSTA, 2007). No entanto, além de provocar uma maior regularidade das vazões naturais, essas estruturas intensificam as perdas por evaporação, afetando, assim, o balanço hídrico de bacias hidrográficas não só quanto à temporalidade das vazões como também quanto ao total dos volumes escoados.

Segundo Araújo (2011) a disponibilidade hídrica deve ser avaliada como função da garantia de oferta. No caso do semiárido brasileiro, a garantia associada de planejamento é, em geral, de 90% anuais; em números médios, as bacias hidrográficas na região, escoam entre 6 e 12% da precipitação anual e os reservatórios disponibilizam entre 25 e 50% da vazão afluente ao açude. Quanto ao reservatório a disponibilidade *in situ*, isto é, no açude, deve situar-se entre 1,5 e 6% da precipitação na bacia. Considerando-se que as perdas no sistema entre o açude e o usuário sejam de um quarto da água aduzida, pode-se estimar a disponibilidade efetiva da água superficial entre 1 e 4,5% da precipitação, ou seja, algo entre 5 e 35 mm anuais.

A vulnerabilidade natural da região, especialmente em termos hidrológicos e geoambientais precisa ser analisada e se caracteriza pela má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, apresentando um período de estiagem e um período chuvoso, o qual é representado por chuvas de alta intensidade e de curta duração, resultando em elevado risco de perda de solo (SANTOS et al., 2006).

A variabilidade dos solos presentes no semiárido advém, principalmente, do efeito diferencial da erosão geológica, descobrindo camadas distintas, até o limite da exposição das rochas, formando os lajedos de muitas áreas e os pavimentos recobertos de rochas, pedras e pedregulhos. O solo é, em geral, o mais importante reservatório hídrico de uma bacia, capaz de armazenar água nos momentos de excesso de chuva (reduzindo as cheias) e de repor a água armazenada nos rios durante os períodos de estio (reduzindo as secas). Sua ausência (ou insuficiência) aumenta cheias e secas, como por exemplo: durante um evento chuvoso extremo o solo rapidamente se satura, aumentando a vazão escoada e, portanto, a cheia; apesar disto, logo após o evento a pouca água armazenada já terá escoado e os rios secarão, permanecendo secos até o próximo evento. De acordo com Araújo (2011) o solo é

comumente raso e com baixa capacidade de retenção de água e é fundamental para a compreensão do comportamento hidrológico em suas bacias.

Souza Filho (2006) ressalta que a variabilidade climática do Nordeste brasileiro reduz a quantidade de água disponível com relação às regiões de menor variabilidade e reduz a qualidade da água disponível (aumenta, por exemplo, o nível de salinidade). Desta maneira, gera impactos em todo o sistema de recursos hídricos demandando adaptações e ajustes nos instrumentos de gestão.

Uso e Ocupação

As práticas agrícolas realizadas sem um planejamento adequado, em algumas regiões do Brasil, têm provocado grandes distúrbios ao meio ambiente (SILVA et al., 2007). Estes problemas se tornam ainda mais evidentes nos terrenos que apresentam declividade acentuada e/ou desprovidos de cobertura vegetal (OLIVEIRA, 2009). O uso e a ocupação da terra são importantes fatores que influenciam a ocorrência e a intensidade do escoamento superficial e a produção de sedimentos (CHEN et al., 2001; GAFUR et al., 2003). Esse processo tende a se acelerar, à medida que a cobertura vegetal é retirada para a produção agrícola, uma vez que os solos ficam desprotegidos e, conseqüentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno.

O que se nota principalmente na zona rural, é que as perdas por erosão continuam sendo elevadas, haja vista que a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo nem de conservação adequadas ao solo. Neste contexto, a erosão acelerada dos solos coloca-se como um dos principais desencadeadores da degradação de terras e um dos maiores impactos causados pela atividade agrícola, uma vez que contribui para a diminuição do potencial produtivo dos solos, bem como para o assoreamento e decréscimo da qualidade dos recursos hídricos (LAL, 1994).

A ocupação do semiárido brasileiro ocorreu sempre em uma perspectiva de exploração excessiva, levando inclusive à exaustão de parte dos recursos naturais. Deve-se considerar ainda que, aliada a essa exploração predatória, estabeleceu-se uma estrutura social concentradora de renda e de poder, responsável pela relativa estagnação dos baixos índices socioeconômicos registrados na região (SANTOS et al., 2007).

O sistema tradicional de produção agrícola no semiárido consiste de uma exploração conjunta de agricultura e pecuária. Contudo, na realidade, as transformações recentes da agricultura na região é resultado do processo de modernização do campo e se traduzem em grandes desigualdades socioeconômicas.

As explorações predominantes na área são a pecuária extensiva e a agricultura de subsistência, mas as variações climáticas nesta região, sobretudo nos períodos de estiagem, agravam um conjunto de questões econômicas e sociais, que desestruturam o sistema produtivo e concorrem para sua não consolidação (BEZERRA, 2002). Na pecuária, o que se sobressai é o superpastoreio. A agricultura é desenvolvida mediante a prática de desmatamento indiscriminado, queimadas e períodos de pousio inadequados. Há ainda intensa extração de lenha e madeira para atender à demanda familiar, de cerâmicas e padarias, contribuindo enormemente para a redução da vegetação da caatinga (ARAÚJO FILHO, 2002).

O bioma caatinga, que está inserido no semiárido e abrange cerca de 54% da região nordeste do Brasil (ANDRADE et al., 2005), apresenta diversidade florística resultante de várias condições fitoecológicas. Sua paisagem natural originada pela auto-organização da biosfera, praticamente tem perdido suas características geoecológicas primárias em função do uso inapropriado destas atividades socioeconômicas. Nas últimas décadas vem-se observando um cenário extremamente modificado pelo intenso processo de degradação, manifestada principalmente no surgimento e/ou intensificação dos processos biofísicos, tais como: erosão e aumento do déficit hídrico dos solos, contribuindo para a alteração microclimática e para a expansão da desertificação afetando, conseqüentemente, a biodiversidade (TRIGUEIRO et al., 2009).

Grande parte da do bioma caatinga é explorado para produção de lenha, seja como finalidade principal, seja como produto da abertura de áreas para plantio ou pastagem e outra parte é usada como pastagem nativa, com os animais consumindo a vegetação herbácea presente na época de chuvas e as folhas de árvores e de arbustos que caem ao longo da estação seca (SCHACHT et al., 1989). Com o corte e a queima ocorrem maiores escoamentos e produção de sedimentos (SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003; GARCÍA-RUIZ et al., 2008; THOMAZ, 2009) concorrendo para a degradação da área.

Assim, a agricultura proporciona baixos rendimentos e muitas áreas têm sido abandonadas e regeneradas. Como resultado, a presente cobertura é um mosaico de diferentes estágios de regeneração, no qual áreas de caatinga original preservada são cada vez mais raras (PEREIRA et al., 2003; SILVA; SAMPAIO, 2008).

Araújo et al., (2005) ressaltam que 30% da área do bioma já foi modificado irreversivelmente pelo homem e espera-se rápida perda de espécies únicas, eliminação de processos-chave nos sistemas ecológicos e formação de extensos núcleos de desertificação em vários setores da região. Outro fato relevante é que o desmatamento e as queimadas são práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária na maior parte deste bioma (SANTOS; TABARELLI, 2002) e, quanto maior a intensidade de uso do fogo em uma área, maiores serão as modificações nas comunidades vegetais presentes para as sucessões seguintes (SHEUYANGE et al., 2005).

Dentre os principais agravantes que culminam com o empobrecimento ambiental, em larga escala, da caatinga, Leal et al., (2005) citam a atividade humana não sustentável, como a agricultura de corte e queima – que converte, anualmente, remanescentes de vegetação em culturas de ciclo curto –, o corte de madeira para lenha, a caça de animais e a contínua remoção da vegetação para a criação de bovinos e caprinos.

No Ceará, assim como no Nordeste, a degradação também já se generalizou, tornando-se muito difícil encontrar uma área com um ecossistema original virgem, que ainda não tenha sofrido intervenção humana ou de animais domésticos. Souza (1988) e Oliveira (2002, 2003) relatam que no Estado do Ceará, o problema de degradação ambiental vem tomando proporções preocupantes em determinadas áreas, rompendo com o equilíbrio natural e tendendo para condições irreversíveis com o caso da desertificação. Além da peculiaridade climática o estado cearense possui historicamente formas de uso e ocupação da terra as quais contribuem para acelerar os problemas ambientais, pautados na pecuária extensiva, na agricultura de sequeiro e no extrativismo vegetal. Tais atividades exercem fortes pressões sobre o quadro físico cearense devido utilizar técnicas extremamente rudimentares.

O homem precisa desenvolver práticas de manejo que, além de fornecer alimentos necessários às populações, mantenham os recursos naturais conservados de modo a deixá-los de forma acessível às próximas gerações. Com isto, surge a necessidade de se definir e testar um modelo de exploração no qual a sustentabilidade dos ecossistemas seja mantida.

Degradação Ambiental e Desertificação no Semiárido Cearense

O modelo de exploração tem se agravado principalmente nas regiões áridas e semiáridas do planeta, pois elas possuem ecossistemas que, historicamente, vêm sendo considerados extremamente frágeis por pesquisadores como Kassas (1995), devido à sazonalidade das precipitações, associadas às incidências de seca e solos rasos com baixo teor de matéria orgânica, ocasionando comportamento sazonal da vegetação e baixa capacidade de resiliência. O conceito de fragilidade resulta do sistema de vida e produção que vem sendo adotado na região, onde não se levam em conta os princípios, as características e as qualidades do bioma. Estas regiões estão sendo submetidas, a elevado adensamento populacional e exploração além da sua capacidade de regeneração. Por causa disso as áreas com risco de desertificação vêm aumentando.

O processo de degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo é perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. E este processo pode ser agravado pelo fato das formas de uso e ocupação da terra produzir efeitos ambientais adversos, como diversos impactos socioambientais o que pode provocar a diminuição da qualidade ambiental possuindo uma relação direta com o estado de conservação da vegetação. E estas formas de ocupação estão associadas aos modelos de exploração dos recursos naturais pelo valor econômico e social, destacam-se algumas atividades que são exercidas em determinadas áreas: agricultura, desenvolvimento urbano, turístico, industrial e implementação de infraestrutura (SOUZA, 2005).

As principais razões que contribuem para o aparecimento do fenômeno da desertificação são: a substituição da cobertura vegetal por construções ou sua retirada contínua para a manutenção de áreas descobertas, a retirada da vegetação para utilizar material do solo ou subsolo, a destruição periódica por fogo para facilitar a caça ou manter uma cobertura baixa, a retirada das plantas para lenha e a substituição da vegetação original por outra de melhor produção agrícola, ou melhor, uso como pastagem.

A degradação ambiental envolve a redução do potencial de recursos renováveis. E esta redução pode levar a desertificação. A sociedade acelera este processo, principalmente em áreas mais vulneráveis como as áridas e semiáridas. Isto se deve principalmente pelo

desenvolvimento desordenado de atividades econômicas e que não visam à conservação e preservação dos recursos naturais renováveis dessas áreas.

O conceito de degradação raramente está associado às alterações decorrentes de processos e fenômenos naturais. Este conceito modifica-se segundo a atividade a partir da qual os efeitos são gerados, bem como em função do campo do conhecimento em que são avaliados e identificados (BITAR, 1997).

A questão da relação entre a degradação e o desenvolvimento econômico sustentável tornou-se o ponto de foco da pesquisa de pesquisadores que buscam ligação entre os conceitos de vulnerabilidade e degradação ambiental. Muitos trabalhos sobre degradação têm sido conduzidos em todo o globo envolvendo agricultura irrigada (GÓMEZ-LIMÓN; RIESGO, 2009), cultivo agro-ecológico (CASTOLDI; BECHINI, 2010), sustentabilidade de cultivos e fazendas com práticas diversas de manejo (BASTIANONI et al., 2001; ZHEN et al., 2006; GALAN et al., 2007), degradação pelo desmatamento e queimada da vegetação (SHEUYANGE et al., 2005; RASUL; THAPA, 2006), degradação e desertificação de pastagem natural em função do manejo e da qualidade do solo (SNYMAN; PREEZ, 2005; ZHAO et al., 2005), estudo da degradação do solo em escala regional de áreas agrícolas e florestais (PAZ et al., 2006, 2008).

Devido à maior fragilidade ambiental que apresenta o semiárido, as modificações antropogênicas promovem maior impacto sobre o ambiente. Vários estudos procuram associar as atividades humanas como as principais responsáveis pelo início do processo de desertificação estando consubstanciado nos documentos resultantes das Conferências de Nairóbi de 1977 e da Convenção Rio-92, por meio do Plano Mundial de Ação contra a Desertificação, a Agenda 21 e a Convenção sobre Desertificação (SCHENKEL; MATALLO JUNIOR, 1999).

Os principais fatores de degradação são relacionados quanto ao desmatamento e as atividades agrícolas; mas é necessário levar em consideração não só essas intervenções, como também, o superpastoreio, a exploração intensa da vegetação, as atividades industriais, a mineração, o manejo inadequado dos solos e a ausência de planejamento como fatores atuantes à degradação.

A degradação pode ser ocasionada por perturbação do solo, por ações naturais como vento, fogo, terremoto, queda de árvores, enchentes e outros, em que a resiliência natural do

sistema geralmente possibilita sua recuperação (SOUZA, 2010). Um tipo de degradação da terra é a erosão do solo e tem como principais agentes: a água corrente e o vento. Algumas erosões são naturais; outras são causadas por atividades humanas que acabam tornando os ambientes mais vulneráveis. A erosão dos solos possui efeitos nocivos como a perda de fertilidade pelo esgotamento do nutriente das plantas e a remoção de sedimentos, que pode culminar com o assoreamento.

A degradação ambiental envolve a redução do potencial de recursos renováveis. E esta redução pode levar ao abandono ou a “desertificação” daquela porção de terra. Existem diferentes formas de degradação que estão relacionadas com os componentes: atmosfera, vegetação, solo, geologia e hidrologia. E se ocorre de forma inconsequente acaba por debilitar os geoambientes causando a destruição de uma parte dos recursos naturais e também a pauperização dos setores econômicos baseados principalmente em atividades agrárias. Sendo que a degradação também pode ser causada por condições atmosféricas, que vêm sendo provocadas pela ação da sociedade, provocando mudanças no clima global. Ou até mesmo pela própria cobertura vegetal e também por animais nocivos, por meio da ação direta da sociedade e agravada por processos naturais, como por exemplo, períodos de seca podem ser mais ou menos cíclicos (ARAÚJO, 2010; NASCIMENTO et al., 2007).

Nas regiões semiáridas, áridas e sub-úmidas secas, a degradação causada pela erosão associada a outros processos pode transformar uma região em deserto. Esse processo foi denominado de desertificação (SAMPAIO et al., 2003). Os mesmos autores ainda afirmaram que este processo progride em cinco fases: i) a retirada da cobertura vegetal; ii) a degradação do solo; iii) perda da produtividade agropecuária; iv) redução da renda familiar; v) redução da qualidade de vida da população da área afetada. O processo de degradação de determinado ambiente pode ser acelerado através da intervenção da sociedade por atividades de forma insustentável. E muitas vezes, pode tornar-se irreversível a recuperação da área que se encontra degradada. Os ecossistemas podem ser levados a um estado de perturbação devido às ações da sociedade, e, ainda, manter a possibilidade de se regenerar em condições naturais ou se estabilizar em outras condições estáveis. Porém o impacto que foi causado pode impedir ou restringir a capacidade do ambiente de se restabelecer, retornando ao estado original, ou seja, ocorre a redução de sua resiliência.

Os desmatamentos desordenados e as queimadas integram os sistemas tecnológicos rudimentares que têm sido secularmente praticados nos sertões secos nordestinos e, em

particular, no estado do Ceará. Fica evidente que esses impactos produzidos em um ambiente vulnerável, além de degradar a cobertura vegetal inviabilizam a manutenção da fauna silvestre, a qualidade dos recursos hídricos e o equilíbrio do clima. Por outro lado, aguça sensivelmente os processos erosivos engendrados pelo escoamento superficial difuso e em lençol, além das ações eólicas que retomam a capacidade de remoção dos sedimentos (OLIVEIRA, 2006).

Muitos trabalhos sobre desertificação em regiões semiáridas indicam o pastoreio como sendo a principal causa desse processo, devido à degradação da cobertura vegetal e perda acelerada da profundidade do solo (CASTELLANO; VALONE, 2006; LI et al., 2000; LI; JIA; DONG, 2006; MANZANO; NAVAR, 2000; MUNIZ; OLIVEIRA et al., 2008; SALES, 2003; SLIMANI; AIDOUUD; ROZE, 2010; SU, 2004; VALONE; SAUTER, 2005; YONG-ZHONG et al., 2005).

A sociedade acelera o processo de desertificação principalmente em áreas mais vulneráveis como as áridas e semiáridas. Isto se deve principalmente pelo desenvolvimento desordenado de atividades econômicas e que não visam à conservação e preservação dos recursos naturais renováveis dessas áreas. Os desafios dos processos de desertificação não só se aplicam devido o uso impróprio das terras nessas regiões, mas também quanto às restrições naturais desses ambientes que são principalmente a instabilidade climática, criando indisponibilidade hídrica. O rápido e intenso processo de degradação dos recursos naturais e a alteração nos regimes hídricos têm causado uma pressão ainda maior sobre os recursos naturais, na medida em que as comunidades locais tentam compensar as quedas na produção por uma intensificação do uso dos recursos naturais, desrespeitando os ciclos naturais de recuperação do ecossistema.

A desertificação resulta de um modelo econômico adotado que tem como base o crescimento econômico e não leva em consideração o desenvolvimento sustentável. Assim, ao longo dos tempos não houve a preocupação com o estabelecimento de uma infraestrutura de suporte às atividades agropastoris e à convivência com o semiárido (OLIVEIRA; SANTOS; ARAÚJO; SILVA, 2009). As suas relações causais estão relacionadas ao clima e ao uso inadequado dos recursos naturais, solo, água e vegetação cujos efeitos são potenciados pela ação da sociedade. E a sua magnitude pode variar, principalmente pelas condições climáticas e pela região.

No Brasil o principal documento que trata sobre o tema é o Programa de Ação Nacional do Brasil (PAN-BRASIL) definido segundo as orientações da Conferência de Combate a Desertificação – CCD, que tem como um dos quatro eixos temáticos a conservação, preservação e manejo sustentável dos recursos naturais (BRASIL, 2004).

No PAN-BRASIL, a extensão nacional das Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASD) corresponde a 1.338.076 km² (15,7%) do território nacional. Abrangendo 11 estados brasileiros, os estados do Nordeste, mais o Estado de Minas Gerais e Espírito Santo. Compreendem 1.482 municípios, atingindo mais de 18% da população brasileira. Essa região tem densidade demográfica de 23,66 hab/km² (BRASIL, 2004). São considerados Núcleos de Desertificação no Brasil quatro regiões: Gilbués - PI; Irauçuba - CE; Seridó - RN e Cabrobó - PE.

O Estado do Ceará, encontra-se em sua maior parte sob condições climáticas adversas, no concernente a semiaridez. Apresentando também a extrema irregularidade das precipitações pluviométricas no tempo e no espaço e ainda, com elevadas temperaturas sempre, que resultam em altas taxas de evaporação e evapotranspiração, com consequentes índices negativos no balanço hídrico anual e a intermitência dos cursos d'água. Considerando o contexto de desenvolvimento econômico do Estado, que se apresenta como um complexo de agricultura de baixa produtividade e pecuária intensiva, onde a exploração é baseada no sistema da produção caracterizado pelo complexo algodão-pecuária e culturas de subsistência, elementos considerados fatores determinantes para o surgimento de núcleos de desertificação.

Inseridas no estado é possível identificar algumas áreas com níveis de degradação ambiental preocupante. Onde se constata grande devastação da cobertura vegetal nativa e a severidade dos fenômenos erosivos, que nessas áreas ocorrem com maior intensidade. E as características naturais dessas áreas configuram em um elevado estágio de degradação do solo que comprometem os processos naturais, processos erosivos acelerados, perda do solo e de biodiversidade e a rarefação de espécies lenhosas.

Somente em 2010 foi elaborado, no Ceará, um documento com as estratégias e diretrizes a serem adotadas no estado para combater a desertificação o Programa de Ação Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAE-CE.

Segundo Souza (2000), a Caatinga apresenta profundas alterações em relação ao seu contexto original. O estado atual de conservação ou de degradação do bioma no Ceará tem

estreita consonância com o processo de uso e ocupação da terra. A seca, em conjunto com a agricultura tradicional que inclui o desmatamento total, a queimada de madeira, pequeno tempo de pousio, a agricultura itinerante e pecuária extensiva, têm causado aos ambientes dos sertões secos, vultosas perdas na biodiversidade da flora e fauna, erosão de solo, sedimentação dos reservatórios e rios (OLIVEIRA, 2006). No Ceará, além desses indicadores anteriormente citados, a pressão sobre o vulnerável potencial dos recursos naturais renováveis, as condições agressivas da erosão impostas pelo clima semi-árido e a pequena capacidade de proteção aos solos pelas caatingas, fazem notar evidências de núcleos de desertificação.

Os indicadores da desertificação citados para o Estado do Ceará pelo PAE-CE (2010), a pressão sobre os recursos naturais renováveis, condições agressivas sob o solo através dos processos erosivos pelo clima semiárido e a baixa capacidade de proteção dos solos pela vegetação de caatinga. Deste modo, a desertificação tem sua origem em uma crise ambiental que culmina no surgimento de paisagens desérticas. E pode ser configurada por algumas características, que são:

- O surgimento de paisagens desérticas em áreas fora dos desertos;
- Início de processos físicos de degradação das terras como a erosão eólica e escoamento superficial acelerado, em ecossistemas semiáridos e subúmidos secos;
- Queda na produtividade biológica das terras devido à degradação dos solos e da cobertura vegetal;
- Salinização dos solos;
- Expansão de chãos pedregosos e afloramentos rochosos;
- E a realização de atividades não compatíveis com a capacidade de suporte do ambiente.

No Ceará, as áreas mais susceptíveis à desertificação (ASDs), de acordo com PAE – CE estão classificados em três núcleos de desertificação: Núcleo I - Sertões de Irauçuba e Centro-Norte compreendendo uma área de 9.706 km² abrangendo os municípios de Irauçuba, Santa Quitéria, Miraíma e Canindé; Núcleo II - Sertões dos Inhamuns, que compreende uma área de 8.303 km² abrangendo os municípios de Arneiroz, Independência e Tauá; e Núcleo III - nos Sertões do Médio Jaguaribe, que compreende uma área de 8.422 km² abrangendo os municípios de Jaguaribama, Jaguaribe, Alto Santo e Morada Nova (Figura 1). Todos os Núcleos exibem praticamente as mesmas características geoambientais entre as mais notórias

se destacam: a predominância do embasamento cristalino, o clima semiárido e/ou sub-úmido seco, a acentuada irregularidade espaço-temporal das chuvas, a altas taxas de evapotranspiração, a baixíssima capacidade de retenção de água pelos solos e formações superficiais, uma rede hidrográfica muito ramificada de escoamento intermitente, sazonal ou esporádico, além da Caatinga como cobertura vegetal predominantemente (CEARÁ, 2010).

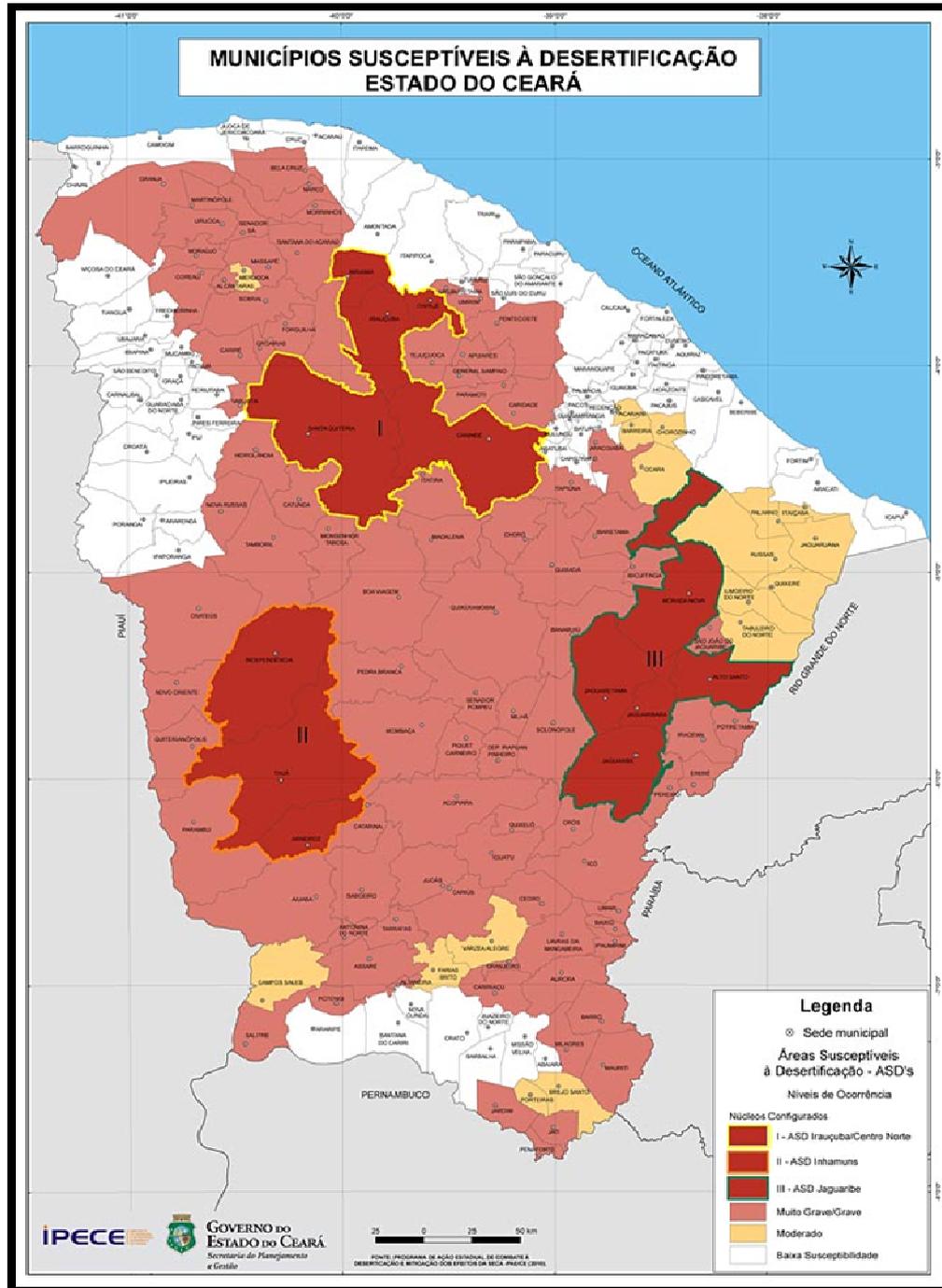


Figura 1 – Localização dos núcleos de desertificação apontados pelo Programa de Ação Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca

Fonte: IPECE (2011).

Os sertões do Ceará abrigam as áreas mais susceptíveis à desertificação, pois apresentam evidências como: degradação da cobertura vegetal; caça predatória; assoreamento dos corpos hídricos; pastoreio excessivo; intensificação dos processos erosivos em áreas degradadas; diminuição da biodiversidade; descompasso entre os sistemas produtivos e

capacidade de recuperação do meio; e dentre outros fatores que agravam cada vez mais a suscetibilidade de desertificação dessas áreas.

Conclui-se então que o combate à desertificação implica em desenvolver ações para prevenir ou limitar o processo, fortalecendo e articulando os instrumentos e que os mesmos sejam orientados à sustentabilidade socioambiental. Principalmente na construção de indicadores e pontos de referência, que permitam medir, monitorar e avaliar integralmente estes processos.

2.5 EROSÃO E FATORES CONDICIONANTES

Para Infanti Júnior e Fornasari Filho (1998) as transformações e degradação da paisagem provocada pela sociedade, manifesta-se através da movimentação e desagregação dos materiais pedológicos e geológicos, alteração no escoamento das águas de superfície e sub-superfície, impermeabilização do solo, retirada da cobertura vegetal e introdução de substâncias e elementos químicos nas águas e solos.

O solo constitui o ambiente físico em que ocorre a maioria das atividades humanas. É um recurso natural renovável, embora a velocidade de formação seja inferior à do processo erosivo. Esse fato é ainda mais evidente em regiões áridas e semiáridas, onde a taxa de formação do solo é quase nula (DESIR; MARÍN, 2007).

A erosão do solo é um processo acelerado por atividades antrópicas, e que pode ser destacada com um dos problemas ambientais mais relevantes já que é o resultado de formas de ocupação, uso e manejo do território de forma desordenada. O processo erosivo é acionado por ventos, dinâmica fluvial e chuvas, sendo que a magnitude do processo é diretamente influenciada por fatores de solo, relevo e cobertura vegetal. Este processo ocorre constantemente na natureza, desgastando a superfície terrestre, eliminando camadas superficiais de solo e modelando a paisagem por processos físicos, químicos e biológicos de remoção (SUGUIO, 2003; BIGARELLA, 2003). A dinâmica erosiva é representada pelo desprendimento e arraste e deposição das partículas do solo causado pela água e pelo vento (SILVA; ALVAREZ, 2005; PINESE JUNIOR et al., 2008).

Para Bertoni e Lombardi Neto (2008) e Grilo e Ernani (2008) a erosão compreende o processo de desagregação e remoção de partículas da superfície da terra por água, gelo ou

outros agentes naturais, em condições de ambiente natural, sendo possível estabelecer o ciclo dessa forma de erosão. Segundo Fernandes (2000) juntamente com o transporte de sedimentos e assoreamento, constituem processos que numa condição de equilíbrio dinâmico, contribuem para remodelar a paisagem, porém esse equilíbrio pode ser afetado pela atividade humana desordenada. Os processos erosivos são intensificados em virtude das ações antrópicas, tais como desmatamentos, atividades agropecuárias e manejo inadequado do solo (NUNES et al., 2011). Nas áreas de clima tropical, como na região Nordeste, as chuvas ocorrem com grande intensidade e são concentradas o que agrava ainda mais o processo erosivo devido ao forte impacto das gotas de chuva (MARTINS et al., 2010; SANTOS et al., 2010).

Retzlaf (2008) afirma que o processo erosivo não ocorre de modo constante em todos os solos, pois os atributos físicos, químicos e biológicos interferem na erosão e são particulares de cada solo. Erosão é o processo de desprendimento e arraste das partículas do solo causado pela água e pelo vento; entre os fatores que influenciam a magnitude do processo erosivo estão as chuvas, a infiltração, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e a natureza do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). A erosão do solo é, portanto, um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitude variáveis, conforme o local de ocorrência (CARVALHO, et. al., 2009).

Para conhecer os aspectos ambientais relacionados à erosão e mitigar os resultados do processo erosivo faz-se necessário um bom conhecimento da região de interesse e se adequar à ocupação, às condições de cobertura vegetal, tipo de solo, topografia, sistema natural de drenagem e condições naturais de estabilidade dos taludes naturais ou artificiais. Os fatores mencionados em conjunto, determinam a extensão e grau de severidade da erosão que ocorre em dada área. As variações de cada um desses condicionantes e a interação entre eles determinam as variações no tipo e intensidade da erosão, observadas em diferentes áreas. Neste sentido, uma das maneiras mais eficientes para fornecer subsídios à seleção de áreas prioritárias, do ponto de vista de conservação e recuperação do solo, é a utilização de mapas de potencial à erosão laminar, os quais poderão mostrar a expectativa de perda de solo sob sistemas de ocupação da terra e o zoneamento básico das áreas de restrição à ocupação (PEDRO; LORANDI, 2004; GUIMARÃES; SANTOS, 2007; RIBEIRO; CAMPOS, 2007).

Renschler e Harbor (2002) definem a erosão do solo como a translocação de partículas do solo por processos relacionados ao clima, topografia, solo e vegetação. A erosão do solo é o desgaste da superfície da terra por parte das forças físicas, tais como chuva, fluxo de água,

vento, gelo, as mudanças de temperatura, a gravidade ou outros agentes naturais ou antropogênicos que desagregam e removem o solo ou material geológico de um ponto sobre a superfície da terra e o deposita em outra parte (VERHEIJEN et al., 2009).

Fatores Condicionantes

De acordo com Infanti Júnior e Fornasari Filho (1998), os fenômenos associados à formação das erosões são comandados por dois conjuntos de fatores ou condicionantes principais, sendo eles os naturais, que determinam a intensidade dos processos, destacando-se como mais importantes à chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solos e o substrato geológico; e os antrópicos, como o desmatamento, a mineração e as formas de uso e ocupação do solo (agricultura, obras civis, urbanização etc.), que deflagram o processo erosivo imediatamente ou após certo intervalo de tempo.

Dentre os fatores naturais que determinam a intensidade dos processos, destacam-se como mais importantes: a chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solos, o substrato rochoso, e os fatores antrópicos, tais como: o desmatamento e as formas de uso e ocupação. Os fatores podem atuar de forma independente ou estarem interligados entre si, apresentando grande variabilidade espacial e temporal.

A erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva, a declividade, o comprimento de rampa, a capacidade de infiltração do solo e por forças passivas, como a resistência que exerce o solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal. Dessa forma, vários são os fatores que influenciam nos processos de erosão, tais como: substrato rochoso, a chuva, a declividade do terreno, a cobertura vegetal, solos, etc. (BERTONI e LOMBARDI, 2008).

A erosão dos solos depende de fatores intrínsecos e extrínsecos, que têm influência marcante sobre a erosão, destacando-se a pedoforma, textura, estrutura, taxa de infiltração de água no solo, teor de matéria orgânica, de capacidade de uso do solo, técnicas de preparo e de cultivo (ALVARENGA; SOUZA, 1997; SOUZA, 1997, COGO et al., 2003; DECHEN, 2004).

A erosão do solo é um processo geomórfico natural, que pode ser intensificado quando a ocupação das terras e as práticas de uso e manejo do solo são inadequadas. Segundo Morgan

(1995) o processo erosivo consiste de três fases: desagregação, transporte, e quando não existe energia suficiente para o transporte das partículas desagregadas ocorre à deposição (BERTONI; LOMBARDI NETO 2008; PREVIATI et al., 2010; ROMERO DIAZ; BELMONTE SERRATO; RUIZ SINOGA, 2010) de sedimentos transportada.

A relação entre o solo e os processos erosivos está associada com sua maior ou menor resistência à ação das águas, podendo ser definida como um atributo complexo do solo que representa sua vulnerabilidade ao processo erosivo. A erodibilidade do solo está associada a sua resistência à erosão. No entanto, este atributo não pode ser medido diretamente, sendo dependente da interação de numerosos outros atributos edáficos (WEILL; NETO, 2007).

O uso inadequado dos recursos naturais, modificando o solo, cria condições para que o processo erosivo se intensifique. As condições mais favoráveis estão presentes em solos desprovidos de cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados por cultivos intensivos, trazendo como efeitos o aumento na desagregação desses solos, diminuição na capacidade de infiltração da água e, conseqüentemente aumento do escoamento superficial (AVANZINI, 2005).

Segundo Weill e Neto (2007) dentre os atributos do solo que afetam sua erodibilidade e, sua susceptibilidade ao processo erosivo se destacam a granulometria, a estrutura e agregação dos horizontes superficiais, a capacidade de infiltração e de retenção de água no solo, a permeabilidade ou velocidade de transmissão de água no perfil, o teor de matéria orgânica e a espessura ou profundidade.

As relações de infiltração, drenagem, e retenção de água no solo condicionam a erosão à medida que determinam o volume de água que permanecerá à superfície, susceptível de sofrer escoamento superficial e de causar erosão. Neste caso, a umidade anterior do solo é um fator importante nas relações infiltração-deflúvio. A espessura dos solos também interfere na erodibilidade, à medida que os solos mais rasos tornam-se rapidamente saturados de água o que favorece a ocorrência de enxurradas e, portanto, de uma ação mais intensa do escoamento superficial.

Aspectos como declividade, intensidade pluviométrica, tipos de solos e cobertura vegetal interferem no processo erosivo e, conseqüentemente, na quantidade de nutrientes carregados aos corpos hídricos.

A declividade é um dos elementos considerados para a obtenção da carta síntese de geomorfologia. É responsável também pela velocidade das massas de água, desta forma, quanto maior essa velocidade maior será a capacidade de erosão (WESTPHALEN, 2006).

Vários estudos buscam associar a declividade do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO 2008; COGO et al., 2003; INÁCIO et al., 2007) com o aumento do escoamento superficial e da erosão. Segundo Santos (2005) a declividade de um terreno é um importante fator a ser analisado no mapeamento da fragilidade ambiental, sendo um dos agentes desencadeadores dos processos erosivos devido a influencia do grau de inclinação a esses processos.

A influência da topografia local na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento da rampa. Esses fatores influem diretamente nas velocidades da enxurrada. Uma vez que a tensão cisalhante associada ao escoamento é diretamente dependente do peso específico do fluido que escoar, do raio hidráulico e da declividade da superfície livre da água, maior declividade acarretará aumento na tensão relacionada ao escoamento superficial (PRUSKI et al., 2008).

Segundo Resende (1995), a erosão dos solos aumenta as pedoformas côncavas para as convexas, passando pela linear que apresenta maior estabilidade. Para esse mesmo autor, as formas côncavas apresentam ineficiente remoção de sedimento, principalmente na base de suas encostas, sendo forma de maior convergência de água; enquanto que a forma convexa apresenta maior divergência. As formas das vertentes, côncava, convexa ou retilínea, definem, por sua vez, o tipo de escoamento das águas pluviais, sendo que as encostas de contorno convexo geralmente são distribuidoras de água, enquanto que as encostas de contorno côncavo são coletoras de água (Figura 2).

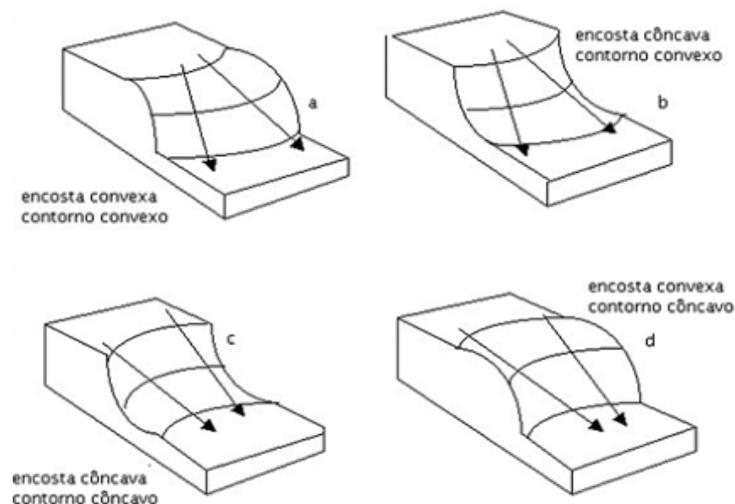


Figura 2 – Formas básicas de encostas na paisagem e a direção da água

Fonte: adaptado de Hall e Olson (1991).

Para a análise das suscetibilidades aos processos erosivos, de movimentos de massa e de inundação, a geomorfologia tem um importante referencial metodológico, pois considera a gênese das formas e sua dinâmica atual. Conforme destaque Tricart (1977), os componentes do meio físico, selecionados para a análise, são interdependentes na avaliação morfodinâmica. Analisando-se as formas de relevo e suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes, intervenções antrópicas na morfologia natural, compreende-se o funcionamento do modelado terrestre e suas condicionantes relacionadas às atividades humanas e formas de organizações espaciais.

As formações superficiais são os materiais que afloram na superfície, como rochas, rochas alteradas, depósitos aluviais e coluviais. A erosão dessas formações é muito variável e depende da consistência dos materiais, do comportamento na infiltração e no escoamento, da espessura da camada, da declividade e das fraturas existentes (CARVALHO et al., 2009).

Vários estudos buscam compreender as relações entre o escoamento gerado por uma precipitação específica com a cobertura vegetal (FREITAS et al., 2008; SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003; PANACHUKI et al., 2006; WEILL et al., 2007; TURNBULL; WAINWRIGHT; BRAZIER, 2010). A degradação do solo surge quando se interfere na sua cobertura natural, eliminando-as simplesmente ou substituindo-a por outra cultura. No primeiro caso, o solo fica exposto à erosão, sendo os efeitos dos agentes erosivos mais ou menos intensos, conforme a resistência do solo e a erosividade da chuva e do vento do local.

No segundo caso, a degradação do solo pode ser causada tanto pela erosão quanto pela deterioração de suas propriedades por uso e manejo indevidos (SANTOS et al., 2002). O solo, desprovido de cobertura vegetal nas áreas agrícolas preparadas para o plantio, ou com a cobertura vegetal diminuída nos casos de sobrepastejo, sem a ação fixadora das raízes e com o impacto direto da chuva ou do vento, fica exposto aos processos erosivos. Esses processos são mais marcantes nas encostas em função do aumento da declividade.

Nas regiões semiáridas ou com elevada deficiência hídrica, a vegetação natural é mais rala e de menor porte, conferindo pequena proteção ao solo, e o clima se caracteriza por apresentar precipitações concentradas em certas épocas do ano. Assim, pode-se considerar que a intensidade dos processos erosivos se relaciona não somente com a disponibilidade de água, mas também com a cobertura vegetal presente no solo. A cobertura do solo é um aspecto importante na prevenção e no controle da erosão, constituindo-se um princípio fundamental em conservação do solo e da água.

A presença de árvores aumenta o aporte de matéria orgânica dos solos, conservando a umidade, aumentando a capacidade de absorção e infiltração de água, reduzindo o risco de erosão e estimulando a atividade biológica. Sem cobertura vegetal sobre a superfície, há total exposição do solo à erosão hídrica provocada pela água da chuva. A cobertura vegetal protege o solo contra este tipo de erosão, aumentando a evapotranspiração e a infiltração, diminuindo o escoamento. Parte da água da chuva não chega ao solo, sendo interceptada pela folhagem e evaporada diretamente; outra parte se escoia pelos ramos e troncos lentamente, indo ao solo para se infiltrar. Nem todos os tipos de vegetação oferecem a mesma proteção contra a erosão (CARVALHO et al., 2009).

O potencial da chuva em causar erosão é um dos mais importantes fatores entre os diversos ligados à erosão e pode ser avaliado por meio de índices de erosividade que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região (MELLO et al., 2007). Desta forma é necessário realizar um levantamento que considere as escalas temporal e espacial, pois cada espaço irá representar um fenômeno específico e índices de erosividade compatíveis com a dinâmica ambiental da região.

A chuva constitui o agente responsável pela energia necessária para a ocorrência da erosão hídrica, não somente pelo impacto direto das gotas sobre a superfície do solo quanto pela sua capacidade de produzir o escoamento superficial. Os totais precipitados têm pouca

relevância no processo de ocorrência da erosão hídrica, sendo muito importante neste a consideração da distribuição do tamanho, a velocidade de queda, o número, o momento e a energia cinética das gotas, bem como a intensidade, duração e frequência da chuva.

O conjunto dessas características é comumente conhecido como erosividade das chuvas (PRUSKI et al., 2008). Todos os processos erosivos causados pela água de chuva ou irrigação representam fator principal entre todos os outros tipos de mecanismos de perda da fertilidade do solo e de sua auto-suscetibilidade.

A desintegração parcial dos agregados naturais do solo liberta partículas finas, deslocando-as e projetando-as a certa distância. O golpe das gotas de chuva, afeta primeiramente a estrutura da capa superficial, predispondo a um desprendimento das partículas, que em seguida serão mobilizadas pelo escoamento. Uma chuva forte e de grande duração poderá erodir significativamente o solo (CARVALHO et al., 2009).

É importante destacar que, a presença de vegetação, permite que, grande quantidade de água seja transpirada, reduzindo a umidade do solo, contribuindo para o aumento da taxa de infiltração e a redução do volume de escoamento superficial. Pode, ainda, haver aumento do teor de matéria orgânica (DEDECECK et al., 1986; SEGAFREDO et al., 1997; LEITE et al., 2003), que, incorporada ao solo, melhora a drenagem (LIRA, 1999), reduz a tendência ao encrostamento do solo, aumenta a rugosidade superficial, melhora a estrutura do solo e facilita a penetração das raízes dos vegetais (BRAUN, 1961; BERTONI; PESTANA, 1964).

Sobre a influência da cobertura vegetal nos processos de erosão, Brandt (1986), ressalta que o tipo de vegetação pode atuar de duas maneiras: (a) reduzindo o volume de água que chega ao solo, através da interceptação, e (b) alterando a distribuição do tamanho das gotas de chuva, afetando, com isso, a energia cinética da chuva. Segundo Gomes (2010), a análise da cobertura vegetal e dos seus níveis de degradação, em estudo de bacia hidrográfica, auxilia no entendimento da dinâmica do uso e ocupação e serve como ferramenta para o desenvolvimento de políticas públicas de gestão da bacia. Para Tricart (1977), as modificações na cobertura vegetal, provocam alterações no equilíbrio do ambiente, onde essas modificações aceleram os processos de erosão, aumento da temperatura local, redução da recarga d'água de rios e aquíferos, entre outros eventos, o que justifica a manutenção da cobertura vegetal para o equilíbrio ambiental.

Erosão hídrica e impactos ambientais

Trabalhos como os de Cogo et al., (2003) e Van Oost et al., (2000) apresentam a erosão como um dos maiores problemas ambientais, também considerada como o principal processo de degradação do solo, resultando na redução da produtividade, aumento dos custos de produção, diminuindo a lucratividade das lavouras na transferência de poluentes para cursos d'água, no assoreamento e na redução da vida útil de reservatórios, na degradação da qualidade das águas, entre outros danos.

A exploração contínua do solo em formas não adequadas de manejo, seja pela prática excessiva de preparo do solo, com equipamentos não apropriados ou o preparo do solo realizado em condições não adequadas (umidade elevada), ou ainda pela não observância da seqüência de cultivos favoráveis à manutenção das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, tem alterado sobremaneira os seus atributos comprometendo seu potencial produtivo (CALEGARI; COSTA, 2010).

A erosão hídrica é definida como um processo complexo que se manifesta em intensidade variável, dependendo da importância relativa do clima, solo, topografia, vegetação, uso do solo e práticas conservacionistas. Os agentes determinantes do processo de erosão hídrica são a precipitação pluvial e o escoamento superficial, os quais promovem o desalojamento, transporte e deposição das partículas do solo (SCHÄFER et al., 2001).

A deterioração dos solos é um dos principais problemas ambientais do planeta, sendo a erosão hídrica a forma mais prejudicial de degradação (COGO et al., 2003). A cada ano são perdidos, em todo o território brasileiro, 500 milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão (OLIVEIRA et al., 2008). A erosão hídrica é a principal causa de degradação de terras agrícolas e consiste basicamente do desprendimento e arraste das partículas do solo. O arraste de partículas da camada arável de solos agricultáveis pode reduzir sua capacidade produtiva em razão da perda da camada de solo melhor formada e com maior teor de matéria orgânica. (EVANGELISTA et al., 2006).

Segundo Bigarella (2003) a água é o agente mais atuante nas mudanças morfológicas da paisagem, atuando na erosão, transporte e deposição de sedimentos. A erosão pela água compreende fatores erosivos sob a forma laminar, de sulcos e voçorocas, causados pelo salpicamento das gotas de chuva e pelo escoamento superficial.

A erosão hídrica é a interação entre água, solo e cobertura vegetal que resulta no transporte do material degradado e na deposição desse material nas partes baixas do relevo. Segundo Carvalho et al., (2009) a erosão hídrica superficial pode se processar em forma de erosão pluvial, erosão por escoamento difuso, erosão por escoamento difuso intenso, erosão laminar e erosão por escoamento concentrado. Em condições naturais, a erosão hídrica ocorre em quase toda a superfície terrestre, excetuando-se as regiões áridas ou geladas. A erosão pluvial ou erosão por embate é produzida pelo impacto das gotas de chuva ao caírem sobre a superfície desprotegida. Esse processo é exercido tanto em terrenos planos como em ladeiras e também em terrenos cultivados ou matas, desde que haja uma parte descoberta.

A erosão hídrica ocasiona diversos efeitos prejudiciais ao solo e à água que envolvem desde os aspectos de perda de produtividade agrícola até impactos sobre os recursos hídricos. Assim, a predição de perda de solo é importante para avaliar os riscos de erosão do solo e determinar seus adequados usos e manejos (OLIVEIRA et al., 2011). Nesse sentido, muitos modelos matemáticos (empírico, conceitual e baseados em processo) têm sido desenvolvidos para estimativa da erosão do solo em diferentes escalas espaciais e temporais (MOEHANSYAH et al., 2004; FERRO, 2010).

A classificação da erosão hídrica em três principais formas (laminar, em sulcos e em voçorocas) é consenso entre os pesquisadores da área (BERTONI; LOMBARDI NETTO, 2008; SCHÄFER et al., 2001; CAVICHIOLO, 2005). Destaca-se que as mesmas podem ocorrer isoladamente ou simultaneamente no mesmo terreno.

A erosão hídrica é o principal fator capaz de tornar insustentáveis os sistemas de produção agrícola e os impactos ambientais dela oriundos têm reflexos no aumento dos custos, causando anualmente, um prejuízo econômico enorme ao País (HERNANI et al., 2002). As perdas por erosão são elevadas, haja vista que a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo nem de conservação adequadas ao solo (BERTONI; LOMBARDI NETTO, 2008; OLIVEIRA et al., 2010). Em razão do aumento do risco de desertificação, destruição das nascentes e modificação da calha dos rios pelo desmoronamento e deposição de sedimentos no leito, formação de sulcos indesejáveis no terreno, poluição dos corpos hídricos e aumento da turbidez na água, o que resulta em redução da penetração de luz na água com comprometimento no ciclo de vidas de algumas espécies aquáticas (BERTOL et al., 2007, 2008; CARVALHO et al., 2009).

É importante evidenciar que apenas o impacto da gota de chuva e a erosão são responsáveis pela redução da capacidade de infiltração, haja vista que a pobreza desses solos em matéria orgânica e a formação de uma crosta de silte na superfície do solo seco, também contribuem significativamente para a redução da taxa de infiltração. Para a aplicação das técnicas de captação e manejo da água de chuva, o solo é um componente que apresenta interações sumamente importantes quando associado ao regime pluviométrico (PORTO et al., 2010).

Dentre esses fatores que contribuem para o processo erosivo, a cobertura e o manejo do solo apresentam maior influência sobre a erosão hídrica do que os demais (GUADAGNIN et al., 2005). A dinâmica do processo é resultante das condições dos solos e do manejo da cobertura superficial deste (FREITAS et al., 2008). A erosão dos solos é extremamente variável temporal e espacialmente, e essa variabilidade deve-se ao fato das diferenças nas condições da superfície, ou seja, das características do solo e das condicionantes climáticas da região, que afetam diretamente o escoamento superficial.

Para os estudo de erosão é preciso diferenciar o escoamento difuso do escoamento concentrado. O escoamento difuso ocorre através de uma rede de canais anastomosados, que se movimentam por canalículos de forma difusa, em função das características do relevo e rugosidade da superfície. Este se forma pelo volume além daquele que ficou armazenado nas micros depressões e não infiltrou. O escoamento concentrado ocorre com o acúmulo do volume de água, proveniente do escoamento difuso, formando sulcos bem definidos e com maior velocidade que o escoamento difuso. A taxa de desagregação, devido ao escoamento, é em função da velocidade do fluxo de água descontada a parcela de energia do escoamento que se encontra comprometida com o transporte de sedimentos (TOY et al., 2002). A capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento é decorrente de algumas variáveis hidráulicas e das características dos sedimentos.

O processo erosivo promovido pelas águas pluviais em superfície, que tem início com a erosão laminar que se destaca pela combinação da ação desagregadora do impacto das gotas de chuva (PETAN et al., 2010; SANTOS et al., 2010) com a força de arrasto, causada pelo escoamento superficial (DECROIX et al., 2008; AUERSWALD et al., 2009) e pode prosseguir na forma de sulcos, ravinas e voçorocas, causando problemas à cobertura pedológica, o que torna, às vezes, impossível utilização agrícola. Conseqüentemente, a deposição dos sedimentos nas baixadas e nos corpos d'água produz grandes prejuízos ao meio

ambiente, em nível local ou em grandes áreas como, por exemplo, o assoreamento de rios e reservatórios. Além disso, as partículas transportadas pela água, em áreas agrícolas, podem conter defensivos agrícolas e contaminar corpos d'águas superficiais (GUERRA; CUNHA 2006).

Segundo Bigarella (2003) e Guerra (1999, 2003) o escoamento superficial das águas da chuva é um agente ativo para o desenvolvimento do processo de erosão. A partir do escoamento ocorre o transporte seletivo de partículas que apresentam menor resistência a energia hidráulica. Neste contexto, o escoamento torna-se um agente potencial somente quando sua capacidade de erosão excede a resistência do solo, isto é, quando a energia da água for superior a capacidade de coesão das partículas dos solos.

Na etapa seguinte, a erosão é controlada pelo escoamento superficial. A formação e magnitude do escoamento superficial dependem fundamentalmente da infiltração, sendo que esta depende das características da precipitação, relevo, vegetação e características do perfil do solo. A variabilidade espacial dos fatores condicionantes determina que a geração do escoamento superficial em bacias hidrográficas seja governada por uma complexa dinâmica hidrológica (ROSE, 2004).

Quanto maior a turbulência do fluxo de água, maior a capacidade erosiva gerada por esse fluxo. O escoamento em lençol torna-se um processo erosivo efetivo, especialmente quando o lençol de água cobre grandes porções das encostas, em contraste com as pequenas áreas atingidas pelas ravinas. A resistência do solo a tais processos depende da resposta do solo ao impacto, do tipo de fluxo se é laminar ou não, das mudanças na infiltração, da rugosidade e da resistência ao início de movimento e transporte das partículas (ALBUQUERQUE et al., 2002; KUH; BRYAN, 2004).

A erosão laminar ou em lençol se processa durante fortes precipitações, quando o solo superficial já está saturado, sendo produzida por um desgaste suave e uniforme da camada superficial em toda sua extensão. Esse tipo de erosão se desenvolve quando há pouco obstáculo, permitindo o escoamento de uma lâmina de água, sendo o fenômeno muito comum em regiões Semiáridas. Nas áreas de clima tropical, como na região Nordeste, as chuvas ocorrem com grande intensidade e são concentradas em um curto período de tempo, o que agrava ainda mais o processo erosivo devido ao forte impacto das gotas de chuva (MARTINS et al., 2010; SANTOS et al., 2010).

A erosão por escoamento difuso é uma forma caracterizada por filetes de água que se dividem em braços que se espalham e se juntam constantemente, infiltrando-se depois de pouca distância, depositando o material transportado. A água se escoando pelo terreno pode ir formando depressões que pouco a pouco vão aumentando para sulcos. Esse tipo de erosão é generalizado e existe mesmo sob uma cobertura vegetal, sendo um agente de transporte do material já desagregado pelas chuvas ou outros fatores, tendo uma capacidade reduzida de arranque (GUERRA; MENDONÇA, 2004).

De um modo geral, as pesquisas sobre erosão dos solos consideram como sendo fatores controladores dos processos erosivos a erosividade da chuva, as propriedades dos solos (textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade de agregados e pH do solo), cobertura vegetal e característica morfométricas das encostas.

Segundo Guerra (2007), alterações de cunho morfológico foram geradas no passado e são geradas no presente a partir de desequilíbrios de ordem ambiental, que alteram o balanço global de transporte e sedimentação no interior de bacias hidrográficas. A susceptibilidade dos terrenos pode ser entendida como a sensibilidade natural frente à erosão. Esta sensibilidade é resultante de um modo geral de um conjunto de fatores como as características das chuvas, a topografia e a ocorrência de solos mais vulneráveis aos processos erosivos.

Informações relativas ao impacto da erosão sobre os recursos hídricos na escala de bacia hidrográfica têm sido demandadas por gestores públicos e tomadores de decisão no sentido de desenvolver políticas públicas, inventários de erosão, planejamento conservacionista e projetos de engenharia (MERRITT et al., 2003; TOY et al., 2002).

Quanto à erosão acelerada, principal causa do declínio da produtividade dos solos, é influenciada pelo regime hídrico, topografia do terreno e natureza do solo. A erosão provoca a perda de solo, de matéria orgânica, de nutrientes e agrotóxicos, os quais poderão acumular-se nos sedimentos e nos corpos d'água, conseqüentemente, aumentando os custos de produção e a degradação ambiental (SALOMÃO, 1999).

A chuva é um dos elementos climáticos de maior importância na erosão do solo, visto que a erosão hídrica é a forma mais significativa desse fenômeno no Brasil (DECHEN et al., 2004). Cogo et al., (2003), avaliando as perdas de solo e água por erosão hídrica, influenciada por diferentes métodos de preparo do solo, perceberam que as maiores perdas de solo ocorriam quando o período de maior erosividade das chuvas coincidia com a época de

semeadura das culturas e o início de desenvolvimento das plantas, agravado pela utilização de técnicas de preparo que mobilizam muito o solo, como o preparo convencional, que expõe o solo à ação erosiva das chuvas. A ação da chuva é acelerada quando aliada à topografia do terreno. Um exame mais atento da paisagem revela que a erosão tende a ser maior nos terrenos com maior declividade (ALVARENGA; SOUZA, 1997); (COGO et al., 2003).

As variáveis físicas consideradas nos estudos de erodibilidade do solo como profundidade, textura, permeabilidade e estrutura, vão determinar a tolerância à perda de solo das diversas classes de solo. Embora não seja conhecido um índice de erodibilidade universalmente aceito para todas as classes de solo, Araújo et al., (2005); Alvarenga e Souza (1997) acreditam que, por meio do conhecimento das características que influenciam a suscetibilidade do solo à erosão e da ocorrência de solos mais erodíveis em determinada região, é possível prever e avaliar os impactos ambientais, bem como indicar medidas que visem aumentar a resistência do solo ou reduzir o processo erosivo.

No semiárido do Ceará, observa-se, frequentemente, a presença de solos com alto grau de erosão, perdendo seu potencial produtivo devido, em especial, ao uso de práticas agrícolas inadequadas ou de implementos agrícolas pouco apropriados ao tipo de solo que, aos poucos, acelera o processo de degradação, facilmente identificada, quando se verifica os baixos índices de produtividade das lavouras, especialmente aquelas cultivadas em regime de sequeiro no âmbito da agricultura familiar.

Reconhecer e utilizar o solo conforme sua capacidade de uso e manejo é, portanto, o primeiro requisito para um plano adequado de conservação de solo e água. As práticas conservacionistas são medidas importantes; entretanto, acessórias para assegurar a contenção do processo erosivo. A degradação das propriedades físicas do solo afeta fatalmente o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, prejudicando suas funções vegetativas, quer seja por falta ou por excesso de água e por deficiência na nutrição.

A degradação, mediante a compactação do solo, como consequência do uso intensivo de máquinas e de elevada lotação de animais em pastoreio por unidade de área, traz uma redução drástica da infiltração de água, condicionando uma baixa disponibilidade de umidade do solo no período de estiagem, além de propiciar o aumento do escoamento superficial durante as chuvas.

Com a espacialização do risco aos processos erosivos é possível planejar adequadamente o uso da terra e implementar práticas adequadas de manejo agrícola e da conservação do solo. Necessário, entretanto, dispor de metodologias que permitam detectar variações pedológicas ao nível de vertentes, interpretar o funcionamento hídrico, a suscetibilidade à erosão e a capacidade de uso da terra, determinando-se áreas em conflito de uso.

Os impactos do assoreamento com o passar do tempo se tornam mais severos e mais fáceis de serem constatados, mas de difícil solução. São esperadas consequências tanto a montante quanto à jusante dos cursos d'água. A água limpa escoada para jusante da barragem tem um maior poder de erodir margens e leitos do canal de escoamento (CABRAL, 2005).

A realização de estudos envolvendo perdas de água e solo na região semiárida é de grande importância para o desenvolvimento local da região. Ainda são poucos os estudos de erosão dos solos sob a caatinga e a influência desse tipo de cobertura superficial ainda não está totalmente esclarecido (CANTALICE et al., 2008; MELO et al., 2008).

Segundo Freitas et al., (2008) a capacidade da caatinga de suportar os impactos provocados pela chuva e o escoamento superficial, na forma de erosão hídrica, é pouco conhecida. Além disso, centenas de milhares de hectares de vegetação do tipo caatinga são derrubadas anualmente para produção de lenha e para plantio no sistema de agricultura itinerante.

Diante disso, a quantificação da erosão hídrica com o conhecimento dos processos físicos a ela atrelados é de fundamental importância na elaboração de medidas que visam maximizar o uso dos recursos hídricos disponíveis e para evitar os efeitos negativos decorrentes da erosão dos solos na região semiárida.

Os efeitos negativos da erosão do solo incluem a redução da fertilidade do solo, redução da sua capacidade de armazenamento de água, perdas de matéria orgânica, poluição da água, assoreamento (BAKKER et al., 2004; CERDAN et al., 2010), aumento do risco de desertificação, destruição das nascentes, modificação da calha dos rios pelo desmoronamento e deposição de sedimentos no leito, formação de sulcos indesejáveis no terreno e poluição dos corpos hídricos provocando aumento da turbidez na água (CARVALHO et al., 2009). Todos esses pontos negativos podem fundamentalmente levar a desafios sociais, tais como o abandono das terras e o declínio das comunidades rurais (BAKKER et al., 2005).

Para Mafra (1997), deve ser incorporado ao planejamento do uso do solo, o estudo da erosão, incluindo os fatores relacionados à atuação dos processos erosivos e à detecção das áreas mais susceptíveis (atual e potencial), com o objetivo de regular as ações sobre as mesmas, buscando uma incidência mínima de uso para evitar os prejuízos sobre as atividades humanas e sobre o meio ambiente. Deste modo o planejamento do uso das terras é uma etapa essencial para a minimização dos impactos causados pela erosão do solo. A tendência atual é que as informações necessárias para a avaliação das terras sejam compatíveis com técnicas de geoprocessamento e tratadas de forma mais objetiva possível.

Equação Universal de Perda do Solo

Os modelos de predição à erosão são muito importantes, pois permitem prever impactos que podem interferir na dinâmica do ambiente e ainda minimizar desperdícios econômicos causados pela perda de solo. Existem vários métodos de pesquisas para se estudar e avaliar as ocorrências e consequências do processo de erosão hídrica dos solos. Dentre as metodologias disponíveis para avaliar a erosão do solo, os modelos de predição são fundamentais, pois uma vez comprovada a sua adequação e confiabilidade, são capazes de avaliar diferentes cenários de manejo do solo sem necessidade de testes de campo, normalmente custosos e demorados (AKSOY; KAVVAS, 2005). Na literatura, foram encontrados alguns trabalhos de aplicação dos modelos; dentre os mais recentes, podem-se citar os trabalhos de DE JONG VAN LIER et al., (2005), AVANZI et al., (2008), SILVA et al., (2008), SERGIO et al., (2008) e CECÍLIO et al., (2009), realizados para algumas condições de manejo do solo, mas em sua maioria referiam-se apenas à aplicação dos modelos para estimativas das perdas de solo sem o objetivo de fazer comparação dos dados estimados com dados obtidos experimentalmente.

Na análise espacial dos processos de erosão hídrica são utilizados modelos preditivos como forma de subsidiar o planejamento ambiental. Técnicas de modelagem da erosão proporcionam a avaliação dos impactos na agricultura, solos e recursos hídricos (RENSCHLER; HARBOR, 2002), fornecendo informações úteis na tomada de decisões no planejamento conservacionista do solo e da água (SCHIETTECATTE et al., 2008).

A falta de medições sistemáticas em campo da erosão do solo, devido ao alto custo, pode ser atenuada por simulações e modelos da dinâmica da paisagem. Vários modelos de

suscetibilidade a perda de solo têm sido propostos e avaliados. Normalmente, estes modelos estão acoplados a um sistema de manipulação de dados espaciais, como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que armazena as variáveis espaciais em diferentes camadas e efetua as operações matemáticas para o cálculo das estimativas (BORGES, 2009). Para tanto o geoprocessamento surge como uma alternativa para a otimização do tempo de execução do trabalho proposto. No entanto, para confiabilidade dos resultados, é necessário o conhecimento científico pertinente à temática erosiva, pois os resultados devem ser, após a elaboração do mapa, interpretados e analisados para evitar informações errôneas ou discrepantes.

Uma alternativa para estimava da vulnerabilidade natural à perda de solo é o uso da Equação Universal de Perda de Solos - EUPS, no inglês Universal Soil Loss Equation - USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A EUPS é um dos modelos para erosão hídrica laminar mais conhecido e confiável. O modelo da EUPS busca determinar a perda de solo de forma quantitativa, no entanto a maior parte das regiões brasileiras não possui informações suficientes ou calibrações para que se obtenha uma estimativa confiável. Mesmo nestas condições, a equação permite identificar áreas de maior ou menor vulnerabilidade à perda de solo. Além disso, os resultados deste modelo são imagens ou grades contendo valores de perda de solo na forma contínua, ou seja, que variam ao longo do terreno de pixel a pixel, não ficando restrita apenas a uma determinada unidade de paisagem. Os parâmetros podem ser ajustados em conformidade com o interesse do estudo considerando diferentes cenários de uso e manejo do solo, assim como de variações ao longo do tempo (MATA et al., 2007; ALCÂNTARA; SOUZA, 2010). A EUPS é um dos métodos de estimativa de perda de solo indireto mais empregado atualmente, como pode ser observados em vários trabalhos científicos (MANNINGEL et al., 2002; OKA-FIORI, 2002; HELFER et al., 2003; HILU, 2003; OKA-FIORI et al., 2004; CORREA et al., 2007; AVANZI et al., 2008; SANTOS et al., 2010; SILVA et al., 2010).

A EUPS é capaz de dar suporte ao planejamento conservacionista de terras agrícolas e realizar uma predição da perda total de solo com dados representativos das condições locais (WISCHMEIER; SMITH, 1978), além de ser um valioso instrumento para trabalhos de conservação (BERTONI; LOMBARDI NETTO, 2008) e predizer com relativa confiabilidade as perdas anuais e médias de solos em condições específicas de declive, solo, sistemas de manejo e cultivo e outros fatores.

A EUPS se baseia em procedimentos matemáticos que caracterizam os processos dentro do sistema, levando em consideração as leis de conservação da massa e de energia (BIGARELLA, 2003). Portanto é um modelo, no qual a sua precisão depende de cada local de trabalho, pela grande diversidade de solos, climas e topografia, estes considerados os componentes dinâmicos principais, por isso a importância de estudos regionais para se adaptar as características de cada local.

Segundo Pinto e Garcia (2005) o modelo EUPS foi desenvolvido e vinha sendo aplicado originalmente no âmbito do *Soil Conservation Service* (SCS) e do *Agricultural Research Service* (ARS) dos Estados Unidos, em cooperação com algumas universidades norte americanas, desde a década de 1980. Ainda segundo estes autores o modelo se presta à análise conjunta dos fatores condicionantes da erosão para estimativa de perda de solo pela ação do escoamento das águas pluviais em superfície, com ênfase nos processos de erosão laminar. Conforme proposto por (GRILO e ENAMI, 2008), no modelo EUPS, a perda anual de solo em toneladas por hectare (A) é expressa por:

$$A = R K L S C P$$

Onde:

A = corresponde à perda média de solo em toneladas por hectare por ano, em um dado campo de acordo com certos parâmetros de precipitação, planos de manejo e cultivo e práticas de controle de erosão.

R = fator erosividade da chuva caracterizado pelo índice de erosão, provocado pelas chuvas. É uma medida do potencial de erosão por chuva média anual de área. O fator chuva é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção.

K = fator erodibilidade do solo, é a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura,mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 m. O fator erodibilidade refere-se ao risco que determinado tipo de solo tem de se erodir, levando-se em consideração as propriedades inerentes de cada solo.

L = fator comprimento do declive que se refere ao comprimento de declive em metros.
S = fator grau de declive: é o grau do declive em porcentagem. Os fatores L e S são combinados através de equação, para formar o fator topográfico.

C = fator uso e manejo do solo que corresponde à relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado.

P = fator da prática conservacionista, que é a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta no sentido do declive.

Dependendo do uso do solo e manejo as perdas por erosão podem ser diferenciadas, assim, Weill e Sparovek (2008) encontraram as maiores perdas estimadas pela EUPS para o cultivo de cana-de-açúcar, comparada a áreas de reflorestamento, pastagens, matas e vegetação ciliar, e que para um mesmo uso do solo com os fatores C (cobertura e manejo da cultura) e P (práticas de controle da erosão) constantes, o fator LS (topográfico) foi o que mais influenciou na variação observada nas taxas estimadas de erosão.

Nos EUA, a EUPS ou USLE foi por longo tempo, utilizada no planejamento conservacionista das propriedades agrícolas, para definir práticas e sistemas de manejo do solo adequados (MURPHREE; MUTCHLER, 1980). A RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) tem como base principal os mesmos dados utilizados pela USLE (RENARD et al., 1997) entretanto, apresenta várias melhorias em determinados fatores em relação à USLE, uma delas é uma nova equação para o comprimento de rampa e o declive (fator LS), pois a USLE foi originalmente aplicada para rampas uniformes (uma de suas limitações).

A USLE é o modelo de predição de erosão mais largamente utilizado. Embora tenha sido desenvolvida para utilização no planejamento de glebas, no Brasil, não tem sido utilizada como instrumento para recomendações de manejo aos proprietários rurais. Mais comum, tem sido sua utilização em avaliações de potencial de risco ou susceptibilidade a erosão, associada aos Sistemas de Informações Geográficas – SIGs, embora esse modelo não seja apropriado para avaliação espacial da erosão (DE MARIA, 2010).

Apesar da USLE, ter sido desenvolvida nos Estados Unidos, vem sendo utilizada em vários outros países, como no Iraque (HUSSEIN, 1996), na Índia (JHA; KAPAT, 2009), na Espanha (GARCIA; ALCANTARA, 2011; GOMEZ et al., 2003; GOMEZ; FERERES, s/d), na China (FU et al., 2005), bem como no Brasil (ALBUQUERQUE et al., 2005; AMORIM et al., 2010; AVANZI et al., 2008; SILVA, 2004). Todos esses trabalhos tiveram como principal objetivo determinar e/ou ajustar os parâmetros da USLE as condições locais, através da comparação entre a perda de solo estimada pelo método com as registradas em campo. Outro fator que contribuiu para o uso da EUPS e suas variações e sua associação com as ferramentas de SIG (Sistema de Informação Geográfica), permitindo a sua aplicação em bacias

hidrográficas (ARAUJO, 2003; COHEN; SHEPHERD; WALSH, 2005; TERRANOVA et al., 2009).

Avaliar o risco à erosão é indispensável para subsidiar planejamento territorial, ambiental e agrícola. Neste contexto, equações de perda de solo com auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) permitem a espacialização e predisposição da perda de solo de forma rápida e robusta (GOODCHILD et al., 1992). O SIG é uma ferramenta que ajuda na elaboração de um conjunto de metodologias que possibilitam tratamentos de informações geográficas de maneira rápida e com menor custo, quando comparado às metodologias tradicionais de mapeamento de recursos naturais (BARBOSA, 2007).

A aplicação da USLE em escala de bacias hidrográficas tem sido facilitada pelo uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), apresentando-se, assim, como boa ferramenta para o planejamento conservacionista do solo e da água (WEILL; SPAROVEK, 2008; BESKOW et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011).

Segundo De Maria (2010) os modelos totalmente integrados com os SIGs são a tendência natural na evolução da predição da erosão. Dada à relevância do tema, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos relacionando-se a integração de dados para a caracterização da degradação do solo, como ocorre no processo erosivo, com a aplicação de sistemas de informações geográficas, através do cruzamento de informações (LORANDI et al., 2001; LUFARFAA et al., 2003; GUIMARÃES; SANTOS, 2007; BARBOSA et al., 2009).

A aplicação de modelos quantitativos foi intensamente facilitada com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Como exemplo deste tipo de aplicação de modelos quantitativos pode-se citar as estimativas da perda de solo por erosão laminar realizadas por Silva (2004), Pereira e Teixeira (2005), Farinasso (2006), Aquino et al., (2007), Rodrigues et al., (2008), Serio et al., (2008) e Vale Júnior et al., (2009).

Potencial de Erosão

As metodologias têm buscado aliar o conceito de ecodinâmica às potencialidades das imagens de satélite para estudos integrados da paisagem. Inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos nesse sentido (CREPANI et al., 2001; PANQUESTOR et al., 2002; FERREIRA et al., 2007). Além disso, um grande avanço vem ocorrendo nessa área em função

do emprego dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que além de possibilitar a organização dos atributos espaciais, também tem contribuindo para que os mesmos sejam alocados de modo que possam interagir e subsidiar a análise da paisagem.

A susceptibilidade à erosão diz respeito à probabilidade de ocorrência de um evento em uma determinada área, ou seja, ao desgaste que a superfície de um solo poderá sofrer quando submetida a qualquer uso, sem medidas conservacionistas. Trata-se de um parâmetro importante no planejamento do uso da terra e depende principalmente da capacidade de infiltração da água no solo e da resistência ao desprendimento e transporte de partículas sólidas do solo pelo escoamento superficial (XAVIER, 2007).

Vários são os métodos de investigação da suscetibilidade do meio físico ao processo erosivo. Alguns contemplam os três fatores fundamentais do ambiente físico envolvidos na avaliação do risco de erosão: topografia, clima e solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Lobo et al., (2005) utilizaram um método que com equação e também ábacos para determinação de características hidrológicas do solo, agressividade climática e também o fator declividade da encosta. Valério Filho (1994), Bueno e Stein (2004), Pedro e Lorandi (2004), Alvares e Silva (2005) e Zaroni (2006) determinaram o Potencial Natural de Erosão para várias localidades considerando os quatro primeiros fatores da Equação Universal de Perda de Solo (R, K e LS).

O Potencial de Erosão representa a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo de erosão laminar, corresponde às estimativas de perdas de solo em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção da sociedade (STEIN et al., 1987). A equação para cálculo do Potencial de Erosão é (Equação 1):

$$PE = R K LS^{(1)}$$

Onde:

- PE - Potencial de Erosão (perda de solo) calculada por unidade de área (ton/ha.ano);
- R - fator erosividade da chuva (MJ.mm/ ha.h.ano);
- K - fator erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm);
- L - Fator comprimento de rampa (adimensional);
- S - fator declividade (%).

Os fatores L e S geralmente são calculados conjuntamente e retornam valores adimensionais.

O Potencial de Erosão, quando apresentado em forma cartográfica, permite uma clara interpretação do risco de erosão que pode existir em função das características do meio físico (SILVA et al., 2007). As estimativas do Mapa de Potencial de Erosão podem colaborar para um ordenamento do uso e ocupação de áreas potencialmente suscetíveis à erosão, evitando assim o acontecimento de desastres como enchentes e deslizamentos de terra, onerar custos de construção, permitindo trazer a atenção dos planejadores e autoridades locais para as regiões mais frágeis, de relevo acidentado e com solos com alta erodibilidade (PEDRO; LORANDI, 2004).

No Nordeste semiárido, no município de Serra Talhada - PE, Freitas et al., (2008) submetendo estas parcelas a cinco chuvas simuladas com intensidade 147 mm h^{-1} e diferentes coberturas de solo, constataram perdas de solo que variaram de 1.192 kg ha^{-1} para área com caatinga semi-arbustiva com predominância de plantas de pequeno porte e $52.928 \text{ kg ha}^{-1}$ para área de solo nu. Eles concluíram, também, que há efeito benéfico da cobertura vegetal em relação à retenção dos volumes escoados em razão do aumento das forças de viscosidade que se contrapõem ao livre escoamento.

Na mesma região, só que em área de caatinga no estado da Paraíba, Santos et al., (2007), trabalhando com chuva natural e diferentes coberturas de solo, no período de 1983 a 1991, constataram uma erosão média de $0,2 \text{ t ha}^{-1}$ para a área de caatinga nativa, $33,2$ e $52,1 \text{ t ha}^{-1}$ para as duas áreas desmatadas e $0,3 \text{ t ha}^{-1}$ para as áreas mantidas com cobertura rasteira e cobertura morta. Tais resultados demonstram que as áreas mantidas com cobertura morta e rasteira conseguiram reduzir a erosão em 99% quando comparado ao solo nu.

No mesmo bioma Santos (2009) avaliando as perdas de água e solo em uma parcela de erosão nas bacias experimentais do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia no município de Iguatu - CE, encontrou perdas mensais de água que variaram de 23 a 44% e perdas de solo mensal que variaram 127 a 834 kg ha^{-1} , totalizando uma perda anual de 2.167 kg ha^{-1} .

2.5.1.1 Fator Erodibilidade (K)

O fator erodibilidade do solo é representado pela relação entre a perda de solo e a erosividade da chuva, quando tais dados são obtidos individualmente para cada chuva. Essas quantificações são efetuadas nas condições de parcela padrão, que é a unidade fundamental de pesquisa de erosão, preconizada pela equação universal de perda de solo (MANNIGEL et al., 2002). Por outro lado, tolerância de perda representa a quantidade de solo que pode ser perdida pela erosão acelerada, expressa em unidade de massa por unidade de área no tempo, que mantém os seus níveis iniciais de fertilidade e com a equivalente produtividade, por longo período de tempo. Desta forma é importante destacar que a avaliação do conjunto de características do solo deve ser considerada para o entendimento do processo erosivo. Porém, a multiplicidade dos fatores edáficos compromete a quantificação da erodibilidade dos solos.

Os diversos tipos de solos apresentam propriedades exclusivas, como textura, estrutura e permeabilidade, e dependendo dessas características, o solo reage de diferentes maneiras à ação da água. A erodibilidade do solo se refere à capacidade que um determinado solo tem de erodir, ou seja, a vulnerabilidade do solo à erosão. Bertoni e Lombardi Neto (2008) afirmam que alguns solos erosionam mais que outros, mesmo que a chuva, a declividade, a cobertura vegetal e as práticas de manejo sejam as mesmas.

A erodibilidade do solo pode ser determinada por métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos envolvem determinações em campo da quantificação do fator K em razão das perdas de solo e do fator de erosividade, sob chuva natural ou simulada. Em geral esses métodos demandam gastos e tempo excessivo, porém são considerados padrões. O método indireto baseia-se em cálculos que levam em consideração variáveis independentes como atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos solos. É um método mais rápido, porém, a maioria das equações precisa ser ajustada para as condições de solos tropicais (BARSI; OLIVEIRA; ROMÃO 1999; CORRECHEL, 2003; MANNIGEL et al., 2002; SILVA et al., 1999; SILVA et al., 2000; VITTE; MELLO, 2007).

A erodibilidade do solo traduz-se pelas condições de reação do solo aos processos erosivos de natureza hidrológica. Estes processos consistem na desagregação das partículas do solo e seu transporte, pelo impacto das gotas da chuva e escoamento superficial, seguido de deposição localizada devido à rugosidade do terreno, acompanhando outros processos de interação água-solo dos quais a infiltração e o fluxo da água no perfil desempenham um papel

igualmente relevante. O fator erodibilidade do solo é representado pela relação entre a perda de solo e a erosividade da chuva, quando tais dados são obtidos individualmente para cada chuva. Essas quantificações são efetuadas nas condições de parcela padrão, que é a unidade fundamental de pesquisa de erosão, preconizada pela EUPS (MANNIGEL et al., 2002).

A resistência do solo à erosão depende de fatores extrínsecos e intrínsecos ao solo. Como fatores intrínsecos ao solo são considerados as propriedades físicas (textura, estrutura, permeabilidade, densidade), químicas, mineralógicas e biológicas do solo. Entre os fatores extrínsecos ao solo, temos: o comprimento, a forma e o declive de rampa, além do sistema de manejo adotado e o tipo de cobertura do solo.

A textura do solo é um fator importante que influencia a erodibilidade por afetar os processos de desagregação e transporte, uma vez que, enquanto grandes partículas de areia resistem ao transporte, solos de textura fina (argilosos) também resistem à desagregação, sendo a areia fina e silte as texturas mais suscetíveis à desagregação e ao transporte. Assim, solos derivados de materiais originados de transporte eólico, por exemplo, são muito suscetíveis à erosão (VITTE, 2007).

Propriedades estruturais também interferem na interação com a chuva (solo-chuva) e, conseqüentemente, na capacidade de infiltração. A taxa de equilíbrio de infiltração é uma função da porosidade total, a proporção relativa de macroporos, e a estabilidade e continuidade de macroporos, além do que, os biocanais criados por raízes deterioradas e pela fauna do solo têm maiores efeitos na capacidade de infiltração (VITTE, 2007).

Carvalho, et. al., (2009) descrevem que os solos que apresentam percentuais elevados de argila possuem uma boa coesão e uma apreciável estabilidade estrutural. Devido às características como plasticidade e coesão, maiores em argilas do tipo montmorilonita e menores na illita e caulinita.

O desprendimento ou desagregação das partículas do solo ocorre, principalmente, pelo efeito integrado da energia de impacto das gotas de chuva e da força cisalhante do escoamento superficial constituindo, assim, o estágio inicial e mais importante do processo da erosão hídrica. O arraste, ou transporte das partículas é feito pelo escoamento superficial da água. O estágio final do processo, a deposição das partículas, normalmente nos corpos de água, resultada no assoreamento dos leitos dos rios (PANACHUKI et al., 2006).

As equações que permitem estimar a erodibilidade são desenvolvidas, geralmente, por meio de regressões múltiplas entre valores medidos no campo e os atributos do solo, quando apresentam boa correlação, podendo, assim, fornecer o fator de erodibilidade do solo para uso na Equação Universal da Perda de Solo (EUPS). Quando espacializada, por meio de Sistema de Informações Geográficas, permite uma análise da perda de solo por erosão laminar, possibilitando contextualizar os resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras. Contudo as equações já desenvolvidas para medir os valores da erodibilidade apresentam algumas limitações devido à diversidade de características que os solos apresentam e tendem a estimar valores próximos aos reais. Vários modelos visando estimar a erodibilidade foram desenvolvidos por diversos autores na tentativa de minimizar erros e se aproximar de valores reais. No entanto, ainda há receio na utilização de certas equações, uma vez que, foram desenvolvidas para o cálculo da erodibilidade de solos com características particulares.

Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão forem às mesmas. Essa diferença, devida às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). A partir das metodologias propostas por Salomão (1999, 2005), Crepani et al., (2008) e Ross (2005), foram associadas às classes de solos aos respectivos graus de erodibilidade (Tabela 3).

Tabela 3 – Classes de Erodibilidade dos Solos.

CLASSES DE ERODIBILIDADE	UNIDADES PEDOLÓGICAS
I - Forte	- Neossolos Litólicos - Vertissolos
II - Média	- Argissolos - Luvisolos
IV - Baixa	- Neossolos Flúvicos

Fonte: Adaptado SIBCS (2006), Crepani et al., (2008), Salomão (1999, 2005) e Ross (2005).

A erodibilidade do solo (susceptibilidade do solo para erosão, principalmente pela erosão hídrica), que depende do tipo do solo e do seu manejo, foi determinada conforme Crepani et al., (2008), que associaram diversos tipos de solo brasileiro a um valor de erodibilidade, de acordo com cada tipo de solo. Para as várias metodologias que são aplicadas para a estimativa do fator K, encontram-se valores bastante distintos. Portanto a opção que

este trabalho propõe trabalhar com classes de erodibilidade que representem valores médios do fator K como proposta já adotada (BRANCO, 1998; TOMAZONI; GUIMARÃES, 2007; FORNELOS; NEVES, 2006; RUHOFF et al., 2006; MOREIRA; ROSA, 2006).

2.5.1.2 Fator Erosividade (R)

A chuva é um dos elementos climáticos de maior importância na erosão do solo, visto que a erosão hídrica é a forma mais significativa desse fenômeno no Brasil (DECHEN, 2004). Para Thomaz (2009) a chuva é o mais importante parâmetro físico que afeta a erosão do solo em regiões tropicais. Portanto, as suas características são essenciais no entendimento do escoamento e das perdas de solo.

A energia cinética das gotas de chuva gera intensas forças de pressão e cisalhamento, localizadas no ponto de impacto, que podem desagregar grandes quantidades de partículas do solo (ELLISON, 1947; ALDURRAH; BRADFORD, 1982). Segundo Mota (1981), a erosão hídrica se desenvolve basicamente através de dois processos distintos: a redução dos agregados do solo a finas partículas e seus transportes a locais distantes.

O Fator R (MJ.mm/ha.h.ano) corresponde à capacidade erosiva da chuva em contato direto com o solo. Este fator depende das características físicas das chuvas, tais como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Este fator foi definido como um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de erodir o solo de um terreno sem cobertura vegetal (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Avalia-se a estimativa do índice de erosividade quando em certa região esses dados apresentam-se escassos, com isso, ela pode ser realizada com base em dados pluviométricos, que são mais fáceis de serem obtidos que os dados pluviográficos (GONÇALVES; et. al., 2006).

Em várias regiões do Brasil, os índices de erosividade vêm sendo utilizados no traçado de mapas de linhas isoerosivas. A obtenção dessas linhas é uma alternativa para contornar a escassez de dados que possibilitem a determinação dos índices de erosividade em localidades que carecem de tais informações (GONÇALVES; et. al., 2006).

Autores (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; MARQUES, 1996; SILVA, 1997; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008) criticam a utilização do EI^{30} como um índice

de erosão para os trópicos. A crítica fundamenta-se na escassez e mesmo inexistência de dados pluviográficos necessários para a obtenção do EI^{30} em muitos países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil e, ainda, a morosidade das análises dos diagramas dos pluviógrafos para o cálculo da energia cinética, destacando-se também a complexidade no cálculo do EI^{30} , que requer registros detalhados da precipitação. Devido à escassez ou inexistência dos registros pluviográficos em alguns locais e as análises dos diagramas dos pluviógrafos para determinação da energia cinética de maneira que possam apresentar condições de trabalho morosas, diversos autores tentaram correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos, fatores esses de fácil medida e que não requerem registros de intensidade de chuva.

Aquino et al., (2006) também observaram a dificuldade de utilização do EI^{30} como um índice de erosão para os trópicos, devido à escassez e mesmo à inexistência de dados pluviográficos necessários para obtenção deste índice. O autor observa, ainda, a demora das análises dos pluviogramas para o cálculo da energia cinética e destaca a complexidade no cálculo do EI^{30} , devido à necessidade de registros detalhados da precipitação.

Com o intuito de simplificar o método para o cálculo do fator erosividade, pesquisas buscaram o estabelecimento de correlações entre o índice de Erosividade (R) e características das chuvas de mais fácil mensuração e que não requeiram registros de sua intensidade (FOURNIER, 1956; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; MARQUES, 1996; SILVA, 1997; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Bertoni e Lombardi Neto (2008) propuseram uma equação para determinação da erosividade da chuva, considerando os valores de precipitação média mensal (mm) e de precipitação média anual (mm). Esta equação vem sendo amplamente utilizada (AQUINO et al., 2006, TOMAZONI; GUIMARÃES, 2007; MATA et al., 2007; WEILL; SPAROVEK, 2008; PEREIRA et al., 2009; MINGNOTI, 2009).

O índice de erosividade médio anual da precipitação (Fator R da RUSLE) de um dado local é, então, computado como o somatório dos valores dos índices médios mensais de erosividade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008; BERTOL, 2007).

A preposição metodológica apresentada aqui destaca a dificuldade a obtenção de registros pluviográficos em muitos países e regiões, inclusive no semiárido brasileiro, muitos pesquisadores vêm tentando determinar a erosividade da chuva numa região por meio de

equações que utilizam como dados de entrada a precipitação mensal e anual (PRUSKI, 2009). Entre as equações mais utilizadas nas condições semiáridas é a proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) aplicada nos trabalhos de Araújo (2003); Aquino et al., (2007); Serio et al., (2008); Lopes et al., (2009) e Muniz e Oliveira (2010).

A erosividade da chuva (potencial da chuva de causar erosão em uma área sem proteção ou sem cobertura vegetal) depende da sua energia cinética e da intensidade. Para sua determinação são necessários dados pluviográficos, que não são disponíveis com frequência. No presente caso empregou-se, para contornar o problema da falta de dados pluviográficos, a metodologia descrita por Bertoni e Lombardi Neto (2008), que fornece o índice de erosividade média mensal (EI) para um posto pluviométrico a partir de seus dados de precipitação mensal e anual conforme a (Equação 2):

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

Onde:

EI é a média mensal do índice de erosão (MJ.mm/ ha.h.ano);

r é a precipitação média mensal, (mm);

P é a precipitação média anual, (mm).

2.5.1.3 Fator Topográfico (LS)

Um exame mais atento da paisagem revela que a erosão tende a ser maior nos terrenos com declividade mais acentuada (ALVARENGA; SOUZA, 1997). Evidencia-se, contudo, a associação da erosão unicamente a inclinação do terreno, ou seja, com sua declividade.

Os fatores L e S correspondem, na Equação Universal de Perdas de Solo, ao comprimento e grau de declive respectivamente, os quais são considerados conjuntamente como fator topográfico. O comprimento do declive (fator L) possui elevada importância na perda de solo, uma vez que quanto maior for a sua extensão maior tenderá ser a velocidade do escoamento superficial. Da mesma forma, o volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente relacionadas ao grau de declividade do terreno (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Outro elemento de grande importância no cálculo do Potencial de Erosão consiste no Fator Topográfico. O fator topográfico (LS) expressa a expectativa de perda de solo por

unidade de área em função dos valores de comprimento da rampa e de declividade do terreno. No geral, esses fatores irão influenciar na quantidade e na velocidade do fluxo d'água pelo escoamento superficial. Os fatores (L) e (S) representam, respectivamente, comprimento da rampa e declividade do terreno, que são chamados de fator topográfico. O fator topográfico foi calculado a partir do dado Altimétrico SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com pixel de 90 metros.

As duas variáveis topográficas são obtidas por meio de diferentes métodos. No entanto, para o cálculo da EUPS, considera-se a integração entre os dois fatores e por se tratar de uma relação entre perdas de solo na condição real e em determinada condição padrão (declive de 9% e comprimento de 25m), este fator é adimensional (VALERIANO, 1999). Além disso, no cálculo do fator topográfico (LS), o comprimento de rampa e o grau de declive são considerados uniformes. Assim, as características morfológicas das vertentes não são consideradas.

Guerra e Marçal (2006) apontam que as taxas de erosão estão intrinsecamente relacionadas com as características das encostas (Fator topográfico ou Fator LS). Isso é facilmente observado se levarmos em conta que, à medida que as encostas tornam-se mais longas, maior é o volume de água que se acumula durante o escoamento superficial.

Os valores de declividade podem ser obtidos por meio do geoprocessamento, já que programas com esta finalidade possuem algoritmos de manipulação que percorrem o modelo numérico de terreno, aplicando a equação para a determinação da declividade (SILVA, 2009).

Quando se utiliza o geoprocessamento para a determinação das variáveis da USLE normalmente se integra a declividade com o comprimento de rampa, gerando uma única variável conhecida como LS, que foi estabelecida para qualquer valor de comprimento de rampa (l) e declividade (s) e utilizada do sistema internacional (FOSTER et al., 1982).

Nas últimas décadas do século passado diversos autores trabalharam no viés de elaborar modelos matemáticos que pudessem expressar a relação das variáveis do fator topográfico (MINGUETI, 1988; BOLTON et al., 1995; JENSON e DOMINGUE, 1988; BIESEMANS, 1997; BARRIOS R., 2000). Barrios R., (2000) trabalhou com a utilização de Modelos Digitais de Terreno (MDT) em aplicações de ambientes SIGs (Sistemas de Informações Geográficas), com o intuito estimarem o Fator LS a partir de diferentes algoritmos com o viés de proporcionar resultados mais próximos do mundo real.

Conforme BARRIOS R., (2000), o Fator LS é um produto dos subfatores “L” (comprimento da rampa) e “S” (declividade do terreno). A declividade do terreno é obtida através da diferença de altura entre dois pontos e a distancia horizontal entre esses pontos. Já o comprimento da rampa é de uma obtenção mais complexa, por se tratar de uma variável que depende da interpretação conceitual, o autor SMULYAN (2011), aponta que existem vários métodos para estimar isoladamente esse elemento constituinte do Fator LS.

Neste trabalho adotou-se o conceito apontado SIMMS et al., (2003), e a mesma fórmula utilizada no seu trabalho, que interpreta o subfator “L” como a distância da fonte de escoamento até o ponto onde inicia a deposição, ou mesmo quando o escoamento torna-se centrado em um canal definido. A (Equação 3) apresenta a forma de aplicação conforme o autor.

$$LS=(\lambda/22.13)^{0.6}(\sin \theta/0.0896)^{1.3(3)}$$

Onde:

λ é a projeção horizontal do comprimento da rampa, para tanto o autor utilizou fluxo acumulado do terreno, θ é a declividade do terreno.

Adotou-se essa fórmula para o desenvolvimento deste trabalho por ser a mais simples de obtenção das variáveis a partir de um MNT conforme SMULYAN (2011).

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 MATERIAL

Levantamentos e Etapas

A primeira etapa do trabalho consiste na revisão bibliográfica que permitiu estruturar um quadro teórico como base para apresentar e analisar os conceitos norteadores desta tese.

Após a revisão teórica procedeu-se a escolha da área a ser trabalhada e da escala espaço-temporal a ser adotada. Para este procedimento foram considerados alguns elementos, tais como: a fragilidade devido às características físico-climatológicas e as condições socioeconômicas da população. A escala espacial foi delimitada na dimensão bacia de drenagem e na temporal foram utilizadas séries históricas variáveis (de acordo com as informações disponíveis) para mensuração dos índices necessários à confecção dos mapas temáticos. A área foi selecionada mediante a análise de dados primários e secundários que foram tratados com uso de Sistema de Informações Geográficas.

- O levantamento de dados foi realizado por meio de entrevistas junto a vários órgãos e instituições das diversas esferas governamentais, de modo a obter as informações necessárias para realização do trabalho. Além de dados primários, os secundários também foram obtidos nestas instituições, segundo descrito a seguir:
- Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) – dados sobre o reservatório, outorga e usuários da água;
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – imagem de satélite correspondente à área de estudo;
- Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) – dados sobre o reservatório e disponibilidade de recursos hídricos superficiais;
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2006) – dados meteorológicos, dados ambientais da bacia e imagem de satélite correspondente à área de estudo;
- Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará (IPECE) – dados socioeconômicos sobre os municípios que compõem a área de estudo;
- Instituto de Desenvolvimento Agrário do Ceará (IDACE) – dados econômicos e estrutura fundiária dos municípios que compõem a área de estudo;

- Superintendência Estadual de Meio Ambiente (SEMACE) – dados ambientais da bacia;
- Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) – dados sobre infraestrutura hídrica;
- Universidade Estadual do Ceará (UECE) – dados ambientais e consulta a periódicos e teses;
- Universidade Federal do Ceará (UFC) – dados ambientais e consulta a periódicos e teses.

Para confirmação e análise das informações e dados coletados, os mesmos foram confrontados com aqueles obtidos nas incursões realizadas in loco. No total foram realizadas três (3) expedições de campo. A primeira no segundo semestre de 2009 para levantamento de dados primários através de registro fotográfico. A segunda expedição aconteceu no primeiro semestre de 2010 com o objetivo de verificar as práticas socioeconômicas desenvolvidas na área; A terceira expedição foi no ano de 2011 para confrontar a base cartográfica secundária com a realidade e realizar marcação dos pontos de controle através da utilização de GPS Garmin.

O material geocartográfico utilizado como fonte de pesquisa foi centralizado principalmente nos seguintes documentos:

- Projeto RADAMBRASIL (1981), escala de 1:1.000.000 – para os dados geológicos e geomorfológicos;
- Cartas Topográficas da DSG/SUDENE (1974) na escala 1:100.000 em formato digital
- Ortofotocartas na escala 1:10.000 correspondentes a área de cobertura do açude Orós, usadas como apoio para a elaboração da base cartográfica;
- Imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*): cartas SB-24-Y-B, SB-24-Z-A, SB-24-X-C, SB-24-V-D;
- Imagens do Satélite Landsat 5 (Agosto/2011);
- Imagens orbitais do satélite *Quickbird* datada de outubro e novembro/2005, correspondentes ao entorno do Açude Orós.

Delimitação da Área

O *software* utilizado foi o *ArcGIS*® versão 9.3, desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI, 2008). Os dados processados tiveram resolução espacial de trinta metros e escala 1:250.000. A área foi delimitada pelos divisores a partir das curvas de nível geradas e estimadas através da utilização de imagens SRTM, A ferramenta *Countour Lines*, disponível na função *3D Analyst*. As curvas possuem equidistância de 40m com a projeção horizontal, inclusa entre os seus divisores topográficos. A área total da bacia é de 2.583 km² a qual está situada geograficamente entre as coordenadas 9.280.000 m – 9.340.000 m e 440.000 m – 520.000 m considerando-se o sistema de coordenadas UTM (zona 24S, SAD-69 datum).

No *ArcGis* 9.3, foram realizados o georreferenciamento das cartas *scanerizadas*, a organização das pastas e dos arquivos nos formatos *raster* e vetor no banco de dados, a verificação da área de abrangência das imagens associadas a área da bacia, a edição final constando dos dados vetoriais e tabulares e geração dos produtos cartográficos, bem como a estruturação e disponibilização dos dados mapeados em um ambiente SIG.

Com as imagens ortorretificadas e classificadas foram realizados trabalhos de campo com o objetivo de reconhecimento, coleta de dados de identificação de informações sobre os diversos tipos de uso e ocupação atual da área de estudo. Todas as observações foram devidamente registradas a partir de coordenadas UTM, obtidas através do GPS de navegação, anotações em caderneta de campo e documentação fotográfica, facilitando a identificação dos elementos e objetos fornecidos pelas imagens e a elaboração das legendas dos mapas temáticos.

Em seguida, foi realizada a edição vetorial dos planos de informações da base cartográfica planimétrica. A partir do arquivo digital em formato *raster*, das ortofotocartas, foi realizada a vetorização da curva de nível. O mapeamento foi elaborado na escala 1:250.000 utilizando imagens do Satélite *Landsat 5* que mostraram a situação da ocupação das áreas de entorno em relação às atividades agropecuárias, vegetação natural, capoeiras, vilas, aglomerados rurais, dentre outros e imagem *Quickbird* que ofereceu a possibilidade de validar as informações referentes ao entorno do reservatório.

Características Ambientais da Bacia de Drenagem do Açude Orós

Com respeito aos aspectos geológicos, a área está situada no Domínio Morfoestrutural da Depressão Sertaneja, constituído, predominantemente, por rochas do embasamento cristalino, representadas pela primazia de litologias datadas do Pré-Cambriano.

Em relação aos terrenos cristalinos, a composição litológica é datada do pré-cambriano, onde as formas que o integram, exhibe os reflexos de eventos tectônico-estruturais remotos (SOUZA, 1988). O fato mais notável é a larga dominância espacial das depressões periféricas derivadas dos processos denudacionais.

O Pré-Cambriano comporta o Complexo Gnáissico Migmatítico, que de acordo com Souza (2000) ocupa grandes áreas, eventualmente separadas entre si e com a presença de rochas intrusivas, dispersas ao longo das depressões sertanejas, sendo formado por rochas de alto grau de metamorfismo, constituído predominantemente por gnáisses e migmatitos, com núcleos de ortoderivadas e intercalações de leptinitos, anfíbolitos, xistos, quartzitos ferríferos e corpos ultrabásicos, encontrando-se também restos de litotipos supra crustais paraderivados, representados principalmente por quartzitos, xistos, mármore e gnaisses aluminosos. Esta unidade é a de maior dimensão superficial, acompanhando o curso do Rio Jaguaribe em quase toda sua extensão (CPRM, 2003).

Segundo Souza (2000) o Pré-Cambriano Superior expõe rochas do Complexo Nordeste e do Grupo Ceará. O Complexo Nordeste juntamente com outras áreas pré-cambrianas encontram-se posicionadas como substrato das sequências supracrustais. Predominam os migmatitos e gnaisses de composição granítica, granodiorítica e diorítica, aparecendo com frequência os anfíbolitos. Dezenas de granitóides intrusivos também aparecem na região que é a de maior extensão territorial no estado do Ceará (RADAMBRASIL, 1981). O Grupo Ceará ocupa praticamente todos os mosaicos abrangidos pela bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Sua forma de ocorrência é a de faixas, que ora se apresentam delgadas e retilíneas e ora se mostram muito largas e entremeadas por corpos graníticos. A litologia da área é representada por gnaisses, xistos, filitos, calcários metamórficos e quartzitos. Onde ocorrem os filitos e xistos, o relevo apresenta-se mais aplainado, com ondulações suaves, enquanto que o relevo de modelado forte é característico para os gnaisses, e os quartzitos evidenciam cristas destacadas e bem orientadas, para nordeste.

O Grupo Iguatu ou Grupo Rio do Peixe (Juro-Cretáceo). Trata-se de rochas pertencentes à Formação Souza (RADAMBRASIL, 1981), agrupa os sedimentos de várias bacias, dentre elas a Bacia de Iguatu, Icó e Lavras da Mangabeira, nos municípios homônimos, representando uma área de sedimentação antigamente contínua, restando somente testemunhos isolados, com bordas delimitadas por falhas, cuja idade refere-se ao intervalo compreendido entre Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior. O mesmo é representado por uma área de sedimentação contínua, da qual restam somente testemunhos isolados.

O relevo desta unidade é bastante plano, com suaves ondulações. Este grupo apresenta-se estruturalmente cortado por diversas falhas de direção predominante nordeste. A litologia deste grupo é constituída de arenitos finos e médios, intercalações de arenitos grosseiros, conglomerados, siltitos, argilitos com níveis de calcário, brechas, arenitos arcoseanos, areias silticas e argilosas. Na parte superior desta unidade predominam os arenitos finos e siltitos arenosos (Figura 3).



Figura 3 – Presença de calcário (a) e quartzo na rocha em decomposição (b). Distrito Pau de Leite, Acopiara – CE.

Fonte: Frota (2011).

Segundo RADAMBRASIL (1981) a Formação Moura repousa discordantemente sobre o Grupo Rio do Peixe sendo correlacionável à formação Barreiras da faixa pré-litorânea. É constituída por sedimentos clásticos grosseiros, inconsolidados que ocorrem no topo das Bacias Iguatu e Icó nos municípios homônimos, repousando discordantemente sobre os sedimentos Cretáceos do Grupo Iguatu (Figura 4).

A Formação Moura é caracterizada por uma superfície plana e elevada, um típico terraço fluvial do rio Jaguaribe, podendo ocorrer em vários pontos isolados. Esses sedimentos foram depositados pelo rio, em locais com obstáculos ao seu curso normal, como o que ocorre na região de Orós, no vale do Jaguaribe, através de uma crista quartizítica. Na base predomina uma seqüência conglomerática, de forma lenticular com espessura de até 8 metros. Os seixos e calhaus são bem arredondados, com diâmetro chegando a 20 cm, e matriz areno-argilosa de cor avermelhada. Este nível conglomerático pode estar ausente em muitos locais. Em direção ao topo, predomina as areias, siltitos e argilas de coloração também avermelhada, em bancos maciços, sem indícios de estratificação e apresentando intercalações de arenitos grosseiros e conglomeráticos.



Figura 4 – Afloramento composto por mármore com veios de quartzito no sentido WSW-ENE (a) e vista de afloramentos de rochas em porções de Neossolos Litólicos (b) no Distrito de José de Alencar, Iguatu – CE.

Fonte: Frota (2011).

Bordejando a calha do rio Jaguaribe e dos seus tributários locais, desenvolvem-se as planícies fluviais cujos depósitos aluviais são constituídos por areias finas a grosseiras, incluindo cascalhos inconsolidados e argilas com matéria orgânica em decomposição. A ausência de fósseis não permitiu um posicionamento cronológico preciso, porém a idade holocênica é admitida, tendo em vista a consagração de que tais sedimentos estão intimamente relacionados ao desenvolvimento da morfologia atual.

As planícies fluviais e lacustres são ambientes típicos de acumulação de sedimentos decorrentes da ação fluvial. Na medida em que se aproximam do baixo curso do rio, há diminuição do gradiente fluvial, e uma diminuição no transporte de sedimentos ampliando a área de deposição. Os sedimentos aluviais que compõem as planícies fluviais e lacustres são predominantemente areias finas e médias, com inclusões de cascalhos inconsolidados, siltes, argilas e eventuais ocorrências de matéria orgânica em decomposição (SOUZA, 2005).

Os (Tabela 4 e Figura 5) apresentam as unidades litoestratigráficas associadas as feições geológicas e geomorfológicas da Bacia de Drenagem do Açude Orós.

Tabela 4 – Síntese da Geologia e Geomorfologia da Bacia de Drenagem do Açude Orós-CE.

UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	IDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA	DOMÍNIO MORFO-ESTRUTURAL	FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS
Qa - Aluviões	Holoceno	Areias finas e grosseiras, incluindo cascalhos inconsolidados e argilas com matéria orgânica	Depósitos Sedimentares	Planície Fluvial
TQm - Formação Moura	Pleistoceno	Cascalheiras, areias e argilas		Tabuleiros Interiores
JKP - Grupo Rio do Peixe	Cretáceo	Arenitos finos e médios, intercalações de arenitos grosseiros, conglomerados, siltitos, argilitos com níveis de calcário, brechas, arenitos arcoseanos, areias sílticas e argilosas		Depressão Intermontana
PE (PE _n – Complexo Nordeste e PE _{ce} - Grupo Ceará)	Pré-cambriano	Gnaisses, granitóides, anfíbolitos, xistos, filitos, calcários metamórficos e quartzitos	Depósitos dos Escudos Antigos	Superfície Pediplanada da Depressão Sertaneja com eventuais Cristas Residuais e Inselbergs

Fonte: adaptado do Projeto RADAM-BRASIL (1981).

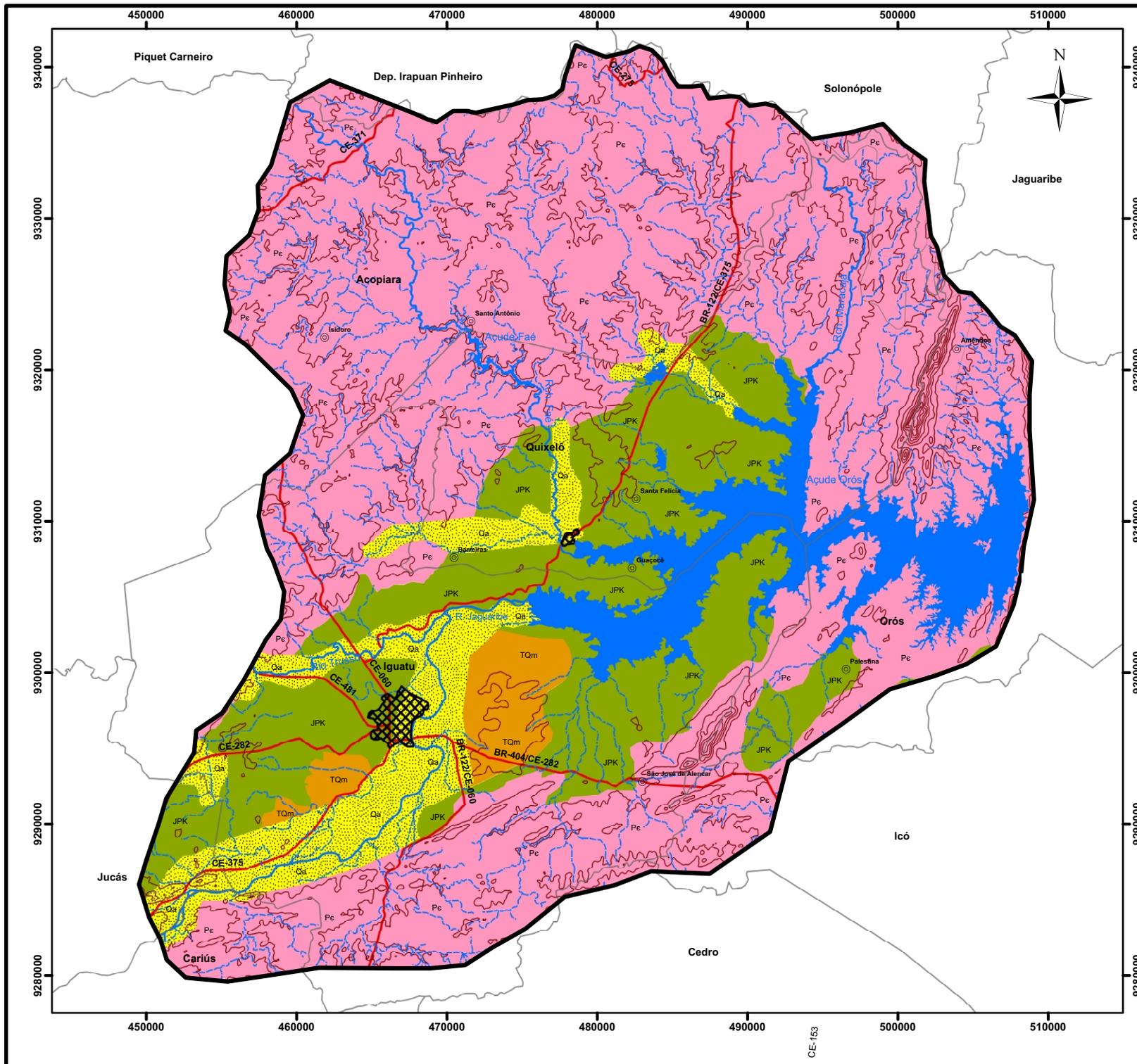
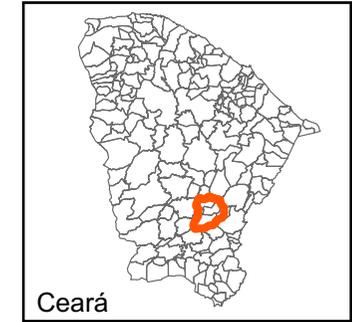


Figura 5 - Mapa Geológico-Geomorfológico da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Curvas de Nível
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

UNIDADE LITOSTRATIGRÁFICA	DOMÍNIO MORFO-ESTRUTURAL	FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS
Qa - Aluviões	Depósitos Sedimentares	Planície Fluvial
TQm - Formação Moura		Tabuleiros Interiores
JPK - Grupo Rio do Peixe		Depressão Intermontana
Pc - Pré-Cambriano (Complexo Nordestino e Grupo Ceará)	Depósitos dos Escudos Antigos	Superfície Pediplanada da Depressão Sertaneja com eventuais Cristas Residuais e Inselbergs.



1:250.000

Sistema de Projeção
Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCCEM (2010); IPECE (2010).



Em síntese sobre as condições morfoestruturais, a Bacia de Drenagem do açude Orós é composta pelo domínio dos depósitos sedimentares cenozóicos representados e o domínio dos escudos cristalinos e cristas residuais. A maior parte da área integra a superfície sertaneja antiga que exhibe a ocorrência de relevos forte a moderadamente dissecados, além de paleossolos dotados de boas condições de fertilidade natural. A morfodinâmica das áreas semiáridas tem como componentes principais a desagregação mecânica das rochas e o escoamento superficial. A eles vem-se associar os processos bioquímicos, de importância secundária na elaboração do modelado.

A região é marcada pela primazia de topografias aplainadas e levemente onduladas e agrupam feições morfológicas embutidas entre as cristas residuais e no entorno a faixa de deposição aluvial (Tabela 5).

Tabela 5 – Hipsometria da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

ELEVAÇÃO (m)	ÁREA (%)
180 - 260	61,15
260 - 340	36,44
340 - 420	2,15
420 - 500	0,19
500 - 580	0,06
580 - 640	0,02

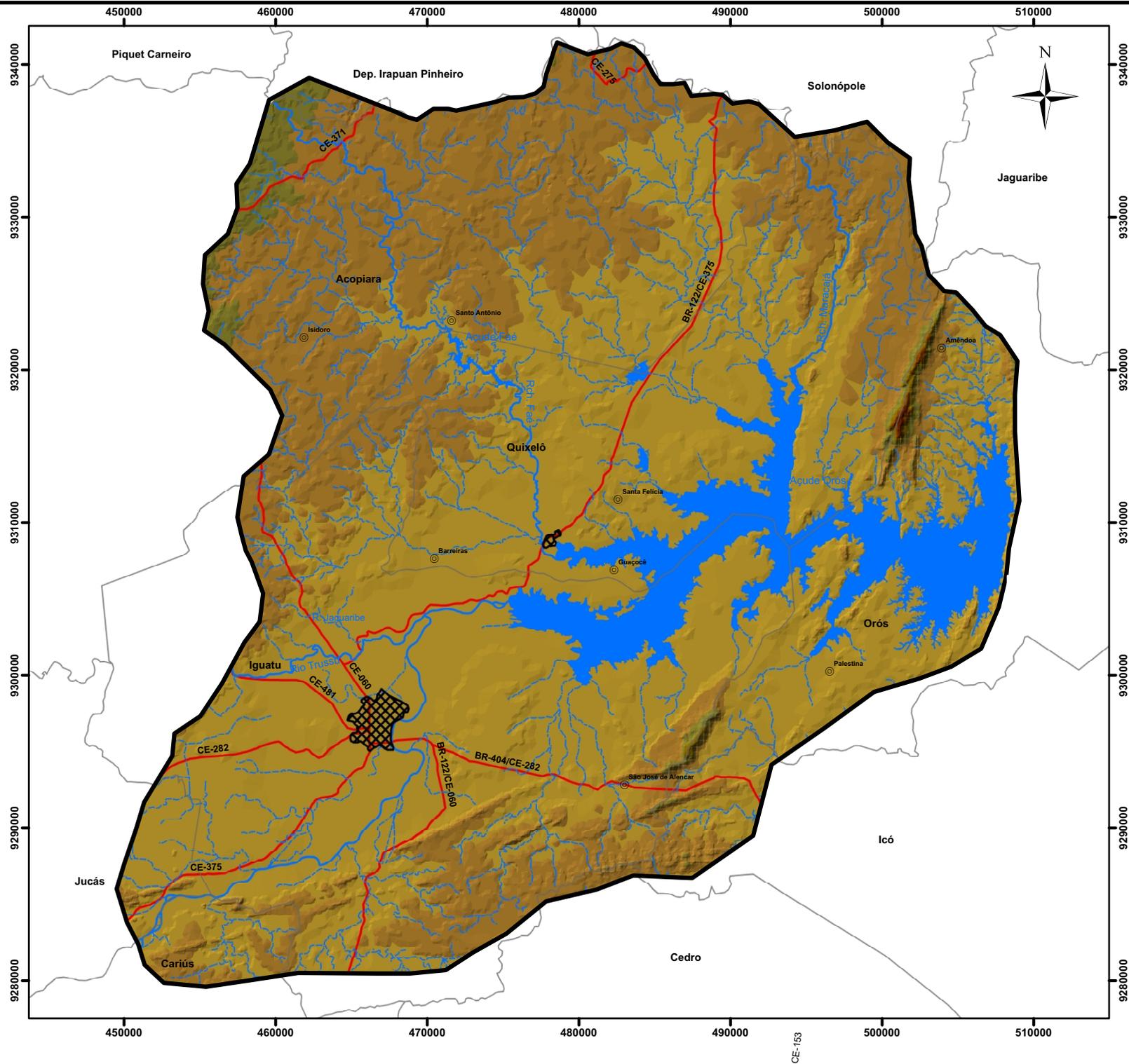
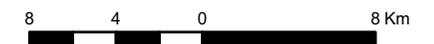
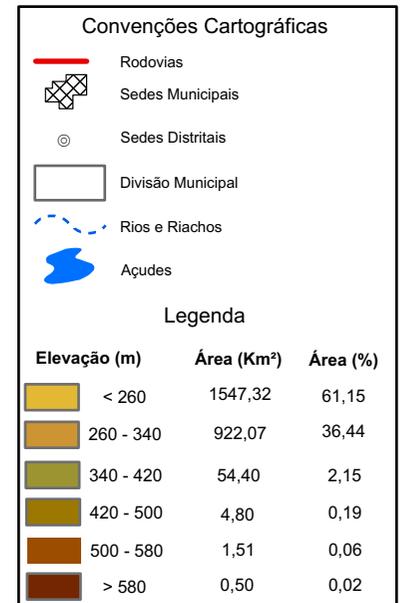
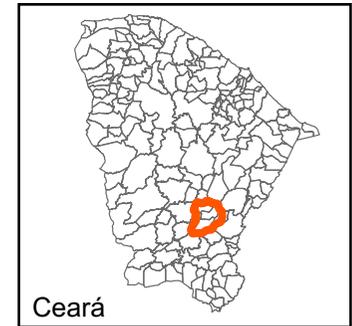


Figura 6 - Mapa Hipsométrico da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



1:250.000

Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



O Mapa Hipsométrico da Bacia de Drenagem do Açude Orós (Figura 6) demonstra que a área é marcada pelas superfícies pediplanadas da Depressão Sertaneja, sendo estas caracterizadas como superfícies de erosão. Na área de estudo, predominam as altitudes entre 180 – 260 m (61,15%) e representam níveis rebaixados das depressões sertanejas. São caracterizadas por um baixo índice pluviométrico e estação seca prolongada. Esta influência climática é acentuada em decorrência também da irregularidade temporal e espacial das precipitações, bem como por uma reduzida capacidade de proteção do solo contra os processos morfogenéticos. A paisagem apresenta comportamento diferenciado: enquanto a maior parte da área é composta por relevo plano e suave ondulado, conferindo grau de limitação baixo e muito baixo, há algumas áreas de topografia mais acidentada, principalmente os maciços residuais, que apresenta elevada a muito elevada restrição por relevo.

A Depressão Sertaneja apresenta diversidade litológica evidenciada pela ocorrência de rochas cristalinas Pré-cambrianas e rochas sedimentares de diferentes idades; processos intensos de intemperismo físico e remoção de detritos pelo escoamento difuso e concentrado; litologias e estruturas geológicas truncadas pela erosão, com o conseqüente desenvolvimento de superfícies pediplanadas; cobertura vegetal predominante caracterizada por caatinga com mudanças localizadas em função de alterações climáticas e de variações pedológicas; pequena espessura do manto de alteração das rochas, com afloramentos espalhados ao longo de toda a área.

A Depressão Sertaneja trata-se de um ambiente de transição com tendência à estabilidade nas áreas com dinâmica ambiental progressiva e à instabilidade onde a dinâmica é regressiva, o que lhe confere um grau de vulnerabilidade moderado. É a unidade geomorfológica de maior extensão na bacia de drenagem do açude Orós, resultante do processo de erosão diferencial ocorrida ao longo do tempo geológico, com uma maior resistência aos processos morfogenéticos e oscilações climáticas, ocasionando relevos fortemente dissecados sendo representada pela Depressão Intermontana com Cobertura Sedimentar, Depressão Sertaneja Pediplanada Moderadamente Dissecada e Superfície Pediplanada. Dentre suas características destacam-se a acentuada variação litológica e o truncamento indistinto das litologias por processos de morfogênese mecânica (Figura 7).

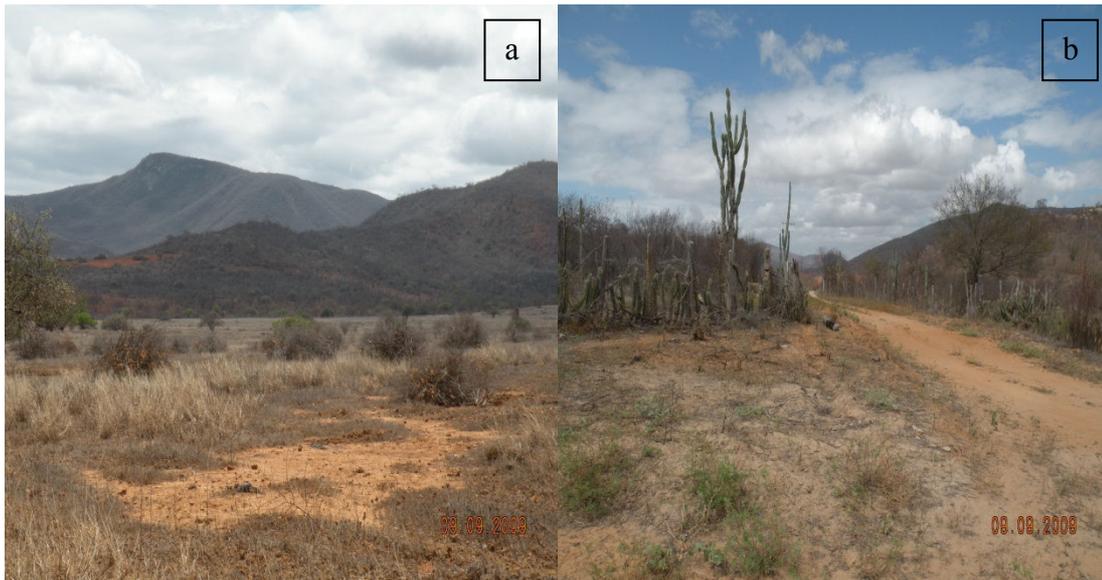


Figura 7 – Topografias plana e levemente onduladas representam a Depressão Sertaneja (a) e superfície pediplanada revestida por caatinga degradada em contato com Crista Residual (b). Iguatu - CE.

Fonte: Frota (2011).

De acordo com Souza (2006) é possível destacar nas áreas de depressões acentuada diversificação litológica, amplamente submetidas às condições semiáridas quentes, com forte irregularidade pluviométrica; rede fluviométrica densa, fraca e medianamente entalhada na superfície e com canais fluviais dotados de intermitência sazonal; mosaico de solos com grande variedade de associações, sendo comuns a existência de Neossolos Litólicos, Vertissolos e Luvisolos, extensivamente recobertos por caatingas que ostentam grande variedade de padrões fisionômicos e florísticos e diferentes níveis de degradação; uso atual com predominância de atividades agropecuárias (Figura 8).



Figura 8 – Apesar da semiaridez característica da Depressão Sertaneja, estas áreas estão sujeitas às grandes pressões ambientais em virtude da ocupação desordenada e ausência de manejo sustentável da água e solo. Quixelô - CE.

Fonte: Frota (2011).

A rede fluvial que se instalou sobre a Depressão Sertaneja compõe-se de diferentes bacias hidrográficas que apresentam direcionamentos distintos: leste, norte e oeste. Apresenta curso retilíneo intercalado por setores sinuosos, mostrando adaptações às estruturas geológicas de fraturas. Os leitos são preenchidos por material arenoso e, ocasionalmente, por afloramentos rochosos. Apesar do controle estrutural em segmentos dos cursos d'água, o padrão de drenagem predominante é o dendrítico.

Nas altitudes superiores a trezentos e quarenta metros, a dissecação é mais evidente, pois isola os interflúvios de feições que constituem os níveis elevados das depressões sertanejas, onde a dissecação é mais acentuada, esboçando uma topografia moderadamente ondulada além de representarem as áreas que mais contribuem para o processo erosivo (Figura 9). Santos e Baccaro (2004) consideram que os variados modelos de cabeceiras de drenagem em forma de anfiteatros e diferentes níveis de sedimentação são resultados de ações morfogenéticas oriundas do Terciário e Quaternário. As alternâncias entre clima úmido e seco favoreceram o rebaixamento do relevo, porém, algumas áreas mais resistentes ao processo erosivo se conservaram. Estas feições que permaneceram são os relevos residuais.



Figura 9 – Topografias levemente onduladas no entorno do Açude Orós, Quixelô – CE.

Fonte: Frota (2011).

Do ponto de vista geológico, essas áreas mais elevadas na bacia do açude Orós e representadas pelas Cristas Residuais apresentam primazia de núcleos granitóides de variados tipos e migmatitos homogêneos do Pré-Cambriano Inferior a Médio do Complexo Nordeste (RADAMBRASIL, 1981). Esse compartimento geomorfológico é resultante do processo de erosão diferencial ocorrida ao longo o tempo geológico, verifica-se uma maior resistência aos processos morfogenéticos e oscilações climáticas, ocasionando relevos fortemente dissecados. Segundo Souza (1988) a dispersão desses relevos residuais pelas depressões sertanejas demonstra seu caráter descontínuo e destacando inúmeras características que a individualizam, tais como suas condições litológicas e uma drenagem mais densa e ramificada.

As cristas têm feições simétricas, com vertentes retilíneas e compridas (SOUZA, 2000). Segundo os autores, em inúmeros setores desta área o padrão de drenagem é retangular com forte controle estrutural. O escoamento nas vertentes das cristas residuais é intermitente sazonal, superficial e segue um padrão dendrítico e subdendrítico. As Cristas Residuais derivam do trabalho de erosão diferencial em setores de rochas muito resistentes, ocasionando a elaboração de relevos rochosos ou com solos muito rasos, declives íngremes e fortes limitações ao uso agrícola (Figura 10).



Figura 10 – Evidência do complexo granítico. Entorno do açude Orós – CE.

Fonte: Frota (2011).

Acompanhando a calha do rio Jaguaribe e dos seus tributários locais, desenvolvem-se as planícies fluviais (Figura 11) cujos depósitos aluviais são constituídos por areias finas a grosseiras, incluindo cascalhos e argilas com matéria orgânica em decomposição. A maior parte da área integra a superfície sertaneja antiga que exhibe a ocorrência de relevos forte a moderadamente dissecados.

Particularmente em relação aos depósitos aluviais das planícies, as potencialidades de águas subterrâneas assumem grande significância no contexto dos recursos hídricos locais. Esse fato é particularmente significativo porque ao longo dos vales há expressivo aumento de demanda hídrica em face do maior adensamento demográfico e concentração das atividades agropecuárias.



Figura 11 – Planície fluvial do rio Jaguaribe, Iguatu - CE.

Fonte: Frota (2011).

A planície fluvial representa os modelados de acumulação que correspondem, as áreas essencialmente planas ou levemente inclinadas, contendo principalmente, materiais arenosos, areno-argilosos, argilosos e cascalheiras –depósitos aluviais recentes (Quaternário/Holoceno). Ocupam área restrita, mas de grande importância para a região, principalmente no que diz respeito às práticas econômicas como as lavouras de subsistência e pastagem. Souza (2000) caracteriza-as como áreas planas resultantes da acumulação fluvial sujeitas a inundações periódicas que bordejam as calhas dos rios, atingindo alargamento considerável nos baixos vales.

O limite das planícies com os interflúvios apresenta rampas de baixos declives, correspondendo nos maiores vales aos níveis de terraços. O rio Jaguaribe possui pelo menos três níveis de terraços com alturas médias em torno de 7-12 metros. Os mesmos são mantidos por cascalheiras, com material quartzoso (SOUZA, 2006).

Os solos da área de estudo variam de acordo com o grau de dissecação da Depressão Sertaneja, que pode ser considerada como característica morfológica marcante da área de estudo. Do ponto de vista químico e mineralógico, os solos predominantes apresentam grande potencial, fato que assimila a ocorrência de áreas férteis em meio às ambientes com evidências de degradação ambiental. O que parece antagônico a realidade das áreas degradadas, especialmente pelo fato da retirada indiscriminada da vegetação repercutir na

estrutura do solo, condicionando-os ao maior escoamento superficial, aumento do processo erosivo e perda da fertilidade natural.

Os solos da região são rasos, com baixo teor de matéria orgânica, drenagem limitada, baixa capacidade de infiltração e de retenção de umidade e apresentam grande potencial para a erosão hídrica provocada principalmente pela ocorrência de chuvas de alta intensidade (Figura 12). Os processos de compactação dos solos da área proporcionam alteração no arranjo das partículas do solo aumentando sua densidade e diminuindo o volume de seus poros, chegando a comprometer significativamente a absorção de água pelo perfil do solo.



Figura 12 – Horizonte superficial do solo com destaque para a pedregosidade (a) e perfil para coleta de solo no Distrito de Serrote Grande (b), Orós – CE.

Fonte: Frota (2011).

Conforme observado no campo é possível destacar a variabilidade dos solos na área de estudo, principalmente, do efeito diferencial da erosão geológica, descobrindo camadas distintas, até o limite da exposição das rochas, formando os lajedos de muitas áreas e os pavimentos recobertos de rochas, pedras e pedregulhos. As profundidades vão desde quase nada das superfícies rochosas até camadas de muitos metros e podem ser arrumadas em progressão, dos Neossolos Litólicos, muito rasos, aos de profundidade intermediária, como os Neossolos Flúvicos, os Luvisolos Crômicos.

Há uma grande variação de classes de solos, em função da diversidade litológica do material originário, ocorrendo de acordo com a seguinte topossequência: nas áreas dissecadas em topografias onduladas ocorrem de modo restrito, os Argissolos Vermelho (pouco

profundos, bem drenados, textura argilosa e areno-argilosa, cascalhamento e com fertilidade natural média); nos setores suave-ondulados preponderam os Luviosolos (pouco profundos, bem drenados, textura argilosa e fertilidade natural alta); nos setores de declives acentuados ou de maior incidência das ações erosivas hídricas superficiais, predominam os Neossolos Litólicos, caracterizados como solos rasos, textura arenosa, pedregosos e fertilidade natural média e os afloramentos rochosos (Figura 13); nos setores planos das superfícies pedimentadas, há maior ocorrência de Vertissolos, caracterizados como solos mal drenados, textura argilosa e fertilidade natural alta.



Figura 13 – Utilização do Trado para coleta de Neossolo Litólico no Distrito de José de Alencar, Iguatu – CE.

Fonte: Frota (2011).

As informações apresentadas nos (Tabela 6 e Figura 14) descrevem as características morfo-pedológicas da área de estudo.

Tabela 6 – Classes de solos da Bacia de Drenagem do Açude Orós e suas principais características.

SOLOS	SISTEMA AMBIENTAL	CARACTERÍSTICAS	CONDIÇÕES DE USO	LIMITAÇÕES
Neossolos Flúvicos	Planície Fluvial	Solos profundos, mal drenados, textura indiscriminada e fertilidade natural muito baixa	Lavouras de subsistência, arroz e pecuária	Drenagem imperfeita, riscos de inundações, altos teores de sódio, suscetibilidade à erosão. Os usos tornam-se limitados quando submetidos à ocorrência freqüente e prolongada de inundações
Neossolos Litólicos	Depressões Sertanejas; Maciços Residuais	Solos rasos, mal drenados, fertilidade natural média bastante suscetível à erosão, com fases pedregosas	Lavoura de subsistência e pecuária	Pouca profundidade, pedregosidade, relevo acidentado. Apresentam severa restrição ao aprofundamento do sistema radicular das plantas Quando utilizados na atividade agrícola, a erosão é reconhecível por fenômenos fortes na maioria da área e os danos no solo serão rápidos
Argissolos Vermelho	Maciços Residuais, Depressões Sertanejas Dissecadas	Rasos e profundos, textura média ou argilosa, moderadamente ou imperfeitamente drenados, fertilidade natural média a alta	Lavoura de subsistência e pecuária	Relevo fortemente dissecado, drenagem imperfeita, pouca profundidade, impedimento à mecanização. São moderadamente suscetíveis à erosão. A erosão é reconhecível por fenômenos que são moderados no início e que se agravam rapidamente
Luvissolos Crômicos	Depressões Sertanejas fraca a moderadamente dissecadas	Moderadamente profundos, textura média ou argilosa, moderadamente drenados e fertilidade natural alta	Lavoura de subsistência e pecuária	Solos rasos com presença de argilas de alta atividade, dificultando o crescimento de uma vegetação mais arbórea. Suscetibilidade à erosão, pedregosidade, impedimento à mecanização
Vertissolos Háplicos	Interflúvios das Depressões Sertanejas	Solos em geral argilosos e muito argilosos, com drenagem imperfeita e permeabilidade lenta. São solos desenvolvidos a partir de sedimentos aluviais argilosos, relacionados ao Holoceno	Arroz, milho, feijão e pecuária	Quando úmidos, apresentam elevadas plasticidade e pegajosidade, resultando em fortes restrições ao uso da mecanização. Quando secos, são extremamente firmes e muito duros, resultando no fendilhamento desses solos que pode provocar a ruptura das raízes das plantas cultivadas

Fonte: Adaptado de Souza (2000).

Quanto às características geológicas do substrato rochoso, pode-se observar que os solos retêm quantidades mínimas de águas de chuvas, as quais logo se escoam e se evaporam. Por isso, há escoamento nos rios e riachos somente nos períodos chuvosos. Fora da estação das chuvas os leitos dos rios permanecem secos, onde, às vezes, encontram-se em seus cursos pequenos poços ou lagoas decorrentes de soleiras ou depressões naturais, os quais, por sua pouca profundidade, se evaporam rapidamente.

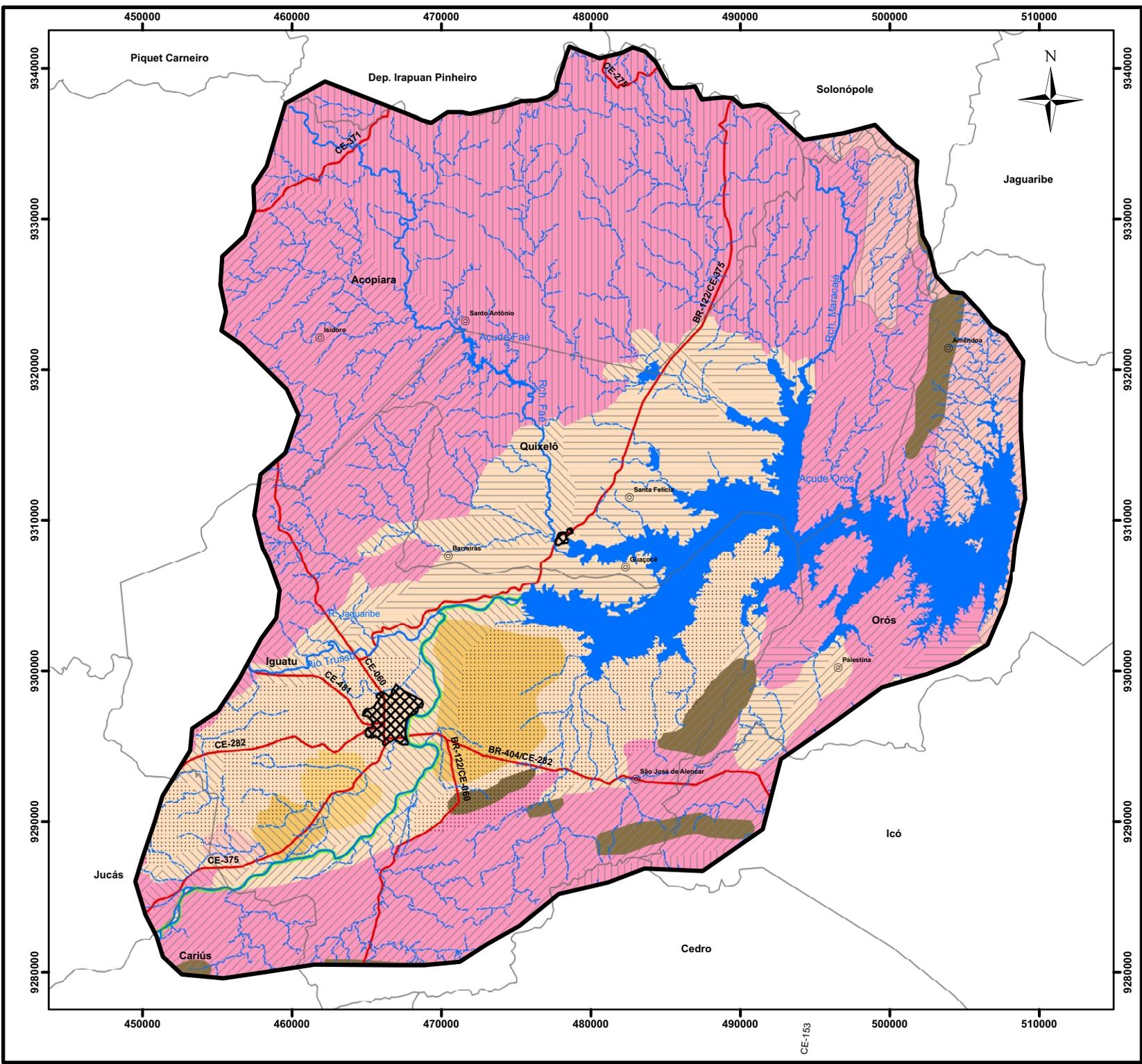
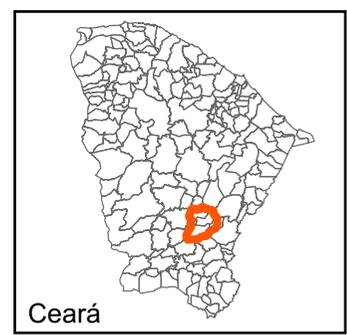


Figura 14 - Mapa Morfo-Pedológico da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

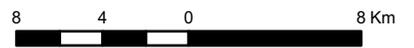
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

- Planície Fluvial
- Tabuleiros Interiores
- Cristas Residuais
- Depressão Intermontana com cobertura Sedimentar
- Superfície Pediplanada
- Depressão Sertaneja Pediplanada Moderadamente Dissecada

Solos

- Neossolo Flúvico
- Argissolo Vermelho
- Neossolo Litólico
- Luvissoilo Crônico
- Vertissolo



1:250.000

Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



A área de estudo está inserida na sub-bacia do Alto Jaguaribe localizada na porção sudoeste do Estado do Ceará. Das cinco sub-bacias que compõem a bacia do rio Jaguaribe (Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, Banabuiú e Salgado) é a que possui maior região hidrográfica, sendo, também, a maior do Estado, apresenta grande capacidade de acumulação em termos de águas superficiais no Estado do Ceará, com um total de 4.604 reservatórios, destes, 537 possuem área superior a 5 ha (CEARÁ, 2009).

O Jaguaribe, principal rio do Estado do Ceará que percorre um trajeto aproximado de 633 km, desde as suas nascentes na Serra da Joanhina – no município de Tauá – até a sua foz no Oceano Atlântico. Sua bacia drena uma área correspondente a 48% do Estado do Ceará – beneficiando 81 municípios – perfazendo um total de 72.043 km². Por sua vez, a Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe, localizada a montante do açude Orós, drena uma área de 24.636 km². O rio Jaguaribe, nesta região, possui uma extensão aproximada de 325 km, e têm declividades que variam de 0,03% a 2,50%, sendo a declividade média de 0,06% (IPECE, 2010).

O açude Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, ou açude Orós, foi construído na área correspondente as cidades de Quixelô, Iguatu e Orós, todas localizadas no Estado do Ceará, região nordeste do Brasil. O açude encontra-se no alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (RADAMBRASIL, 1981). O Orós (Figura 15) é o maior reservatório localizado no Alto Jaguaribe, sua contribuição como fonte hídrica nesta bacia é insignificante, por se encontrar no trecho final, constituindo-se como importante fonte hídrica para o Médio e Baixo Jaguaribe, garantindo a perenização do rio Jaguaribe até atingir o açude do Castanhão, além de contribuir também para o açude Lima Campos, na bacia do Salgado (CEARÁ, 2009).

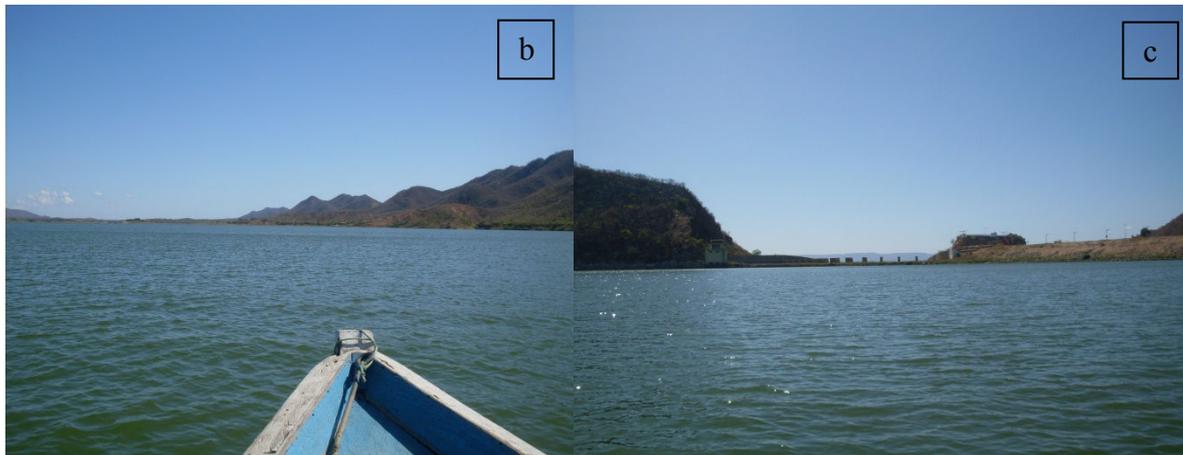


Figura 15 - Barragem do Açude Orós - CE (a), rio Jaguaribe, à jusante da barragem, tem o seu fluxo regularizado no período de estiagem pela água liberada do açude (b e c).

Fonte: Frota (2011).

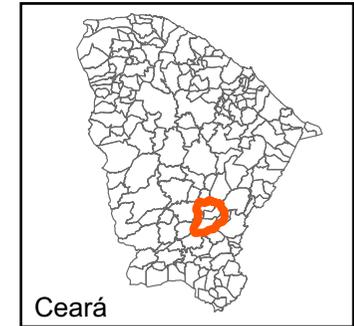
As cidades de Quixelô e Iguatu apesar da proximidade do açude Óros, seu abastecimento é de competência de dois açudes Trussu e Faé. O município de Iguatu é abastecido pelo o açude Trussu, atende diretamente cerca de 54.000 pessoas, liberando uma vazão media de $1,64 \text{ m}^3/\text{s}$. A cidade de Quixelô é atendida pelo açude Faé liberando uma vazão regulada de $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ atendendo cerca de 15.000 pessoas. O Orós ainda atende estas cidades de forma indireta, pois as mesmas estão localizadas em suas margens beneficiando-se de suas águas, principalmente para lazer e agricultura.

A área de estudo está situada na porção semiárida do Estado. O regime pluviométrico da bacia como e grande parcela do estado, se caracteriza por uma elevada variabilidade

espacial e temporal; portanto, a principal limitação com relação à pluviometria na região é em decorrência muito mais da irregularidade do regime do que da altura pluviométrica anual. O caráter convectivo da precipitação é representado pela concentração espacial e os poucos eventos com elevada intensidade. As chuvas caracterizam-se por serem de altas intensidades em curtas durações, enquanto que para as áreas situadas no litoral cearense, normalmente as chuvas apresentam longa duração, contribuindo para os valores de intensidades em eventos de maior duração (RODRIGUES et al., 2008).

Grande parcela da influência sobre a área de estudo que correspondente à depressão sertaneja (sertão), deve-se ao maior aquecimento do continente em relação ao oceano. Os parâmetros climáticos da área são marcados por elevados coeficientes térmicos e com baixas amplitudes entre máximas e mínimas de temperaturas; baixa nebulosidade que é praticamente ausente durante a estação seca; forte insolação, com implicações nas taxas elevadas de evaporação e de evapotranspiração. A irradiação solar é alta, girando em torno de 2.640 h/ano. Por sua localização próxima à linha do Equador, a incidência de raios solares é praticamente uniforme durante o ano. As chuvas, que são fortes e concentradas, em combinação com a vegetação de caatinga aberta arbustiva, decídua, facilitam os processos erosivos (Figura 16).

Figura 16 - Mapa de Precipitação Anual da Bacia de Drainagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

-  Rodovias
-  Sedes Municipais
-  Sedes Distritais
-  Divisão Municipal
-  Rios e Riachos
-  Açudes

Legenda

Precipitação (mm)

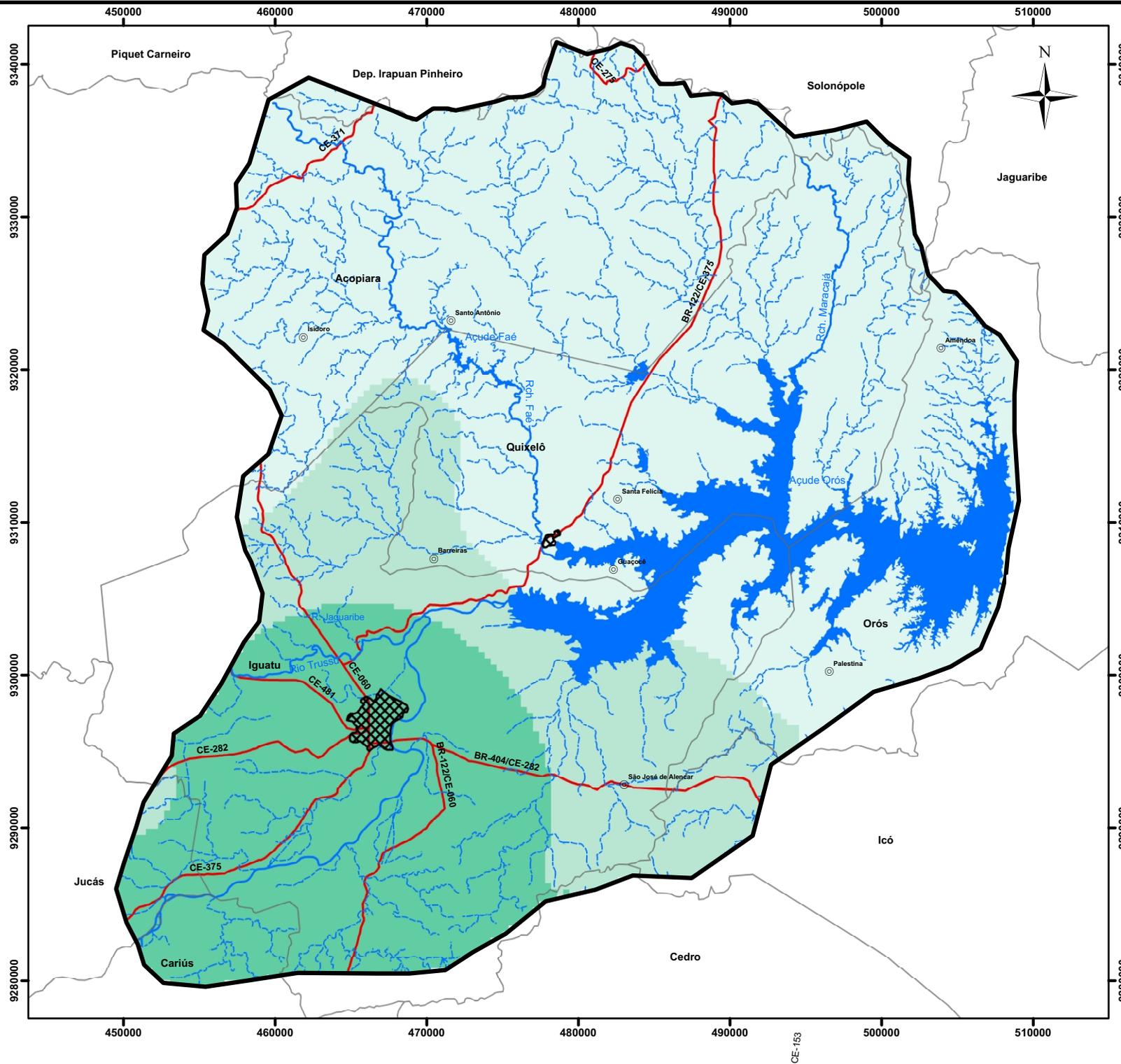
-  778 - 855
-  856 - 921
-  922 - 1040



1:250.000

Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



A concentração dos maiores níveis pluviométricos apresentam-se no primeiro semestre, onde foram identificadas as máximas de precipitação para região, fato que irá influenciar diretamente no potencial erosivo da chuva e a sua relevância para o ordenamento das atividades socioeconômicas na região. O segundo semestre da área de estudo é marcado pela estação seca. Neste momento a demanda por água nos reservatórios fica acentuada, e a atividade de sequeiro comum à região é ditada pelos rigores da estação.

O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é BSw'h', semiárido quente com chuvas de verão e outono. A temperatura média é de cerca de 27°C, com máxima de 34°C e mínima em torno de 22°C. Os índices pluviométricos mais baixos ocorrem nas áreas da Depressão Sertaneja e dos Maciços Residuais secos. A Figura 17 apresenta a média mensal de precipitação da área de estudo a partir das médias anuais de cada posto pluviométrico.

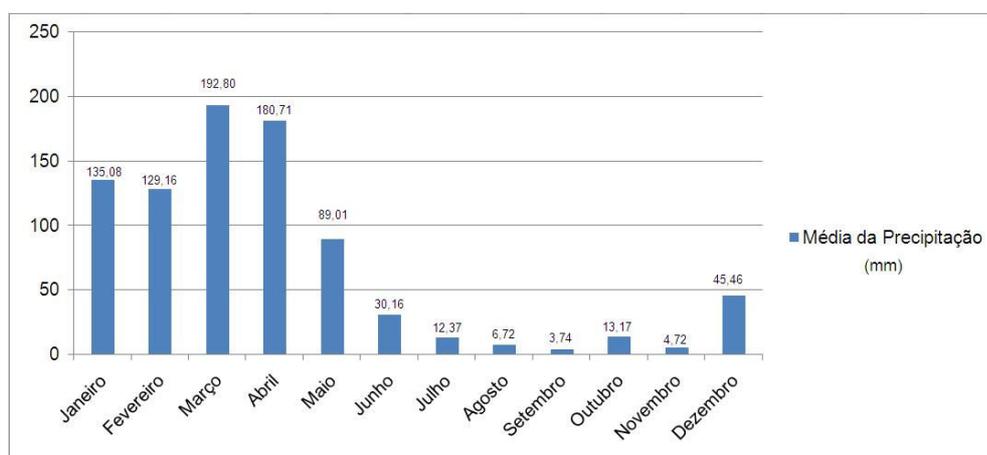


Figura 17 – Gráfico da Média Mensal de Precipitação da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

Santos et al., (2007) ressaltam o importante papel que a cobertura vegetal pode desempenhar no controle das perdas de água por escoamento superficial, principalmente, quando considerada a irregularidade temporal e espacial das chuvas na região semiárida do Nordeste do Brasil.

Devido ao quadro climático de semi-aridez, o caráter xeromórfico é dominante na caracterização das unidades fito-ecológicas da área de estudo. A cobertura vegetal é constituída pela caatinga hiperxerófila, constituída de formações arbóreo-arbustivas que

possuem, como principal característica, a caducidade foliar. São formações lenhosas, com elevado grau de xerofilismo, predominantemente arbustiva, pouco densa, com espécies de porte baixo, espinhentas e perdendo totalmente as folhas no decorrer da estação seca.

A Caatinga encontra-se sobre as depressões sertanejas e partes mais rebaixadas dos maciços residuais que não dispõem de disponibilidade hídrica satisfatória (SANTOS, 2006), ocupando setores com níveis altimétricos em torno dos 400 metros de altitude. Torna-se importante salientar que as condições climáticas são as principais responsáveis pela formação desta unidade fitogeográfica. Medeiros et al., (2009) destaca o caráter xerófilo da vegetação na região, ilustrando seu aspecto bastante diferente nos períodos seco e úmido (Figura 18).



Figura 18 – Vegetação no período seco (a) e no período chuvoso (b) no entorno do Açude Orós - CE.

Fonte: Frota (2011).

Os tipos predominantes de vegetação são a Caatinga Arbórea (maior área da bacia) e a Caatinga Arbustiva Densa (microrregião de Iguatu). A vegetação é relativamente escassa e dispersa, à exceção do sul da sub-bacia, onde a vegetação mais adensada e as rochas sedimentares favorecem a infiltração das águas precipitadas, cujas quantidades aumentam em direção leste, aumentando-se também a drenagem superficial (FUCK JÚNIOR, 2008).

A relação da cobertura vegetal com as características pedológicas é expressa através da análise das condições de erodibilidade das associações de solos presentes na região. As áreas de Argissolos e Luvisolos Crômicos eram revestidas por caatinga arbórea e matas secas, exibindo uma grande variedade de espécies arbóreas. Nas sucessões ecológicas, a

vegetação foi fortemente degradada, comprometendo a qualidade dos solos e dos demais recursos naturais renováveis. A caatinga arbustiva ou arbóreo-arbustiva recobre Neossolos Litólicos e os Vertissolos Háplicos e principalmente Neossolos Flúvicos das planícies fluviais são revestidos parcialmente pelas matas ciliares (Figura 19), onde há grande frequência da oiticica (*Licania rígida Benth*) e carnaúbas (*Copernícia prunífera*).



Figura 19 - Mata ciliar bordejando as margens do rio Jaguaribe (a) e palmeiras de carnaúba, típica da planície fluvial (b).

Fonte: Frota (2011).

Na bacia de drenagem do açude Orós predomina a fisionomia caracterizada como Caatinga arbóreo-arbustiva alta aberta com ocorrência marcante de espécies das famílias Mimosaceae e Euphorbiaceae. Esta fisionomia apresenta predominantemente arbustos com altura variando de 5 a 7 metros, relativamente esparsos, ocorrendo também algumas árvores com alturas entre 8 e 10 metros, dependendo da prevalência do sistema de cobertura em razão da fertilidade ou riqueza ecológica do espaço sertanejo. Apesar da composição das Caatingas desses dois estratos arbóreos e arbustivos, é importante salientar a ocorrência de tapetes herbáceos, geralmente de caráter efêmero, que ocupam muitos espaços na região Semiárida.

As principais unidades fitoecológicas da área de estudo são representadas: Fruticeto Estacional Caducifólio Xeromórfico (Caatinga Arbustiva); Arboreto Climático Estacional Caducifólio Xerofílico (Caatinga Arbórea); Arboreto Climático Estacional Semi-caducifólio Mesomórfico (Mata Seca); Arboreto Edáfico Fluvial (Vegetação de Várzea). Com base em levantamentos da flora realizados por Alves (2008) e Lopes (2008), a estrutura de cobertura vegetal encontrada na área é formada por espécies vegetais herbáceas, principalmente *Hyptis*

sauaviolens (L.) point (banbural), *Hyptis* sp. (melosa) e *Cróton* SP (velame); e espécies vegetais de caráter arbustivo e arbóreo como *Aspidosperma pyriforme* Mart (pereiro), *Croton sonderianus* Muell.Arg (marmeleiro) (Figura 20).

O extrato herbáceo mais desenvolvido em parte da área, tende a atenuar o escoamento, com a redução do impacto direto das gotas da chuva no solo e maior resistência ao fluxo de água (THOMAZ, 2009).



Figura 20 – Principais unidades fitoecológicas da Bacia de Drenagem do Açude Orós-CE. Respectivamente representadas pela (a) Catingueira e (b) Mameleiro.

Fonte: Frota (2011).

A maioria das espécies da caatinga adapta-se tanto nas regiões secas como nas úmidas, isso porque a maioria das espécies lenhosas é muito mais condicionada pela existência de um período de déficit hídrico. As espécies lenhosas e sublenhosas são relativamente pouco numerosas, embora sejam dotadas de grande amplitude. Elas são encontradas sob condições climáticas e edáficas bastante variadas. A caatinga apresenta certa homogeneidade florística, onde as diferenças são resultantes de variações nas proporções relativas das espécies características. As variações são na maioria dos casos, causadas pelas atividades humanas diretas ou indiretas e/ou pelas condicionais estacionais severas, sobretudo ligadas aos solos.

De acordo com a proposta de Creutzfeldt (2006) é possível apresentar a seguinte classificação para região:

Caatinga arbórea-arbustiva conservada: vegetação decídua que consiste em uma mistura de árvores, arbustos e cactáceas, com galhos ramificados e espinhosos. Geralmente,

essa classe pode ser dividida em estratos arbóreo (4 a 5 m), arbustivo (0,5 a 3 m) e herbáceo, assumindo-se uma altura média de 3,8 m. Ocorre em áreas com relevo plano a fortemente ondulado;

Caatinga arbórea-arbustiva degradada: fisionomia igual à classe anterior, porém com vegetação mais esparsa. O estrato arbóreo não é tão distinto e a altura média da vegetação é estimada em 2,6 m. Essa vegetação representa a transição entre Caatinga arbórea-arbustiva conservada e as classes de agricultura e agropecuária e ocorre principalmente em áreas de relevo ondulado;

Mata Seca: também denominada Floresta Estacional Caducifólia, corresponde a uma vegetação densa com altura média entre 4 e 5 m. Consiste em uma camada arbórea mais ou menos densa, uma camada arbustiva parcialmente impenetrável e, em alguns locais, uma camada herbácea. Ocorre em áreas com relevo fortemente ondulado, com vales estreitos e vertentes íngremes;

Mata Ciliar: são ambientes que apresentam melhores disponibilidades hídricas e de solos. Possuem uma vegetação de porte predominantemente herbáceo, composta de vegetação rasteira. As matas ciliares bordejam as calhas fluviais, possuindo solos mais férteis e apresentando maior potencial hídrico. As matas ciliares exercem importante papel na proteção dos cursos d'água contra o assoreamento e a contaminação com agrotóxicos, além de se constituir nos únicos remanescentes florestais de muitas propriedades rurais sendo, portanto, essenciais para a conservação do solo e da fauna silvestre e aquática (MARTINS, 2001).

A cobertura vegetal é um fator importante na tomada decisão de um manejo adequado da bacia hidrográfica, visto que influenciam a precipitação efetiva, escoamento superficial e fluxo de água no solo, dentre outros. No caso da Caatinga, estima-se que o período mínimo de pousio é aproximadamente 45 anos, com sequência sucessional de três anos para a dominância das herbáceas, 19 anos para os arbustos, mais 15 anos para um complexo arbustivo-arbóreo, quando então se verifica a supremacia das árvores a qual se completa após cerca de 10 anos. Porém, em extensas áreas do sertão cearense, o período de repouso está abaixo de 10 anos (período de dominância dos arbustos), não havendo tempo suficiente para a recuperação do solo e da vegetação. A redução no tempo de pousio promove maior exposição do solo a erosão, a perda da biodiversidade florística e faunística e consequente queda dos índices de produção agrícola.

O processo histórico de ocupação da área de estudo está diretamente vinculado às atividades da pecuária bovina ultra-extensiva e ao extrativismo vegetal, no que concerne à exploração dos recursos vegetais. Um inicial aproveitamento das pastagens nativas e arbustos forrageiros foram acompanhados por seguidos desmatamentos e queimadas com o objetivo de ampliação das áreas pastoris, o que contribuiu para uma progressiva degradação da cobertura vegetal original (Figura 21).



Figura 21 – Retirada da vegetação da Área de Preservação Permanente do Açude Orós para cultivo de lavoura de subsistência (a) e desmatamento nas margens do Açude Orós - CE (b).

Fonte: Frota (2011).

A área de estudo tem porções abrange parte dos municípios de Iguatu, Quixelô, Acopiara e Orós. A população dos municípios com território na área de estudo é predominantemente urbana com exceção para Quixelô e Acopira. É possível observar que a maior densidade demográfica encontra-se no município de Iguatu o que pode ser explicado pela grande concentração de serviços urbanos (Tabela 7). O município que apresentou um maior acréscimo à população urbana nos últimos dez anos foi Quixelô, que assim como os demais municípios do Semiárido Cearense, apresentam vulnerabilidades decorrentes da ausência de políticas públicas voltadas o desenvolvimento socioeconômico destas regiões.

Tabela 7 – Indicadores Demográficos dos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

MUNICÍPIOS	2000 (%)		2010 (%)		DENSIDADE DEMOGRÁFICA	POPULAÇÃO RESIDENTE
	URBANA	RURAL	URBANA	RURAL		
Acopiara	47,16	52,84	49,31	50,69	22,70	51.160
Iguatu	72,84	27,16	77,34	22,66	94,87	96.495
Quixelô	26,71	73,29	32,86	67,14	25,72	15.000
Orós	71,74	28,26	74,91	25,09	37,12	21.389

Fonte: IPECE (2010).

Em relação aos dados socioeconômicos foram tabulados aqueles sobre o Produto Interno Bruto dos Municípios sistematizados IPECE (2010). Os indicadores trabalhados foram os setores da agropecuária, serviços e indústria (Tabela 8).

Tabela 8 – Produto Interno Bruto dos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

MUNICÍPIOS	AGROPECUÁRIA	INDÚSTRIA	SERVIÇOS
Acopiara	14,10	11,87	74,03
Iguatu	6,63	16,53	76,83
Quixelô	23,44	10,93	65,63
Orós	14,16	10,79	75,05
Estado do Ceará	7,06	23,61	69,33

Fonte: IPECE (2010).

Os municípios de Quixelô e Acopiara são os que expressam maior concentração do PIB na atividade agropecuária, seguidos de Orós e Iguatu que apesar de muitas propriedades situadas nas margens do reservatório, tem seu PIB associado às atividades do setor de serviços. É importante destacar que a agropecuária que representa o quadro atual na área e é caracterizada por uma atividade de subsistência.

Índice de Desenvolvimento Municipal foi criado com a finalidade de disponibilizar, principalmente sob a forma de previsões, informações confiáveis pertinentes às áreas de meteorologia, produção agrícola e meio ambiente, de modo a permitir a adoção antecipada de

ações voltadas a soluções temporárias e permanentes dos problemas decorrentes das irregularidades climáticas, nas localidades afetadas por esses eventos. O Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) do ano de 2008 define o nível geral de desenvolvimento dos municípios, incorporando aspectos geográficos, sociais e econômicos. Entre os municípios da região de estudo, destaca-se Iguatu com a décima terceira colocação no *ranking* do Estado e com a primeira entre os municípios da mesorregião centro-sul (Tabela 9).

Tabela 9 – Índice de Desenvolvimento (%) dos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem Hidrográfica do Açude Orós – CE.

MUNICÍPIOS	IDH (2000)	IDM (2008)	POSIÇÃO NO RANKING (IDM)
Acopiara	0,597	21,53	149
Iguatu	0,692	44,01	13
Quixelô	0,592	22,03	146
Orós	0,627	30,01	69

Fonte: IPECE (2010).

Na região em estudo já se observa a ocorrência de famílias pluriativas, com um número diversificado de possibilidades, tais como: atividades comerciais desenvolvidas no interior das residências, mobilidade entre os municípios com a População Economicamente Ativa (PEA) trabalhando em empresas da sede do município de Quixelô e/ou em Iguatu; concentração de empregos na esfera pública municipal e as práticas agropecuárias que ainda empregam grande parte dos aposentados.

Predomina a agricultura de sequeiro, especialmente com ausência de práticas de conservação do solo, com áreas de agricultura irrigada em sua várzea e com criação de gado, caprinos e ovinos. A principal atividade é a agricultura, com cultivos predominantemente de feijão e milho, que justifica a concentração humana próxima aos cursos d'água; além da pecuária extensiva, predominantemente a caprinocultura (Figura 22). As duas atividades são executadas com baixo aporte tecnológico, de maneira rudimentar, e deste modo exercem forte pressão sobre o suporte físico da área de estudo.



Figura 22 – Pastagem em Área de Preservação Permanente do Açude Orós utilizada pela pecuária bovina (a) e criação de caprinos (b)

Fonte: Frota (2011).

De uma maneira geral, os rebanhos sejam bovinos, ovinos ou caprinos são pequenos. As condições climáticas adversas não garantem nem alimentação suficiente, nem água mantendo-se assim o efetivo do rebanho num certo estado de equilíbrio com o meio. Possui distribuição generalizada por toda a área da bacia em função de três características principais: a vegetação da Savana Estépica (Caatinga) é por tradição histórica um meio natural de criação de gado; o enraizamento cultural na região do sistema de produção tradicional em que a criação convive paralelamente com a agricultura; a caatinga é encontrada, ainda hoje, em maiores ou menores áreas em toda a extensão da bacia, visto que a seca limita a expansão de espaço agrícola ou pecuário (ARAÚJO et al., 2005; 2006).

Desta forma, é importante mencionar que a agricultura itinerante deixou a única atividade econômica que resulta da formação e ampliação das áreas degradadas, principalmente nas encostas, onde a erosão arrastou parte dos solos já originalmente rasos e a retirada de nutrientes, sem reposição, reduziu a capacidade de produção nos anos de boas chuvas. As baixas produtividades têm levado ao abandono gradativo desse tipo e agricultura nas áreas menos favorecidas, cedendo lugar à pecuária e à produção de lenha, que têm se expandido.

A lavoura de subsistência é uma atividade tradicional em grande parcela da área estudada, a mesma é primordial para a sobrevivência do sertanejo, vem sendo praticada indiscriminadamente desde as primeiras ocupações do sertão cearense. A agricultura de sequeiro, com o plantio de feijão, milho, vai se localizar preferencialmente nas áreas de Neossolos Litólicos e Luvisolos compreendendo os sistemas ambientais da Depressão

Sertaneja com feições planas e suavemente onduladas com destaque para as grandes áreas no município de Acopiara. Já a mandioca, outra cultura que faz parte da lavoura de subsistência, ocorre principalmente nas áreas de solos profundos e de textura arenosa, como os Neossolos Flúvicos, que compreende o sistema ambiental das Planícies Fluviais que acompanham os diversos rios e riachos afluentes do rio Jaguaribe.

Em razão das técnicas rudimentares utilizadas, como as queimadas (Figura 23) a lavoura de subsistência provoca grande impacto ao meio natural, em razão, sobretudo da retirada da vegetação natural, dando lugar aos campos de cultivo.



Figura 23 – Queimadas frequentes na Área de Preservação Permanente do Açude Orós com o objetivo de “limpar” o terreno para pasto e introdução de lavoura de subsistência.

Fonte: Frota (2011).

A classe de uso predominante no entorno do açude Orós é a de pastagem natural ou com manejo, e a maior parte desta classe encontra-se nos municípios de Quixelô e Iguatu. A intensificação das queimadas para as atividades agropecuárias e construção de residências ocasiona, vários impactos negativos, como a degradação dos horizontes superficiais dos solos, o aumento do assoreamento e vai implicar diretamente no aumento do processo erosivo na região.

Na bacia de drenagem do açude Orós a produção de lenha, com cortes repetidos em ciclos demasiado curtos, em algumas áreas mais críticas como o entorno de grandes centros

consumidores, está reduzindo a diversidade. O desaparecimento de espécies pode levar a períodos de carência de alimentos para alguns grupos de animais e à drástica redução de suas populações com pode ser observado através da retirada da vegetação de forma indiscriminada em alguns trechos da área (Figura 24).



Figura 24 – Degradação ambiental representada por queimadas (a) para abertura de novas áreas de pastagem deixam o solo sem a proteção da cobertura vegetal (b) e construções nas margens do Açude Orós – CE. (c e d).

Fonte: Frota (2011).

O uso e ocupação tradicional na área de estudo (Figura 25), no passado era mais rotativo, devido ao tamanho das propriedades, o que permitia maior período de pousio, beneficiando os ecossistemas manejados, tornou-se quase impossível de continuar a ser realizado, devido a séculos de repartição das propriedades por herança entre os familiares, fazendo com que a pressão sobre este meio ficasse cada vez mais elevada, acarretando na maior intensificação do uso dos solos e da vegetação nativa. Os principais cultivos dos municípios da região são o algodão, arroz, cana-de-açúcar, feijão, mamona e milho. Segundo

IPECE (2010) as áreas de cultivo de arroz (Figura 26) ocupam 24 % da Área de Preservação Permanente do Açude Orós.



Figura 25 – Área de rizicultura, município de Iguatu – CE (a) e solo encharcado, na área de agricultura de vazante (b)

Foto: Frota (2011).

Além do desmatamento para dar lugar às lavouras principalmente, observa-se também que a área, após alguns anos de plantio, é abandonada em razão da sua baixa produtividade, ficando assim o solo sem proteção, exposto às condições climáticas mais adversas, indo desde secas prolongadas em alguns casos, ou ainda as grandes enxurradas em outros anos. Com os desmatamentos, há uma diminuição da matéria orgânica e uma redução na proteção aos horizontes superficiais do solo. Esse fato leva a uma modificação nas propriedades físicas do solo e a uma menor capacidade de retenção de umidade e de nutrientes que afeta diretamente os processos pedogenéticos e resulta no predomínio das ações morfogenéticas, conduzindo a uma modificação e intensificação desses processos, operando impactos, às vezes irreversíveis, sobre o ambiente em função dos desequilíbrios ecológicos. A ecodinâmica tende às condições fortemente instáveis com possibilidades para condições que configuram níveis diferenciados de degradação e desertificação.

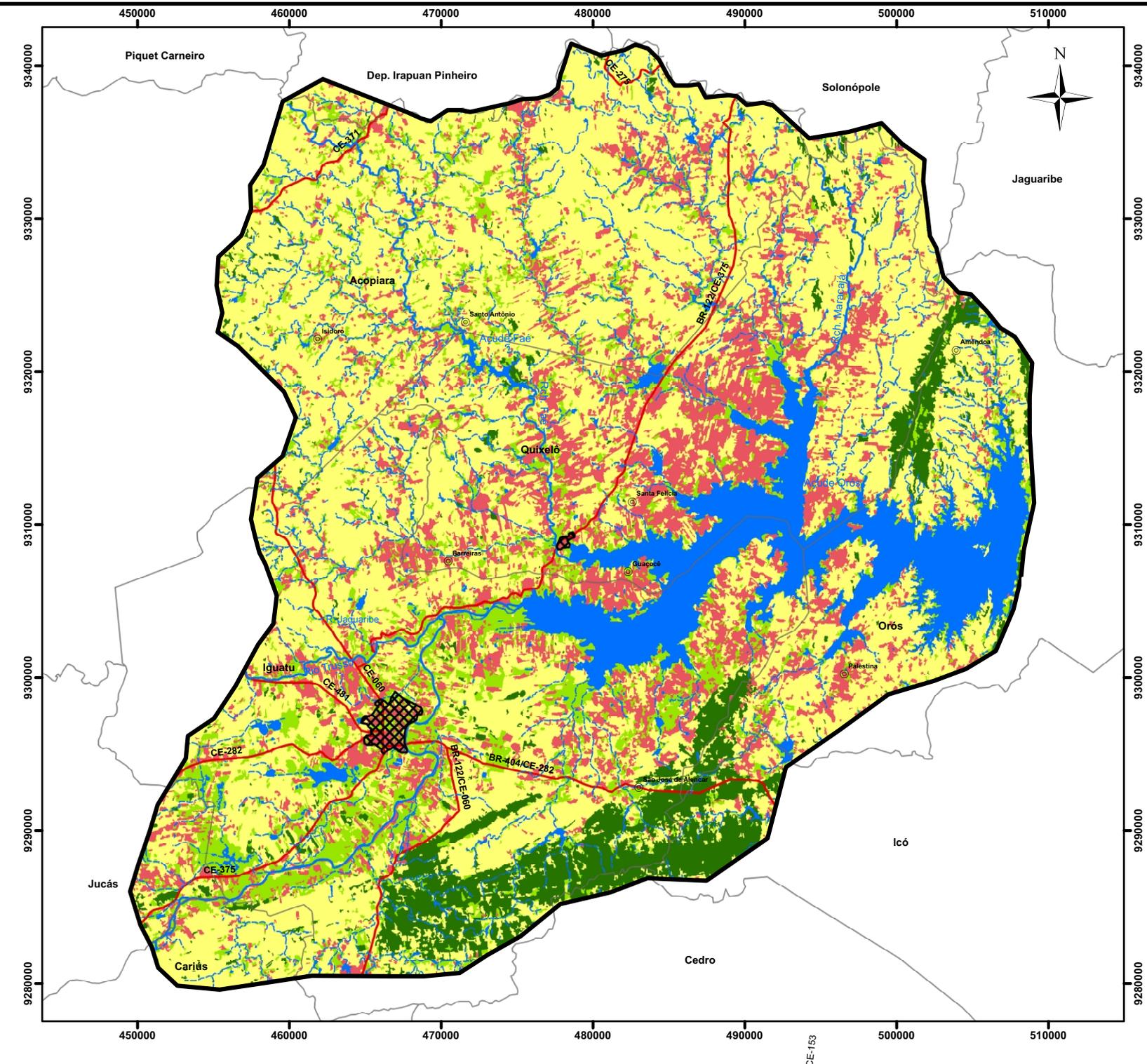
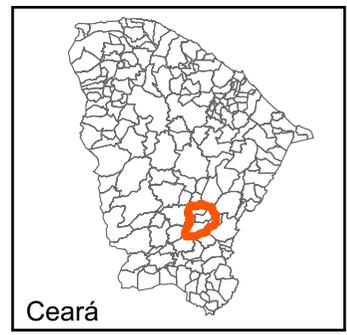


Figura 26 - Mapa de Uso e Ocupação da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

- Água
- Capoeira
- Mata ciliar
- Solo exposto
- Vegetação natural



1:250.000

Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



3.2 MÉTODO

A erosão laminar é causada pelo escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo (MOLINERO, 2007). São pouco visíveis os sinais desta erosão, porém perceptíveis com o aumento da turbidez da água do rio e da enxurrada (GONSÁLVEZ, 2009).

A caracterização do potencial de erosão como indicador de fragilidade ambiental, foi conduzida utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), considerando seus termos que se referem aos parâmetros do meio físico, isto é, os fatores erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K) e o fator topográfico (LS), envolvendo informações sobre declividade e direção de fluxo. Conforme mencionado anteriormente a equação utilizada cálculo do Potencial de Erosão é:

$$P = R K LS$$

Onde:

P (Potencial de Erosão) = Fator R (Erosividade) Fator K (Erodibilidade) Fator LS (Comprimento de Rampa e Declividade).

Veja que $PE = R K LS$ (1)

Embora exista dominância de um fator (K, R ou LS) sobre o outro na definição do potencial natural à erosão laminar, no geral ocorre uma razoável interação entre eles. A cada situação um fator pode se sobressair, sem, porém excluir a influência dos demais. As combinações entre K e LS referenciam diretamente as muitas associações possíveis entre os solos e relevos já, o fator R quase nunca é notado com destaque. O substrato rochoso interfere de modo direto, através de sua influência nas formas de relevo e na constituição dos solos. O mapa de Potencial de Erosão foi gerado a partir da conversão dos mapas de erosividade, erodibilidade, extensão de vertentes e declividade.

As rotinas de programação realizadas no *ArcGIS*® versão 9.3 proporcionaram a espacialização dos fatores R, K, LS da EUPS junto ao banco de dados geográfico construído para a área de estudo. O Potencial de Erosão da Bacia Hidrográfica do Açude Orós foi calculado utilizando-se a extensão *Raster Calculator* do *ArcGis* 9.3 e permitiu a elaboração do Mapa de Potencial de Erosão como indicador de fragilidade ambiental a partir parâmetros

do meio físico da EUPS, isto é, o Fator Topográfico (LS), Erosividade (R) e Erodibilidade (K).

Os resultados obtidos ratificam a contribuição das técnicas de Geoprocessamento para a execução dos objetivos sugeridos. A aplicação do modelo matemático em ambiente SIG proporcionou a obtenção de informações eficientes, permitiu a realização de algumas simulações ambientais e a confecção de vários mapas temáticos da área de estudo.

Cálculo da Erosividade (Fator R)

Vários são os parâmetros que podem ser utilizados para estimar a erosividade da chuva; o problema é escolher o mais adequado, uma vez que cada ambiente e evento são únicos nas escalas temporal e espacial e, conseqüentemente, a erosão varia de diferentes maneiras. A taxa de perda de solo tende a aumentar com o aumento da erosividade da chuva, especialmente em solos degradados por longo tempo (ZOLDAN JUNIOR, 2006). Os fatores determinantes da erosão como o poder erosivo da chuva, podem ter maior influência sobre as perdas de solo do que o próprio escoamento.

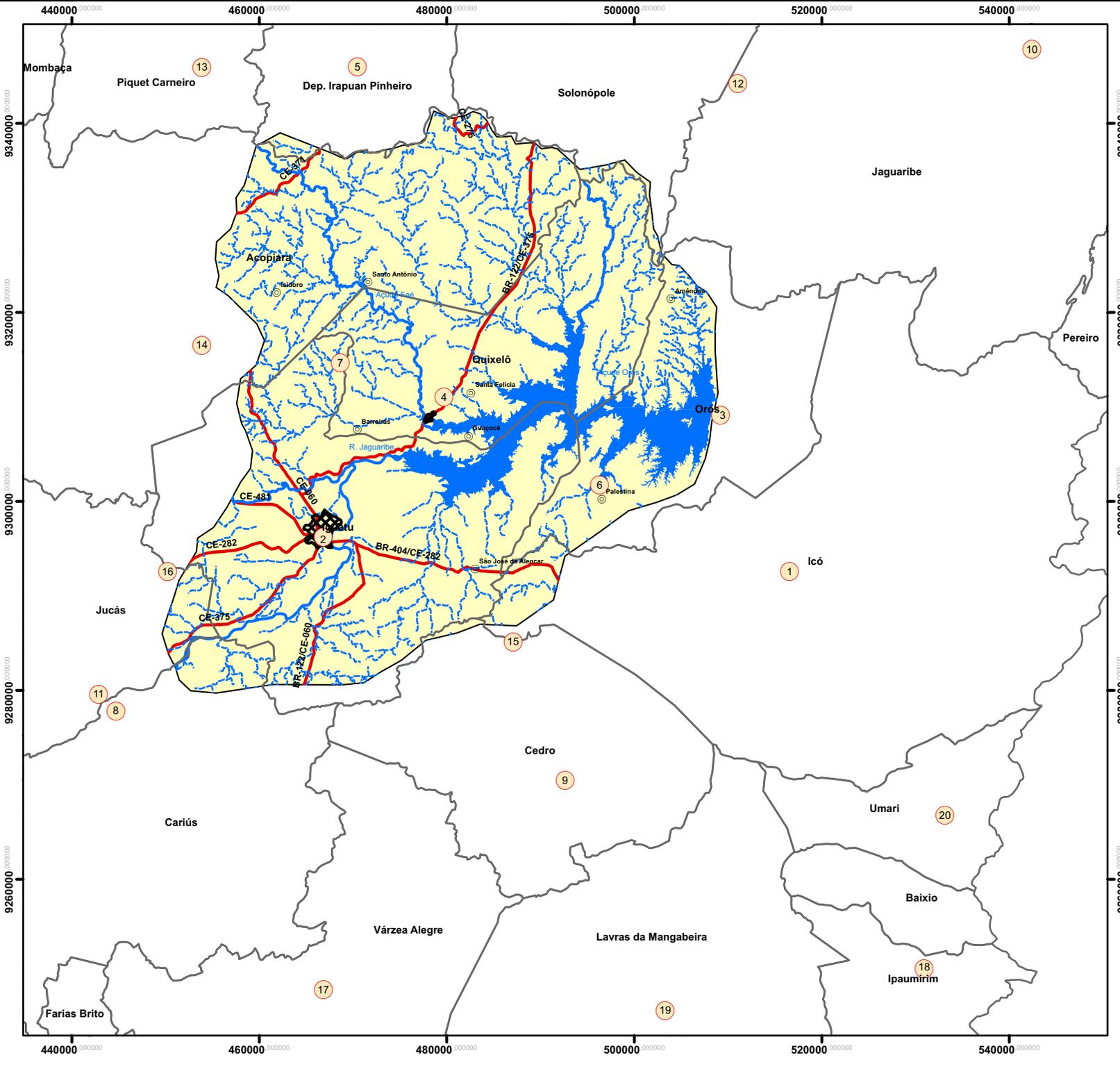
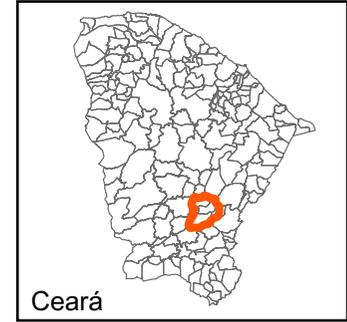
Segundo Crepani et al., (2001) a média da pluviosidade anual da região Nordeste varia entre 300 a 2000 mm, com duração do período chuvoso de 1 a 3 meses e com intensidade mensal que varia de 100 a 2000 mm. No período com maiores chuvas a precipitação pluvial e a sua intensidade ocorrem de forma mais acentuada, característica de chuvas convectivas. As chuvas convectivas são típicas de regiões tropicais e caracterizam-se por serem de grande intensidade e curta duração.

O número e distribuição das estações pluviométricas devem ser compatíveis ao tamanho da área de estudo. Farinasso (2006) utilizaram em sua pesquisa 52 estações pluviométricas para uma área de 133.571 km², o que corresponde a aproximadamente uma estação pluviométrica para cada 2.570 km².

O primeiro passo foi escolha dos postos pluviométricos (Figura 27), considerando as coordenadas geográficas de cada posto. Segundo Wischmeier e Smith (1978), para que se obtenha êxito no cálculo do Fator R faz-se necessário uma análise temporal que englobe um período de 10 a 20 anos, desta forma os dados foram obtidos a partir das estações pluviométricas da FUNCEME (2011) distribuídas por todo o território do Estado, com séries

históricas entre 10 e 20 anos de observações de precipitação pluvial de 24 horas expressas em altura de lâmina d'água (mm), totalizando 20 postos pluviométricos (Figura 27 e Tabela 10) com dados consistentes. Os quais foram avaliados levando-se em conta os valores de precipitação de cada mês da série em cada posto.

Figura 27 - Mapa de Localização dos Postos Pluviométricos da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

- Postos Pluviométricos
- Rodovias
- Área Urbana
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Rios e Riachos
- Reservatórios e Mananciais

Postos Pluviométricos

- ① - Icó - Icó
- ② - Iguatu - Iguatu
- ③ - Orós - Orós
- ④ - Quixelô - Quixelô
- ⑤ - Dep. Irapuan Pinheiro - Dep. Irapuan Pinheiro
- ⑥ - Orós - Palestina
- ⑦ - Iguatu - Riacho Vermelho
- ⑧ - Cariús - Cariús
- ⑨ - Cedro - Cedro
- ⑩ - Jaguaribe - Jaguaribe
- ⑪ - Jucás - Jucás
- ⑫ - Jaguaribe - Nova Floresta
- ⑬ - Piquet Carneiro - Ibicuã
- ⑭ - Acopiara - Caixa
- ⑮ - Cedro - Várzea da Conceição
- ⑯ - Iguatu - Baú
- ⑰ - Várzea Alegre - Várzea Alegre
- ⑱ - Ipaumirim - Ipaumirim
- ⑲ - Lavras de Mangabeira - Iborepi
- ⑳ - Umari - Umari

10 5 0 10 Km

1:400.000

Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).

Tabela 10 – Relação de Postos Pluviométricos, Precipitação e Erosividade (média/anual) da Bacia de Drenagem Açude Orós - CE.

POSTOS			SÉRIE HISTÓRICA	COORDENADAS UTM 24S		ÍNDICES (média/anual)	
Nº	Postos	Municípios	Série dos postos	Long_X	Lat_Y	Precipitação (MM)	Erosividade (MJ.MM/HA.H.ANO)
1	Ico	Ico	1988 – 2010	516587	9292573	798	5.501
2	Iguatu	Iguatu	1988 – 2010	466821	9296214	1044	6.565
3	Orós	Orós	1988 – 2010	509214	9309156	789	5.424
4	Quixelô	Quixelô	1988 – 2010	479722	9311033	800	5.670
5	Dep Irapuan Pinheiro	Dep Irapuan Pinheiro	1988 – 2010	470480	9345961	731	5.358
6	Palestina	Orós	2001 – 2010	496316	9301750	846	5.737
7	Riacho vermelho	Iguatu	2001 – 2010	468658	9314676	861	5.749
8	Cariús	Cariús	1988 – 2010	444720	9277845	962	6.540
9	Cedro	Cedro	1988 – 2010	492627	9270466	986	6.615
10	Jaguaribe	Jaguaribe	1988 – 2010	542428	9347832	718	5.154
11	Jucás	Jucás	1988 – 2010	442872	9279612	956	6.382
12	Nova Floresta	Jaguaribe	2001 – 2010	511068	9344198	821	5.508
13	Ibicua	Piquet Carneiro	2001 – 2010	453876	9345950	822	5.284
14	Caixa	Acopiara	2001 – 2010	453899	9316545	800	5.137
15	Várzea da Conceição	Cedro	2001 -2010	487096	9285167	910	6.049
15	Baú	Iguatu	2001 – 2010	450235	9292554	916	6.153
16	Várzea Alegre	Várzea Alegre	1988 – 2010	466850	9248347	1.031	6.695
18	Ipaumirim	Ipaumirim	1988 – 2010	530940	9250559	964	6.380
19	Iboperi	Lavras da Mangabeira	2001 – 2010	503314 ⁵	9246146	505	3.694
20	Umari	Umari	1988 – 2010	533160	9266808	771	5.304

Fonte: FUNCEME (2011).

Destaca-se que os postos referidos encontram-se distribuídos na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe cujos valores de precipitação média mensal e de duração do período chuvoso foram importados e tratados no editor de planilha do Microsoft EXCEL, onde os dados de cada mês puderam ser agrupados e somados para cálculo das médias e aplicação da fórmula. Foram executados os seguintes procedimentos:

- Para as estações pluviométricas que apresentaram “mês” sem coleta foi feita uma média entre valores coletados em períodos equivalentes para que a lacuna fosse preenchida;
- Com a planilha calcularam-se os valores médios de precipitação mensal e posteriormente à precipitação média anual.

Os valores de ‘P’ foram obtidos através do somatório dos ‘r’. Por meio da Equação $EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85}$, aplicando-se os valores de ‘r’ e ‘P’, calculou-se o EI mensal da série de cada estação. A soma dos valores mensais de EI forneceu a erosividade (R) de cada estação. Com os dados de (R) das estações, utilizou-se o software ArcGis 9.3 para a interpolação das informações.

Os valores de erosividade obtidos foram usados para confecção do Mapa de Erosividade (R) da Bacia de Drenagem do Açude Orós, foram obtidos seguindo os seguintes procedimentos:

- a) alocação dos valores de R dos diversos postos pluviométricos em um mapa de divisão municipal da bacia, considerando as coordenadas geográficas de cada posto;
- b) para traçado das isolinhas foram estabelecidos quatro (4) intervalos de igual amplitude considerando-se os valores mínimo e máximo obtidos para R.

Por interpolação a partir dos valores limites dos intervalos de classes de R consideradas foram traçadas as linhas isoerosivas. Os valores médios mensais da precipitação e do índice de erosividade foram expressos no mapa com o valor médio anual da precipitação e do índice de erosividade, em função do tempo para os 18 postos pluviométricos da bacia.

O mapa de Fator R foi gerado no SIG *ArcGis* 9.3, com distribuição espacial das estações (coordenadas UTM das estações) e seus respectivos valores de erosividade. A interpolação dos valores que representam a variação espacial da erosividade foi gerada na extensão *Spatial Analyst*, obtendo como resultado um arquivo matricial, a ser utilizado na geração do mapa final de perda de solo.

Cálculo da Erodibilidade (Fator K)

A erodibilidade do solo é um atributo intrínseco de cada solo e expressa a resistência do solo à erosão hídrica, sendo dependente, entre outros fatores, dos atributos mineralógicos, químicos, morfológicos e físicos deste. A erodibilidade representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo, em relação aos processos erosivos. A forma empírica de obtenção de K faz com que seja necessária a calibração desses valores para diferentes solos e regiões. Em decorrência disso, há grande interesse no desenvolvimento de métodos indiretos de estimativa dessa propriedade dos solos a partir de dados de mais fácil obtenção.

Foram utilizadas coletas de amostras de solo em quatro pontos (Figura 28) distribuídos nos quatro tipos de solos (Argissolo, Neossolos, Luviossolo e Vertissolo) entre os meses de julho e outubro de 2011. Com auxílio de mapa e GPS, os pontos foram georreferenciados (Tabela 11).

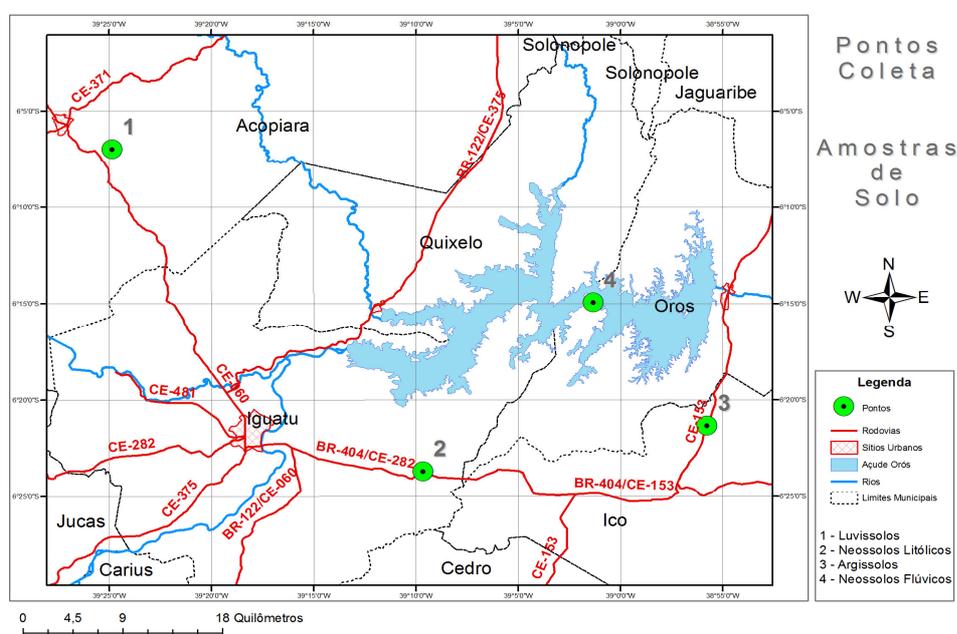


Figura 28 – Pontos de amostragem da coleta de solos na área de estudo.

Tabela 11 - Pontos amostrados georreferenciados (UTM, SAD 69, Zona 24S) na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

PONTOS	MUNICÍPIO	LONG_X	LAT_Y	ALTIMETRIA (M)
Pau de Leite	Acopiara	9323964	454158	280
José de Alencar	Iguatu	9293192	482195	256
Guassossê	Orós	9297840	507815	276
Serrote Grande	Orós	9309300	497551	207

A composição granulométrica e o teor de matéria orgânica foram determinados no Laboratório de Análises de Física do Solo da Universidade Federal do Ceará - UFC. A composição granulométrica foi determinada através de um conjunto de peneiras, nas quais as amostras foram divididas em cinco frações: areia muito grossa (2 - 1 mm), grossa (1 - 0,5 mm), média (0,5 - 0,25 mm), fina (0,25 - 0,1 mm) e muito fina (0,1 - 0,05 mm). Os percentuais de argila e silte foram determinados através do método da pipeta (EMBRAPA, 2006), utilizando-se como dispersante químico o hidróxido de sódio. Neste procedimento pipeta-se um volume da suspensão, para determinar o teor de argila após secagem em estufa, o teor de silte corresponde ao complemento dos percentuais de 100%, após conhecimento do percentual de areia.

Para definir classes de erodibilidade para área de estudo, foi adotada a proposta de Mannigel et al., (2002), sendo que as classes de erodibilidade sugeridas na tabela 12, foram propostas a partir das classes apresentadas (CREPANI et al., 2008, SALOMÃO, 1999, 2005; ROSS, 2005).

Tabela 12 – Classes de Erodibilidade do Solo da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

ERODIBILIDADE (t.h/MJ.mm)	CLASSE DE ERODIBILIDADE
$K \leq 0,015$	Baixa
$0,016 < K \leq 0,030$	Média
$0,031 < K \leq 0,045$	Alta
$0,046 \leq K$	Muito Alta

Fonte: Adaptada Mannigel et al., (2002).

Para a avaliação da erodibilidade dos solos partiu-se do levantamento de solos realizados pela CEARÁ (2010). As classes de solos foram agrupadas, ignorando os aspectos ligados à fertilidade (álícos, distróficos e eutróficos), gerando um mapa de tipos de solos, onde foi associado o valor K para cada tipo.

Declividade e Fator Topográfico (Fator LS)

A declividade pode ser conceituada como a inclinação do terreno em relação a um plano horizontal e esta pode ser expressa em percentual ou em graus. Ela é calculada pela variação da altitude entre dois pontos do terreno (curvas de nível) em relação à distância que os separa. Através da análise das áreas de declive da área de estudo, é possível apontar diretrizes no que se refere aos tipos de ocupação que poderão ser exercidas nesse ambiente.

A declividade da Bacia Hidrográfica do Açude Orós foi obtida, extraindo-se as curvas de nível das imagens SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* originárias da missão da NASA (Agência Espacial e Aeronáutica) e NGA (Agência Nacional de Inteligência Geoespacial) dos Estados Unidos, executado no ano 2000, e disponibilizado pelo USGS Eros Data Center (Departamento de Levantamento Geológico dos Estados Unidos), disponibilizadas no site da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, Brasil em Relevo: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>. As folhas SB-24-Y-B, SB-24-Z-A, SB-24-X-C, SB-24-V-D foram escolhidas por compreenderem os municípios que compõem os divisores de água da Bacia de Drenagem do Açude Orós.

Para a elaboração desse mapa a metodologia utilizada foi uma adaptação da desenvolvida por De Biasi (1992), que define as classes clinográficas de acordo com a Lei Federal nº 4.771 de 1965 que estabelece o Código Florestal Brasileiro, cujos artigos normalizam as áreas que devem ser destinadas à preservação permanente que inclusive estipula que nas áreas cuja declividade for maior que 45% não é permitida a derrubada de florestas e também estipula as áreas a serem preservadas próximas aos córregos e nascentes.

Desse modo, no fatiamento da imagem, atribuem-se os valores das classes de declividade, de acordo com De Biasi (1992), 0 - 5%, correspondente às áreas sem problemas de ocorrência de erosão e o limite máximo de ocupação; entre 5 - 12%, correspondendo ao limite para emprego de mecanização na agricultura e construção civil sem a necessidade de

cortes ou aterros; as declividades entre 12 - 30% representam a maior inclinação do relevo, que dificultam as práticas agrícolas, sendo possível a prática de culturas permanentes (reflorestamento); entre 30 - 47%, as encostas de morro que constituem limites, para corte raso da vegetação e superior a 45% são áreas de preservação permanente, de acordo com a Legislação Ambiental (Tabela 13).

Tabela 13 - Classes e Declividade pré-determinadas de acordo com a Legislação Ambiental

CLASSES DE DECLIVIDADE	DECLIVIDADE	RESTRIÇÃO
Menor que 5%	< 2,86°	Limite urbano-industrial
Entre 5 - 12%	2,86° - 6,87°	Limite máximo para a mecanização na agricultura.
Entre 12 – 30%	6,87° - 17,18°	Limite máximo para a urbanização sem restrições.
Entre 30 – 47%	17,18° - 26,93°	Limite máximo do corte raso, a partir do qual a exploração só é permitida se sustentada por cobertura de floresta.

O mapa de Declividade da área gerado a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT), estas informações serviram de base para o processamento do Fator LS da EUPS e tem como objetivo quantificar a inclinação ou o declive do terreno, possibilitando diagnosticar possíveis áreas de ocorrência de processos exógenos tais como remobilização de formações superficiais ou de corpos rochosos. Este mapa apresenta resultados satisfatórios e necessários ao Planejamento Ambiental, haja vista a utilidade desses dados para o gerenciamento do uso e ocupação do solo.

O fator LS é a relação esperada das perdas de solo por unidade de área em uma situação de declive qualquer em relação às perdas de solo correspondente a uma parcela de 25 m de comprimento com declive de 9%. Utiliza-se neste trabalho o *ArcGIS*® versão 9.3, e de posse dos recorte do MNT/SRTM, obteve-se a direção de fluxo, o mesmo foi através do método D8 para a mensuração da direção do fluxo, conforme os trabalhos de O'Callaghane Mark (1984) e Santos (2009).

Conforme o método D8, a modelagem da direção do fluxo é construída através da atribuição do sentido do escoamento de um pixel para um dos seus oito vizinhos com base na diferença de cota ponderada pela distância entre eles e de sua declividade, (Figura 29).

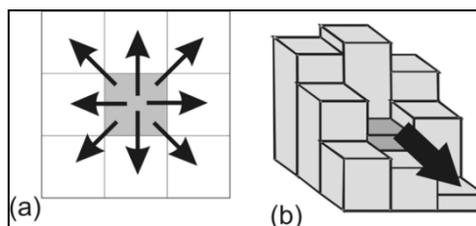


Figura 29 – Oito possíveis direções para um determinado pixel (a) e direção do fluxo em função da cota ponderada pela distância entre eles (b).

Fonte: Paz e Collischonn (2008).

Seguindo as direções de fluxo, obtém-se a quantidade de células a montante que drenam para cada uma das células a jusante, determinando o fluxo acumulado de drenagem. A Figura 30 representa a obtenção do fluxo acumulado a partir da direção do fluxo.

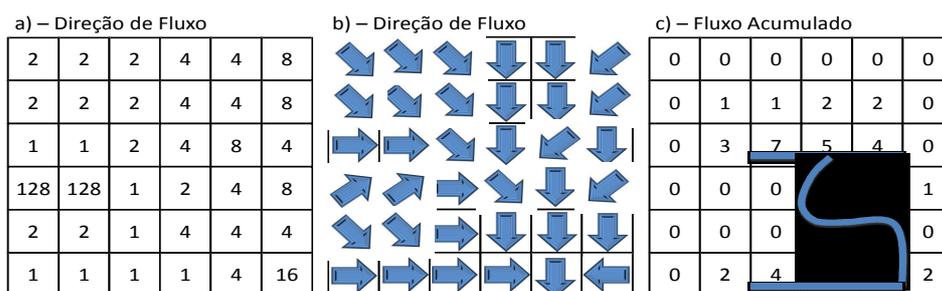


Figura 30 – Representação da obtenção do Fluxo Acumulado a partir da Direção do Fluxo, pelo método D8; onde a) é uma representação da direção do fluxo em modelo numérico; b) é uma representação gráfica da direção do fluxo e c) é uma representação fluxo acumulado em modelo numérico e gráfica.

Posteriormente a etapa citada, através do MNT, obteve-se a declividade da área de estudo. De posse dos *rasters* de fluxo acumulado e declividade, fez-se a álgebra de mapas através da ferramenta *Raster Calculator*, conforme a expressão e a síntese descrita por SIMM et al., (2003) e SMULYAN (2010), obtém-se a aquisição do fator topográfico:

$$\text{Pow}([\text{flow accumulation}] * \text{cell size} / '22.13, 0.06') * \text{Pow}(\text{Sin}([\text{Slope of DEM}] * '0.01745') / '0.0896, 1.3')$$

Silva et al., (2005) classificaram os valores determinados para o fator LS em: amenizador (LS < 0,99), por tratar-se de uma classe onde o papel do relevo não é, matematicamente, acelerador, mas sim amenizador do processo erosivo; neutro (LS = 1),

pois a participação do fator LS é nula (elemento neutro de multiplicação); e acelerador ($LS > 1$) neste caso verifica-se que o valor resultante da perda de solo é ampliado, mostrando a participação do relevo cada vez maior na aceleração do processo de perda de solo em função do aumento do valor LS. De acordo com a EUPS, a integração entre os fatores L e S é o que determinará a real influência da topografia no processo de perdas de solo por erosão laminar. Em termos práticos, quanto maior o comprimento das rampas e mais acentuado o declive, maior será a velocidade do escoamento superficial na vertente e o conseqüente transporte de sedimentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cálculo da Erosividade (Fator R) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

Para Bacia de Drenagem do Açude Orós a precipitação média anual de cada posto, varia de 505 - 1.044 mm ano (Tabela 14). Os resultados da análise da erosividade das chuvas na área de estudo mostram que o valor médio anual encontrado foi de 5.500,94 (MJ.mm/ha.h.ano) variando de 5.137 (MJ.mm/ ha.h.ano) a 6.695 (MJ.mm/ ha.h.ano). A Figura 31 apresenta a erosividade média mensal para cada posto, a partir da série histórica utilizada para o cálculo de precipitação.

Tabela 14 – Precipitação Média Anual e Índice de Erosividade Médio Anual da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

POSTOS			ÍNDICES (Média/Anual)	
Nº	Postos	Municípios	Precipitação (mm)	Erosividade (MJ.mm/ ha.h.ano)
1	Ico	Ico	798	5.501
2	Iguatu	Iguatu	1044	6.565
3	Orós	Orós	789	5.424
4	Quixelô	Quixelô	800	5.670
5	Deputado Irapuan Pinheiro	Deputado Irapuan Pinheiro	731	5.358
6	Palestina	Orós	846	5.737
7	Riacho vermelho	Iguatu	861	5.749
8	Cariús	Cariús	962	6.540
9	Cedro	Cedro	986	6.615
10	Jaguaribe	Jaguaribe	718	5.154
11	Jucás	Jucás	956	6.382
12	Nova Floresta	Jaguaribe	821	5.508
13	Ibicua	Piquet Carneiro	822	5.284
14	Caixa	Acopiara	800	5.137
15	Várzea da Conceição	Cedro	910	6.049
16	Baú	Iguatu	916	6.153
17	Várzea Alegre	Várzea Alegre	1.031	6.695
18	José de Alencar	Iguatu	964	6.380
19	Iborepi	Lavras de Mangabeira	505	3.694
20	Umari	Umari	771	5.304

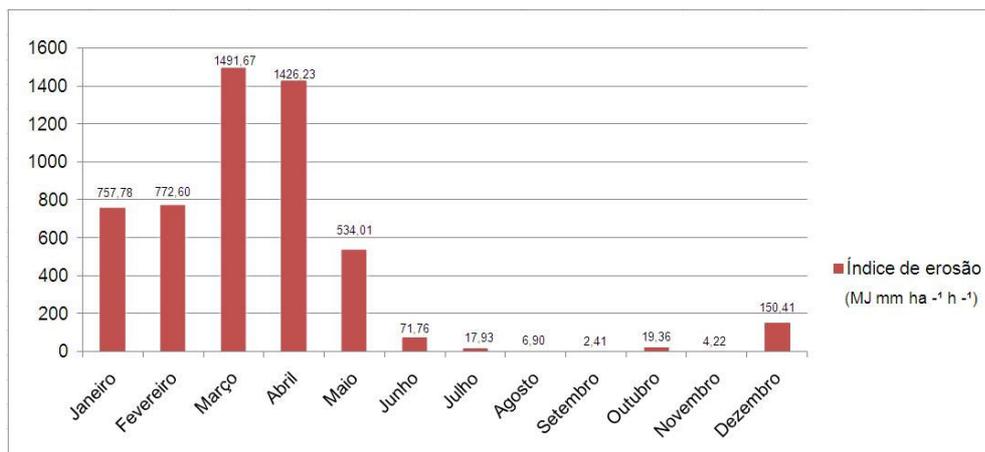


Figura 31 – Gráfico da Média Mensal de Erosividade das chuvas na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

Avaliando a variação mensal do total precipitado e dos índices de erosividade, observam-se elevados coeficientes de variação, que é característico do regime pluviométrico da região semiárida do nordeste brasileiro, onde as chuvas se caracterizam por uma curta duração e alta intensidade e erosividade das chuvas. A média mensal do índice de erosividade foi maior no período de maior precipitação, que compreende os meses março e abril e menor nos meses com os menores valores de precipitação: agosto e setembro. Nos eventos pluviométricos de maior intensidade e poder erosivo, o que resulta em maior desagregação e maior fluxo de transporte.

Os maiores valores de erosividade foram registrados nos municípios de Cedro e Iguatu, com destaque para o mês de março. Sendo que neste mês Cedro apresentou o índice mais alto da bacia 2.116,89 (MJ.mm/ ha.h.ano).

Aquino et al., (2006) encontraram valores de erosividade das chuvas nas terras secas do Estado do Piauí variando de 3.316 a 6.877 (MJ.mm/ ha.h.ano), o que valida os resultados alcançados, mas demonstra a baixa variabilidade espacial do índice.

Considerando as classes estabelecidas e identificadas 25,97%; 42,67%; 12,95% e 18,41% da área apresentam, respectivamente, erosividade baixa, média, alta e muito alta (Tabela 15). Constata-se haver o predomínio, portanto, de valores de R situados nas classes de baixa e média que, em conjunto perfazem um total de 1763, 84 Km².

Tabela 15 – Índices de Erosividade (R) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

CLASSES DE EROSIVIDADE	ÍNDICE DE EROSIVIDADE (MJ.mm/ ha.h.ano)	ÁREA	
		(km ²)	(%)
Baixa	5370 - 5640	657,13	25,97
Média	5650 - 5850	1079,71	42,67
Alta	5860 - 6110	327,68	12,95
Muito Alta	6120 - 6560	465,84	18,41

O Fator Erosividade da chuva (R) foi dividido em quatro classes: (a) 5.370 – 5.640 (MJ.mm/ ha.h.ano), encontrada em 25,97%; (b) 5.650 – 5.850 (MJ.mm/ ha.h.ano), encontrada em 42,67% da área; (c) 5.860 – 6.110 (MJ.mm/ ha.h.ano) em 12,95% da área; e (d) 6.120 – 6.560 (MJ.mm/ ha.h.ano) encontrada em 18,41% bacia, conforme é possível observar no Mapa de Erosividade Anual da Bacia de Drenagem do Açude Orós (Figura 32), obtido pelo cruzamento das informações referentes aos índices de erosão anual dos 18 postos pluviométricos com as séries selecionadas.

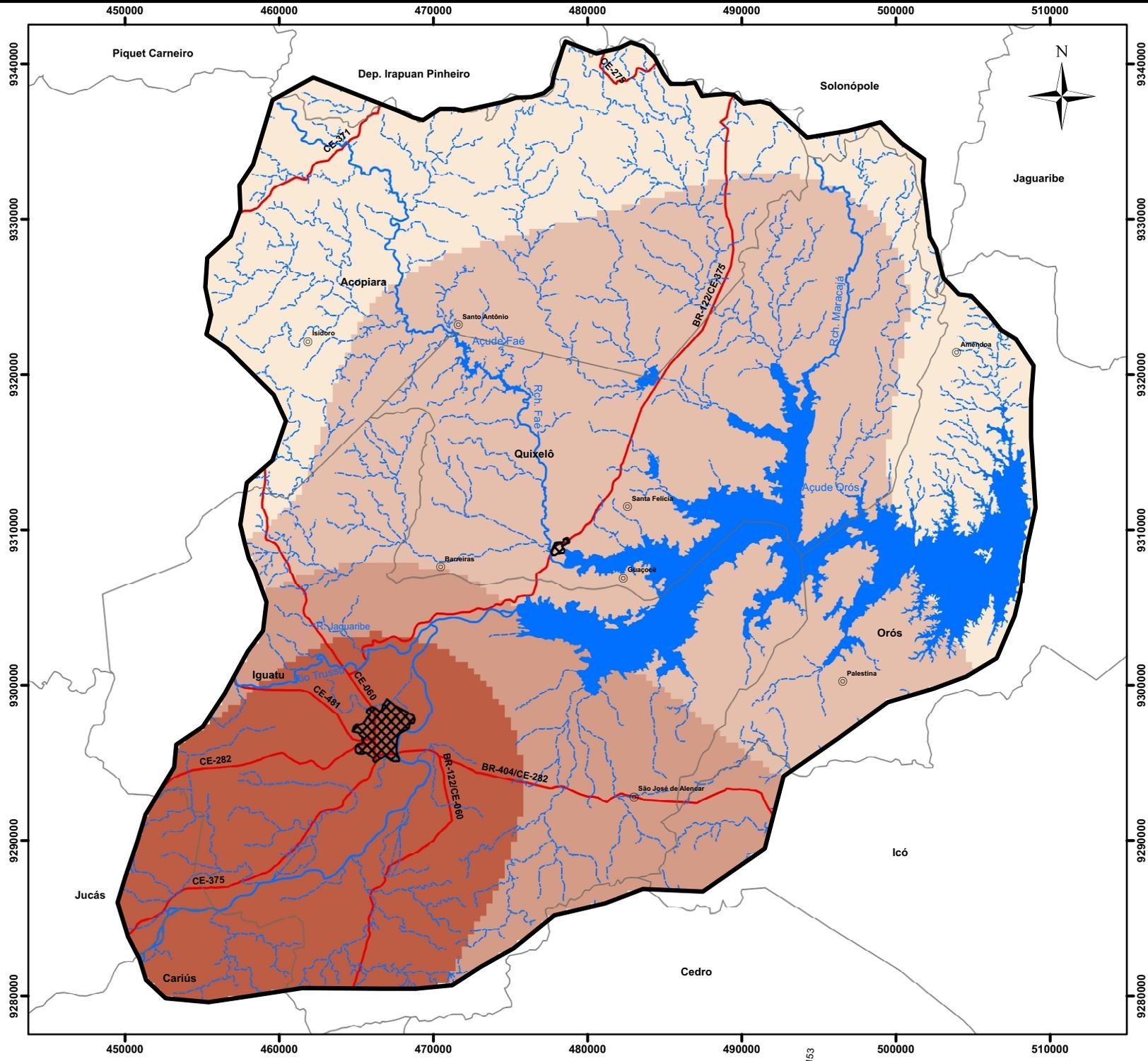
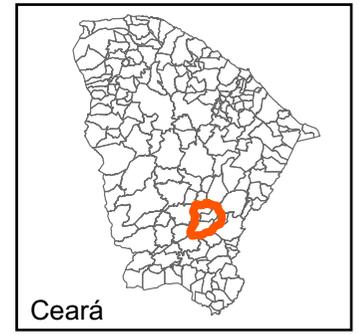


Figura 32 - Mapa de Erosividade da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE

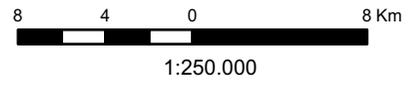


Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

Índice de Erosividade (MJ.mm/ ha.h.ano)	Área (Km ²)	Área (%)
5370 - 5640	657,13	25,97
5650 - 5850	1079,71	42,67
5860 - 6110	327,68	12,95
6120 - 6560	465,84	18,41



Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



Há uma tendência geral de aumento no valor de erosividade na direção da sede do município de Iguatu onde também são encontrados os maiores valores de precipitação da área. Os valores da erosividade, de modo geral, aumentam com a precipitação, fato que está de acordo com as observações semelhantes de Aquino (2006, 2007) e Bertol (2008, 2010). Os menores valores de R são encontrados na porção mais central do sertão cearense e nordeste da área analisada. Em regiões tropicais é comum a ocorrência de chuvas erosivas, principalmente no período de maior precipitação, podendo chegar a 40% do total anual das chuvas, ao passo que, em regiões de clima temperado, apenas 5% delas são consideradas erosivas (HUDSON, 1981).

Os índices de erosividade entre os meses de março e abril são mais elevados para a maioria das estações o que pode ser resultado da elevação da precipitação nesse período onde se concentra a quadra chuvosa do estado. A correlação entre R e o coeficiente de chuva (R_c) na Bacia Hidrográfica do Açude Orós (Figura 33) considerando a respectiva série histórica de cada posto pluviométrico, foi avaliada para analisar a viabilidade de utilização do R_c na atualização dos valores da erosividade e para encontrar uma equação que pudesse ser empregada para estimá-la em outras localidades do estado do Ceará onde não existem diagramas de pluviógrafos.

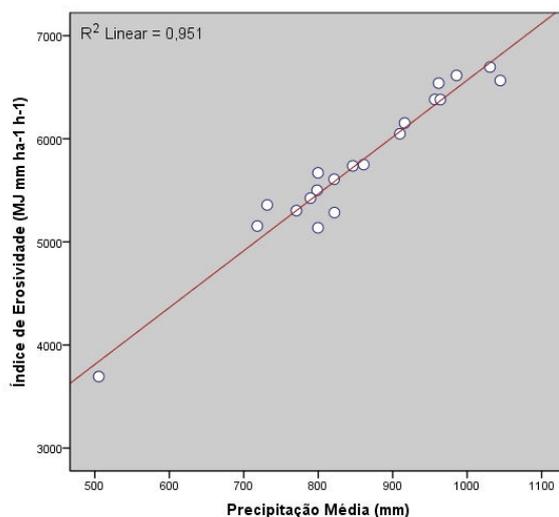


Figura 33 – Correlação entre a Precipitação Média Anual e o Índice de Erosividade Anual na Bacia Hidrográfica de Drenagem do Açude Orós – CE.

Os valores de precipitação pluvial apresentaram boa correlação com os valores de erosividade ($R = 0,95$) para o período estudado. O erro-padrão foi elevado, indicando alta variação da mesma entre os anos estudados.

4.2 Cálculo da Erodibilidade (Fator k) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

A erodibilidade varia para cada tipo de solo, pois mesmo que os fatores declividade, precipitação, cobertura vegetal e práticas conservacionistas fossem iguais em solos argilosos e arenosos, os últimos, devido às suas características físicas e químicas, são mais susceptíveis à erosão. As propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são as que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade, a capacidade de armazenamento de água e oferecem resistência às formas de dispersão, salpico, abrasão, transporte e escoamento pelas chuvas.

A erodibilidade, maior ou menor de um solo, dependerá de suas propriedades, que são bem estudadas e avaliadas por processos diretos e indiretos. A natureza do solo é um dos fatores que exerce maior influência sobre a quantidade e qualidade do material erodido. Essa influência depende das características físicas (permeabilidade), morfológicas (textura e estrutura) e químico-mineralógicas (natureza dos componentes da fração argila).

Dentre as propriedades físicas do solo, a textura é uma das mais importantes para o estudo da dinâmica da água no mesmo. A proporção entre as frações areia, silte e argila, que compõem a massa de um solo, se refere à textura do solo. As relações texturais entre camadas são importantes para caracterizar a dinâmica da água no seu perfil. Geralmente solos com poros menores apresentam maior capacidade de armazenamento e retenção de água.

Na tabela 16 estão apresentados os atributos físicos e granulometria do solo da área de estudo. Os mesmos foram determinados por meio de análise física de quatro amostras (sete sub-amostras) nas profundidades, de 0 – 20 e 20 – 50 cm, que foram coletadas no período seco (segundo semestre/ 2012). As análises foram realizadas na Universidade Federal do Ceará.

Tabela 16 – Atributos físicos dos solos da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA								DENSIDADE		UMIDADE		
Área	P (cm)	AG	AF	S	AR	AN	T	GP		CC (0,033MPa)	PMP (1,5MPa)	AD
		(g/kg)						(g/cm ³)		(g/100g)		
A1	0-20	463	305	130	102	98	FA	1,35	2,64	9,87	5,46	4,41
	20-50	511	227	142	120	116	FA	1,60	2,54	10,57	5,63	4,95
A2	0-20	232	462	227	79	58	FA	1,56	2,66	9,25	3,87	5,38
	20-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	0-20	375	263	228	134	85	FA	1,43	2,55	13,97	8,25	5,72
	20-50	487	235	179	99	88	FA	1,55	2,59	10,21	6,94	3,27
A4	0-20	730	219	40	11	8	A	1,53	2,59	3,04	2,14	0,90
	20-50	550	223	146	81	70	FA	1,60	2,54	7,75	3,70	4,05

A1 - Pau de Leite, Acopiara – CE; A2 – José de Alencar, Iguatu – CE; Guassossê, Orós – CE; Serrote Grande, Orós – CE; AG– Areia Grossa; AF – Areia Fina; AR – Argila; NA – Argila Natural; S – Silte; T – Textura; GP – Global Partícula; CC – Capacidade de Campo; PMP – Ponto de Murcha Permanente; AD – Água disponível.

Os solos de textura mais grosseira, devido à baixa agregação de suas partículas, são facilmente erodíveis. Entretanto, solos com elevados teores de silte, têm certa agregação quando secos, mas quando umedecidos apresentam agregados com baixa estabilidade, sendo facilmente dispersos e transportados. Dinâmica esta que está associada aos meses de março e abril com o aumento dos índices de precipitação.

Todas as amostras representam solos com reduzida capacidade de retenção de água e elevada capacidade de percolação, com ênfase para a amostra A4 que apresenta textura Arenosa. Nos Neossolos Litólicos, a água retida é suficiente para suprir as plantas apenas por poucas semanas. Com o término da quadra chuvosa inicia-se um período de deficiência hídrica. Com o aumento da profundidade o estoque de água pode durar meses e as plantas podem não ter deficiência se suas raízes conseguirem explorar um volume grande.

O Luvissole contém maior percentual de areia na sua camada superficial em relação ao Vertissolo. Solos com maior teor de areia são mais susceptíveis à desagregação, porém necessitam de uma maior quantidade de energia para transporte em relação a solo mais argiloso. Além disso, os solos mais arenosos possuem maior condutividade hidráulica saturada, reduzindo assim o coeficiente de escoamento superficial e conseqüentemente, menor capacidade de transporte de sedimentos.

A textura predominante na maioria das amostras coletas foi predominantemente arenosa. É possível perceber também que a diminuição de areia com o aumento da declividade, sendo que este fato pode ser interpretado como aumento de suscetibilidade da erosão. Nas áreas com declividade mais acentuada, as texturas predominantes foram mais finas. A relação entre textura e declividade mostra que quanto maiores as declividades menores foram os teores de areia na camada de 0-20 cm do solo. Este gradiente provavelmente decorre de processos erosivos; de forma geral, é esperada uma relação estreita entre a susceptibilidade à erosão e a declividade do terreno.

Serio et al., (2008) encontraram valores do fator K de 0,012 (Neossolo Litólico) e 0,026 t.h/MJ.mm (Argissolo vermelho-amarelo), na região semiárida cearense. Já Farinasso (2006) observaram valores de K variando da ordem de 0,11 a 0,57 t.h/MJ.mm, para as áreas com menor erodibilidade correspondendo aos Nitossolos e para solos com maior capacidade de sofrer erosão laminar que correspondem principalmente aos Planossolos, respectivamente.

Associadas as classes de solos às respectivas classes de erodibilidade, e realizado o Mapa do Fator (K), uma nova proposta para classes de erodibilidade dos solos foi gerada, baseada na metodologia de Salomão (1999), Ross (2005), Crepani et al., (2008) e Mannigel et al., (2002), melhor adaptadas aos solos da área de estudo (Tabela 17).

Tabela 17 – Vulnerabilidade e Erodibilidade da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

GRAU DE VULNERABILIDADE Crepani et al., (2008)	CLASSIFICAÇÃO ATUAL PARA ÁREA DE ESTUDO (EMBRAPA, 2006)	ERODIBILIDADE (t.h/MJ.mm) Mannigel et al., (2002)	CLASSES DE ERODIBILIDADE Salomão (1999), Ross (2005)
II	Neossolo Flúvico	$K \leq 0,015$	Baixa
III	Luvissolo Crômico e Argissolo Vermelho	$0,016 < K \leq 0,030$	Média
IV	Vertissolo Háplico	$0,031 < K \leq 0,045$	Alta
V	Neossolo Litólico	$0,046 \leq K$	Muito Alta

Fonte: Adaptado EMBRAPA (2006); Crepani et al., (2008); Salomão (1999); Ross (2005); Mannigel et al., (2002)

O Fator K representou o fator erodibilidade do solo de cada sub-horizonte (t.h/MJ.mm) o mesmo foi estimado através da média de K dos solos do Semiárido Cearense e foram enquadrados nas seguintes classes: a) baixo: com valores entre 0,01 e 0,03

(t.h/MJ.mm); b) médio: com valores entre 0,03 e 0,06 (t.h/MJ.mm) e c) alto: com valores acima de 0,06 (t.h/MJ.mm).

Contudo, com o objetivo de se detalhar melhor esse fato, foram também utilizados para o presente trabalho, em vez de apenas três, quatro classes do fator K, que resultou na elaboração do Mapa de Erodibilidade dos Solos (K).

A erodibilidade do solo traduz-se pelas condições de reação do solo aos processos erosivos de natureza hidrológica. Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão forem as mesmas. Essa diferença, devida às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Na Tabela 18 são apresentados os índices que serviram de base à geração do Mapa do Fator (K).

Tabela 18 – Índices de Erodibilidade da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

CLASSES DE ERODIBILIDADE	ERODIBILIDADE (t.h/MJ.mm)	ÁREA	
		(km ²)	(%)
Baixa	$K \leq 0,015$	204,70	8,09
Média	$0,016 < K \leq 0,030$	1282,39	50,68
Alta	$0,031 < K \leq 0,045$	896,51	35,43
Muito alta	$0,046 \leq K$	146,76	5,80

Diante dos dados disponíveis, então, o resultado apresenta o Mapa de Erodibilidade (Figura 34), o qual demonstra o seguinte padrão: (a) As altas erodibilidades (41,23%) estão associadas, principalmente aos Neossolos Litólicos e os Vertissolos; (b) As médias erodibilidades se concentram nas áreas representadas pelos Luvisolos e Argissolos (50,68%); (c) As baixas erodibilidades estão nos Neossolos Flúvicos, compreendendo a menor proporção na bacia (8,09%).

As perdas de solo na região são limitadas pelo escoamento, independente da cobertura vegetal, ou seja, as boas correlações entre lâmina escoada e perda de solo indicam que há solo desagregado necessitando apenas um fluxo de escoamento para transporte. Como o Vertissolo possui um maior teor de argila, requerendo assim menos energia para transporte em relação ao Luvisolo, resulta em maiores perdas de solo junto com o Neossolo Litólico. Contudo o solo

exposto produz maiores coeficiente de escoamento, resultando em elevadas perdas de solo. Depois de certo tempo, é possível que haja escassez de material desagregado para ser transportado (OLLESCH; VACCA, 2002; BOIX-FAYOS et al., 2007).

Mudanças no comportamento hidrológico e sedimentológico como consequência, de atividades socioeconômicas tem sido discutidas por vários autores, que apontam para a necessidade de adoção de estratégias, como manutenção da cobertura vegetal e como forma de melhor gerenciamento dos recursos solo e água (ALBUQUERQUE et al., 2002). Em regiões semiáridas, independentemente do manejo do solo ou da escala espacial de mensuração, as perdas de solo são limitadas pela capacidade de transporte. Medeiros et al., (2010) encontraram resultados semelhantes em região semiárida cearense, porém com base em modelagem.

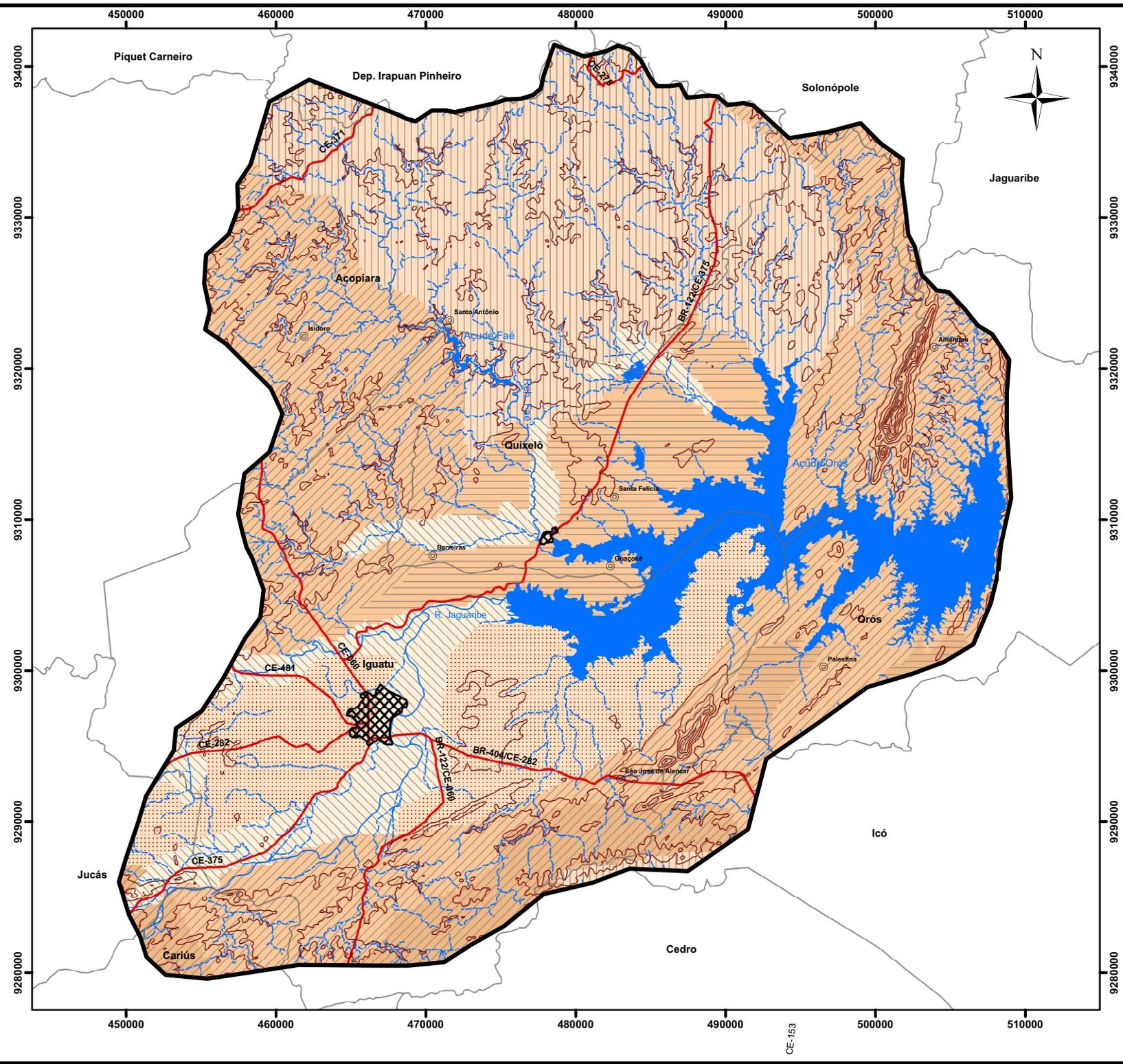


Figura 34 - Mapa das Solos e Erodibilidade da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Curvas de Nível
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

Erodibilidade (t.h/MJ.mm)	Área (Km ²)	Área (%)
K ≤ 0,015	204,70	8,09
0,016 - 0,030	1282,39	50,68
0,031 - 0,045	896,51	35,43
0,046 ≤ K	146,76	5,80

Solos

- Neossolo Flúvico
- Luvisso Crômico
- Argissolo Vermelho
- Vertissolo
- Neossolo Litólico

8 4 0 8 Km

1:250.000

Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



CE-153

4.3 Cálculo do Fator Topográfico (Fator LS) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

É possível identificar na região predomínio de um relevo com baixo grau de declividade o que converge para uma simetria quanto aos processos erosivos *in locu*. Mais de 90% da área de estudo, considerando a escala adotada que impede a visualização de um maior detalhamento, apresenta a declividade máxima de 5° o que permite a utilização deste espaço pela expansão, industrial e atividades agropecuárias (Tabela 19).

Tabela 19 – Declividades da Bacia Hidrográfica de Drenagem do Açude Orós – CE.

DECLIVIDADE (m)	ÁREA		CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAS
	(km ²)	(%)	
< 5°	2312,51	91,39	Relevo Plano
5° – 12°	179,15	7,08	Relevo Suave Ondulado
12° – 30°	34,66	1,37	Relevo Ondulado
30° – 47°	3,79	0,15	Relevo Forte Ondulado e Montanhoso

Como é possível observar no Mapa de Declividade da Bacia de Drenagem do Açude Orós (Figura 35) a área de estudo foi re-classificados em intervalos de 0 a 5% (plano), 5 a 12% (suave-ondulado a ondulado), 12 a 30% (ondulado), 30 a 47% (forte ondulado a montanhoso). Desta forma é possível concluir que a partir das características topográficas, quanto maior for à inclinação das vertentes da área, mais facilmente os processos erosivos irão alterá-la e serão mais intensos quanto maior for a ausência de cobertura vegetal, além de mais acentuadas as perdas de solo e a ocorrência de deslizamentos de terrenos.

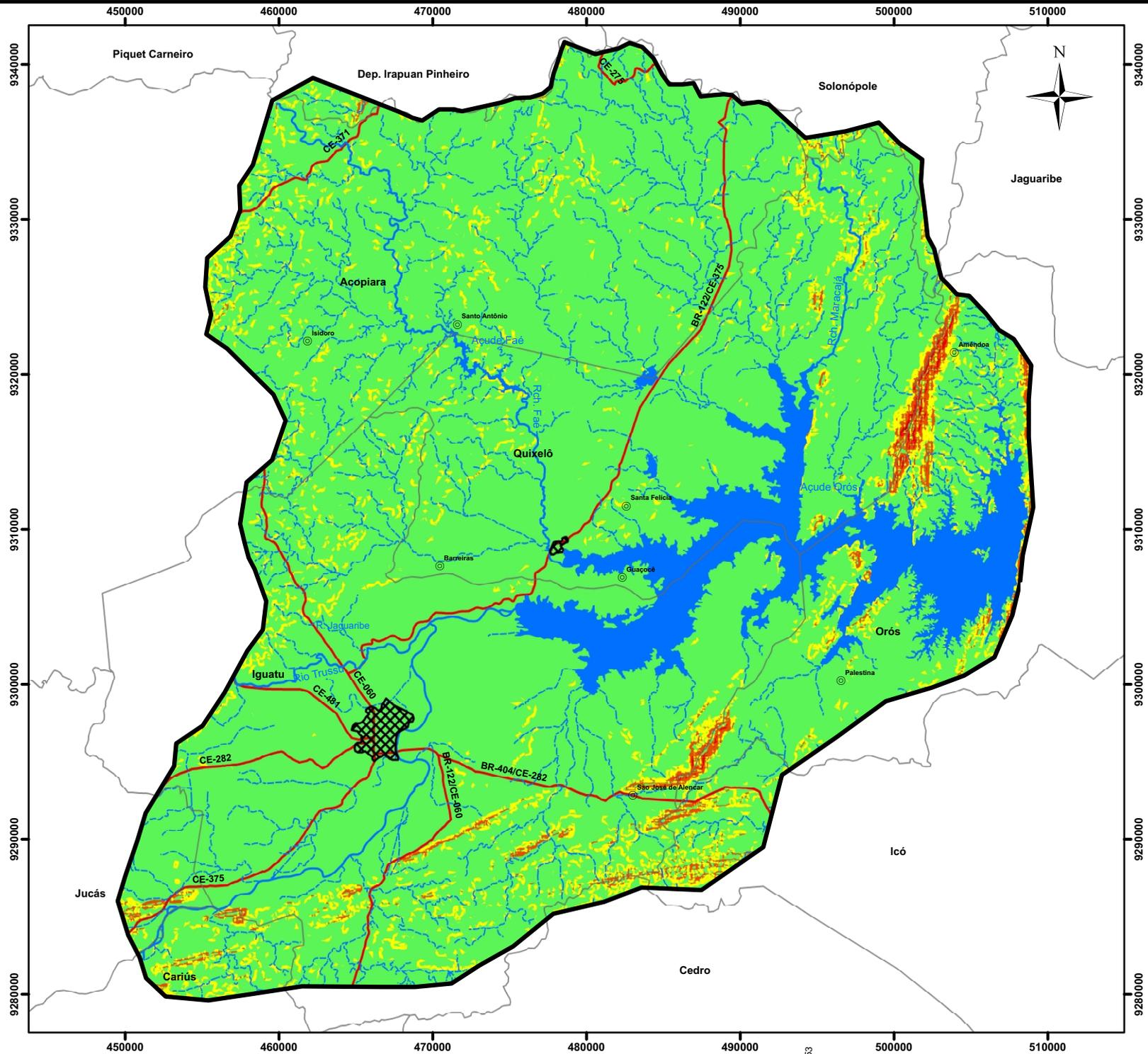
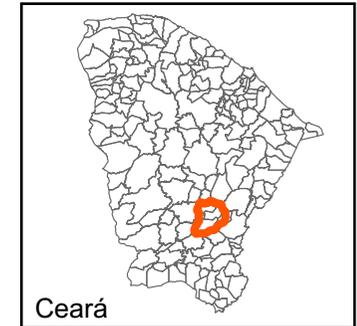


Figura 35 - Mapa de Declividade da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

Declividade	Área (Km ²)	Área (%)	Classificação das Formas
< 5°	2312,51	91,39	Relevo Plano
5° - 12°	179,15	7,08	Relevo Suave Ondulado
12° - 30°	34,66	1,37	Relevo Ondulado
30° - 47°	3,79	0,15	Relevo Forte Ondulado e Montanhoso



1:250.000

Sistema de Projeção
Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



A inclinação do terreno e o comprimento da encosta é que determinarão a velocidade de escoamento superficial, caracterizando o potencial de transporte pela erosão em termos de tamanho e quantidade de material. A topografia, levando em conta o aumento da declividade e o comprimento de rampa, provoca o aumento da erosão, condicionados também pela rugosidade da superfície.

Medeiros (2009) sobre região semiárida, afirma que com o aumento das vertentes aumenta a possibilidade de infiltração do escoamento gerado a montante, aumentando também a probabilidade de deposição dos sedimentos por diminuição do fluxo de transporte. Além disso, o comprimento de rampa tem uma relação direta com a formação de sulcos, canais e voçorocas (canais com maior profundidade e largura) e, portanto, com a erosão.

O Fator LS constitui da relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer. A inclinação do terreno e o comprimento da encosta é que determinarão à velocidade de escoamento superficial, caracterizando o potencial de transporte pela erosão em termos de tamanho e quantidade de material (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2007). Situações comuns de aplicações equivocadas não levam em consideração que fator LS representa a contribuição do escoamento superficial no processo de erosão hídrica.

A maior variabilidade do escoamento e das taxas de erosão nessa escala de trabalho é atribuída às propriedades da superfície do solo (por exemplo: cobertura de pedra, crostas, rugosidade da superfície) que regulam o escoamento e a erosão (CALVO-CASES et al, 2003;. ARNAU-ROSALEN et al., 2008).

Cabe destacar que para geração do Mapa de Fator LS é preciso gerar outros produtos intermediários a partir do SRTM, que são: a Declividade, Direção do Fluxo e Comprimento de Rampas. Desta combinação estima-se o Fator Topográfico.

O mapa do fator topográfico LS foi elaborado com o objetivo de representar o relevo para uma unidade de área em um determinado declive em relação ao comprimento de rampa desta mesma área. De acordo com os resultados obtido, as áreas com os maiores valores de LS estão concentradas nas partes de maior declividade e de relevo mais movimentado e estão localizadas nas vertentes das Cristas Residuais. As áreas com os valores menores de LS estão concentradas nas partes de menor declividade e onde o relevo é mais plano e suavemente ondulado. O Fator LS exerce influência importante no processo erosivo com maior influência na variação da erosão bruta do que qualquer um dos outros fatores. (Tabela 20).

Tabela 20 – Classes do Fator Topográfico da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

CLASSES	FATOR (LS)	ÁREA	
		(km ²)	(%)
Muito Baixo	0 – 0,3	1.762,61	69,66
Baixo	0,4 – 0,9	610,65	24,13
Baixo	1 – 2,5	127,49	5,04
Médio	2,6 – 5,7	21,72	0,86
Alto	5,8 – 14,7	7,90	0,31

O fator LS, apresenta amplitude de 0 a 14,7 com média de 0,3 e desvio padrão de 0,7. O intervalo de 0 a 0,3 representa 69,66% do território da Bacia de Drenagem do Açude Orós, isso demonstra uma grande extensão de áreas com baixo declive. Os locais com alto fator LS estão associados às vertentes e encostas das Cristas Residuais presentes na área estudo.

Segundo Silva (2009), áreas com baixo fator LS estão mais sujeitas a erosão laminar devido ao maior comprimento das rampas e conseqüentemente, maior velocidade de escoamento. Contudo, verifica-se o predomínio da erosão laminar na Bacia do Açude Orós, já que o fator LS no intervalo de 0 a 2,5 constitui 98,83% de todo o território da área.

As regiões localizadas nos interflúvios (topos de morros e divisores d'água), as quais representam os setores de infiltração das águas pluviais, apresentaram, conforme o Mapa do Fator Topográfico da Bacia de Drenagem do Açude Orós (Figura 36), os menores valores de comprimento de rampa, enquanto que as áreas de vertente (regiões com convergência d'água) apresentaram os maiores valores, demonstrando a aplicabilidade do método para a região de estudo.

Os resultados indicam a contribuição do relevo nas perdas de solo por erosão laminar, por isso tem participação significativa no processo erosivo da bacia. O declive médio da bacia está em torno de 5°, e o LS médio é baixo, variando de 0 – 2,5 (valor adimensional). A Bacia de Drenagem do Açude Orós é representada por baixas declividades e deste modo apenas uma área muito pequena possui LS acima de 2,5, onde há distâncias topografias significativa do divisor de águas e onde há convergência de fluxo (vertentes côncavas), bem como altas declividades, o valor de LS tende a ser elevado.

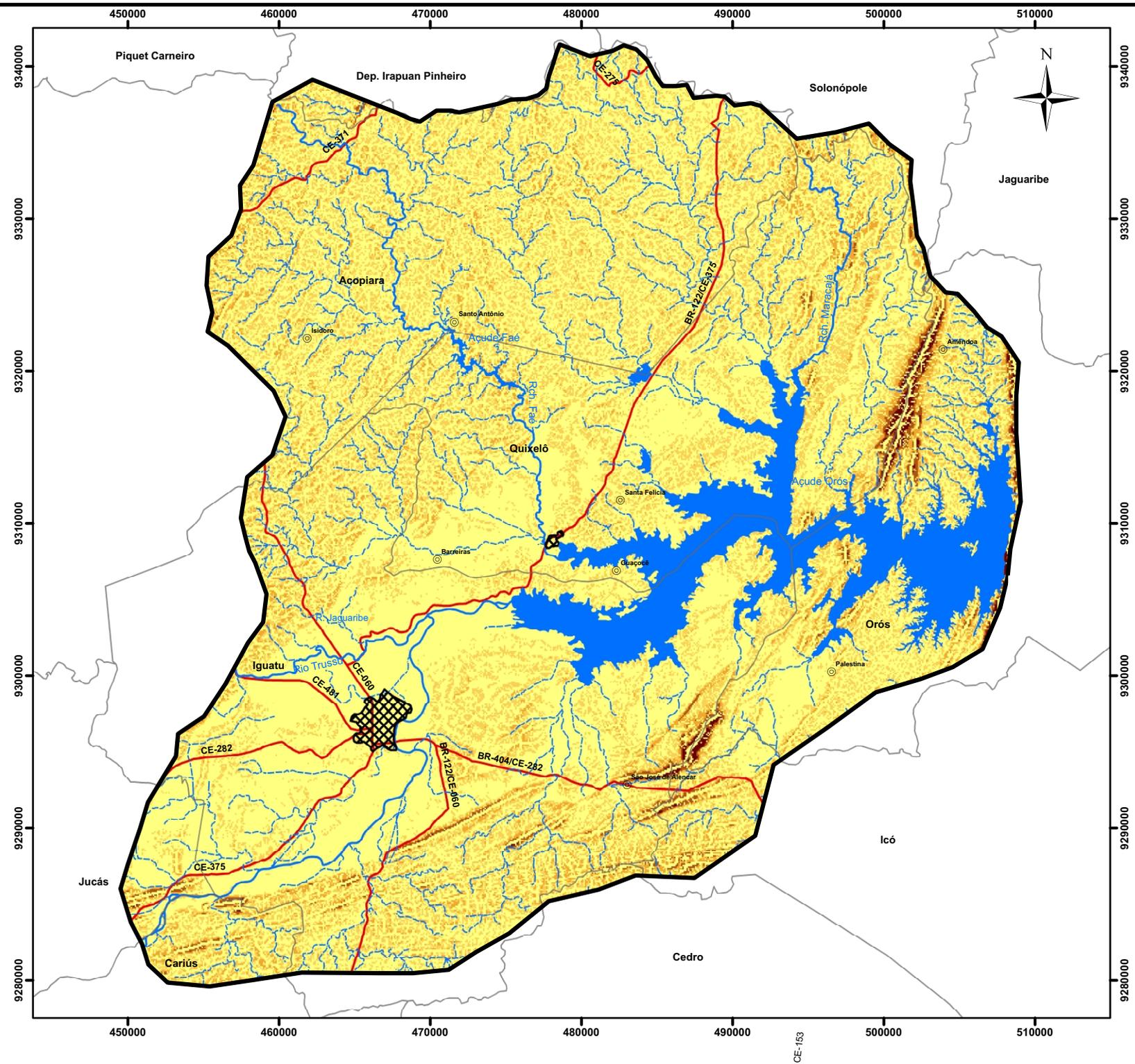
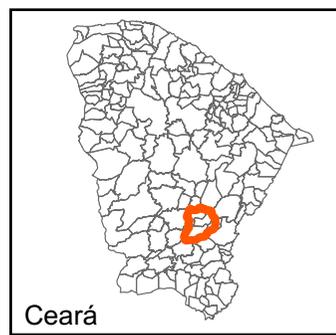


Figura 36 - Mapa do Fator Topográfico da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

Classes	Área (km ²)	Área (%)	
	0 - 0,3	1.762,61	69,66
	0,4 - 0,9	610,65	24,13
	1 - 2,5	127,49	5,04
	2,6 - 5,7	21,72	0,86
	5,8 - 14,7	7,90	0,31



Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



4.4 Cálculo do Potencial de Erosão (PE) da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

A ocupação de áreas, sem o conhecimento prévio de suas suscetibilidades e restrições de uso, podem gerar desequilíbrios ao ambiente natural, acarretando muitas vezes, em prejuízos ambientais e sociais. Por essa razão é de fundamental importância a compreensão das relações existentes entre os componentes do sistema natural, não só para entender seu funcionamento, como também, promover o ordenamento do uso, ocupação e gestão sustentável dos sistemas ambientais. As estimativas do Potencial de Erosão podem contribuir ainda para restringir o uso e ocupação de áreas potencialmente suscetíveis à erosão. Os resultados demonstram que a Bacia de Drenagem do Açude Orós apresenta suscetibilidade natural à erosão, principalmente em virtude da compartimentação Geoambiental que evidencia a área em sua maior parcela dentro do sub-compartimento da Depressão Sertaneja (superfícies de erosão).

Os maiores valores de potencial de erosão ocorrem nas regiões com maior declive, com o relevo mais acentuado, ficando evidente as inter-relações do potencial natural com o relevo e solo, ressaltando a importância do conhecimento da erodibilidade (K) e do fator topográfico (LS). Os potenciais altos associam-se aos Argissolos e aos relevos mais acentuados com Neossolos Litólicos, enquanto os baixos refletem formas de topos planos a levemente convexos e vales mais abertos predominando Neossolos Flúvicos. Em pequenas áreas, altos valores de potencial de erosão ocorrem associados a cabeceiras de drenagem mais ramificada, a cristas de divisores mais proeminentes e vales mais entalhados.

É importante salientar que os valores estimados pela USLE apresentam algumas incertezas. Alguns autores relatam que o modelo pode superestimar pequenos valores de perda anual e subestimar elevados valores (KINNELL, 2010; OLIVEIRA et al., 2011). No entanto, a perda de solo estimada por longo período de tempo (e uma grande área) pode ser estimada corretamente com base no método estabelecido na USLE, pois superestimativas e sub-estimativas podem compensar-se mutuamente, resultando em boa avaliação geral da perda média anual de solo (GABRIELS et al., 2003).

Para análise a validação das informações obtidas, foi realizado um corte na USLE, tendo como base o modelo de concavidade do terreno. Uma das limitações da USLE está no fato de não conseguir modelar adequadamente perda de solo em áreas de deposição, que são terrenos côncavos (Figura 37. b), a USLE é eficiente na modelagem em terrenos convexos e

lineares (37. a/c). Dessa forma, áreas com concavidade acima de 0,2 foram consideradas como áreas de deposição, assumindo perda de solo nula.

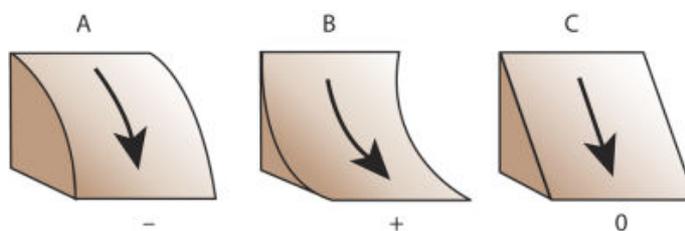


Figura 37 – Perfil de Curvatura

Fonte: <http://blogs.esri.com>

A EUPS estima a perda de solo por erosão laminar. Perda de solo acima de 100 t/ha.ano são processos erosivos mais intensos, tais como ravinas, sulcos e voçorocas, e a EUPS não é capaz de modelar esses processos (CHAVES, 2010). Para evitar superestimativas pelo modelo EUPS, o Mapa de Potencial de Erosão gerado foi limitado a 100 (ton/ha.ano)

Sabendo que os solos do semiárido tendem a ser rasos, uma maior ou menor vulnerabilidade das áreas pode ser mensurada em função das variações topográficas do terreno. As áreas mais regulares topograficamente como a depressão sertaneja tendem a apresentar um baixo potencial erosivo mesmo com solos rasos.

Nesse sentido, na área de estudo que está dentro da depressão sertaneja pode-se constatar, pelos resultados obtidos com o cruzamento dos dados. É possível observar na Tabela 21 que 64,52 % da área da bacia apresentou a estimativa de perda de solo acima de 30 (ton/ha.ano) com média para toda a área de 32 (ton/ha.ano). Os resultados de potencial erosivo apresentam-se com um grau de fragilidade alta e moderada em 76, 21% da área de estudo, em função do tipo de solo e da declividade na área. Na porção centro-sul da bacia não se verificou tal situação, encontrando-a com uma vulnerabilidade ambiental baixa.

Tabela 21 – Área Ocupada pela perda de solo na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

PERDA DE SOLO (ton/ha.ano)	ÁREA	
	(km ²)	(%)
0 – 5	367,07	14,51
5 -15	234,90	9,28
15 - 30	295,81	11,69
30 - 50	390,21	15,42
50 - 80	571,16	22,57
80 - 100	671,22	26,53

As áreas que apresentam um alto potencial de erosão ocupam 26,53 % da área total da bacia e com índices de erosão superior a 80 (ton/ha.ano) e são representadas por feições aguçadas de relevos, representadas pelas Cristas Residuais, resultado da erosão diferencial com áreas submetidas à morfogênese mecânica. As rochas encontradas são pré - cambrianas variadas e mais resistentes ao trabalho da erosão. A drenagem apresenta padrões dendríticos e sub-dendríticos, com escoamento intermitente sazonal. Baixa e inexistente infiltração em virtude das características litológicas e topográficas. Pluviometria de 500 a 700 mm. Caatinga arbustiva e vegetação rupestre parcialmente degradada. A porção sul da área de estudo e as áreas próximas a saída de água do reservatório, foram as que exibiram maior fragilidade ao processo erosivo. Nessa região, verificou-se a predominância do grupo de Neossolos Litólicos e Vertissolos, caracterizados por valores baixos de tolerância a perda de solo, além de elevados valores do Fator topográfico (LS) e da Erosividade (K).

As áreas marcadas por um potencial de erosão moderado, em torno de 49,68 % da área da bacia e com uma média de potencial erosivo entre 15 – 80 (ton/ha.ano), são representadas pelas superfícies pediplanadas com pedimentos conservados e eventualmente dissecados truncando variados tipos de rochas com feições variadas intercaladas por Planícies Fluviais estreitas e contínuas. Presença de Neossolos Litólicos, Luvisolos e Argissolos. Escoamento superficial com rios de padrões dendríticos, sub-dendríticos e dendrítico-retangulares e escoamento intermitente sazonal. Recobrimento vegetal e uso com caatinga arbustiva degradada. Presença de pecuária extensiva, com lavouras de subsistência e pastagem irrigada.

As áreas com baixo potencial erosivo são representadas por apenas 23,79% da área da bacia, com perdas de solo inferior a 15 (ton/ha.ano), índice considerado tolerável. A paisagem é marcada pelas superfícies planas embutidas entre níveis de cristas residuais com a presença de tabuleiros interiores e planícies fluviais coalescentes. Pode-se destacar que a presença de sedimentos aluviais recentes é limitada por níveis escalonados de terraços. Os solos encontrados são principalmente os Neossolos Flúvicos. O escoamento superficial apresenta rios de padrões sub-dendríticos e escoamento intermitente sazonal. As precipitações médias anuais são entre 600 a 800 mm. A caatinga arbórea e arbustiva apresenta-se parcialmente degradada. São áreas com intenso uso agroextrativista e cultivo de arroz, milho, e outras culturas. Notou-se que a região central da área em estudo apresentava os mais baixos valores de potencial de erosão, isso em virtude da combinação do tipo de solo e baixos valores de fator topográfico.

Os resultados obtidos do uso permissível do solo indicam que para valores próximos a zero deve-se priorizar a manutenção da cobertura vegetal e o manejo regular do solo. Já valores inferiores a 15 (ton/ha.ano), evidenciam que a área é mais resistente à erosão e pode ser utilizada de forma mais intensiva, como em culturas anuais.

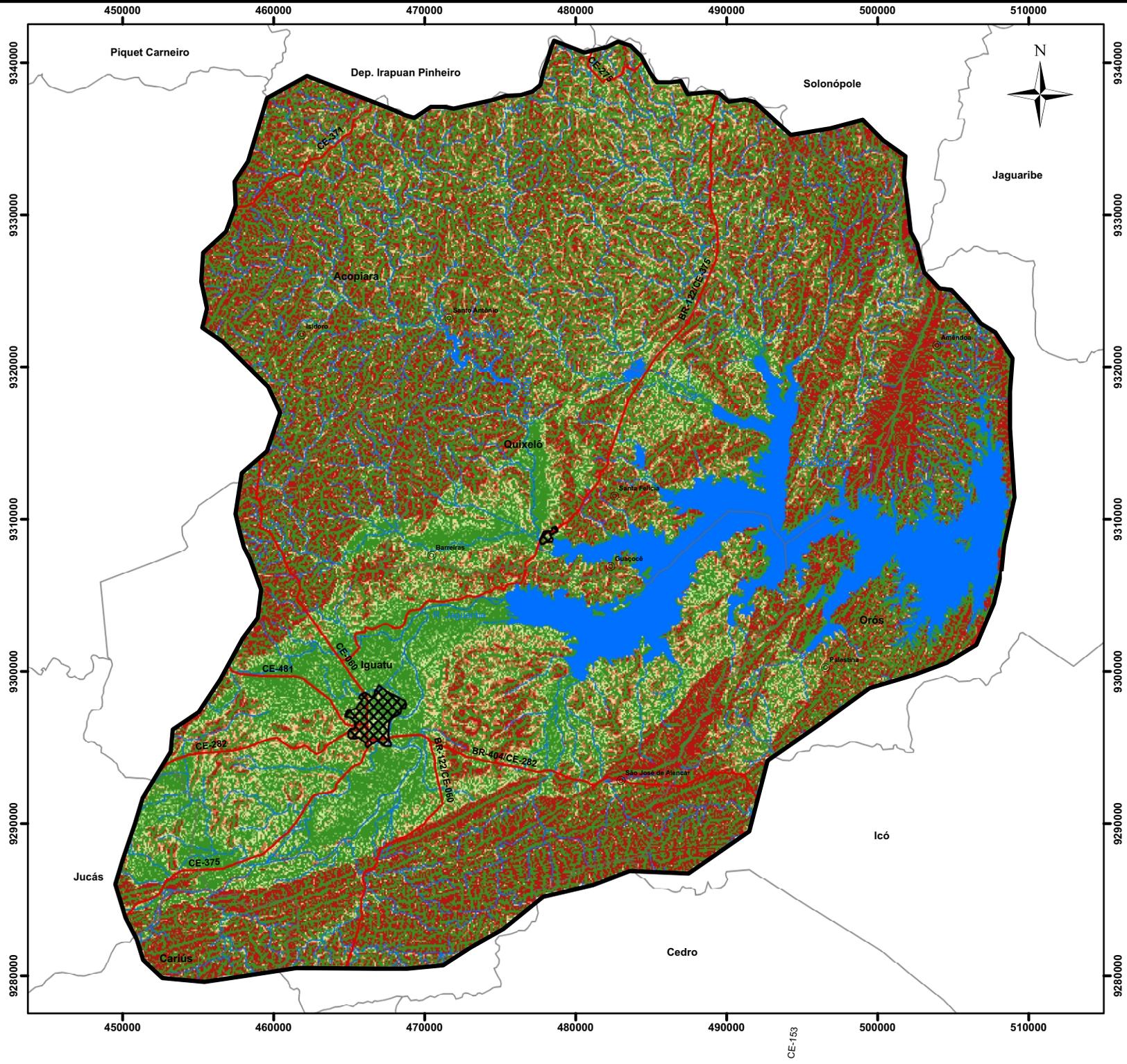
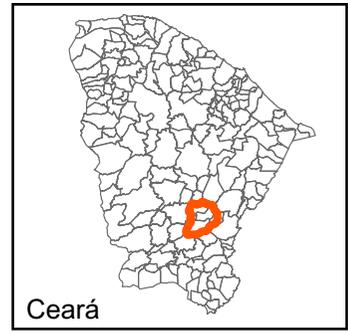


Figura 37 - Mapa do Potencial de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE



Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

Perda de solo (ton/ha.ano)	Área (Km ²)	Área (%)
0 - 5	367,07	14,51
5 - 15	922,07	9,28
15 - 30	295,81	11,69
30 - 50	390,21	15,42
50 - 80	571,16	22,57
80 - 100	671,22	26,53



A análise de regressão linear simples entre as variáveis estudadas mostram correlação do Potencial de Erosão com os resultados de Erosividade, Erodibilidade e Fator Topográfico, confirmando que o relevo, através das informações observadas no Mapa do Fator Topográfico (LS) é um fator determinante nas perdas de solo por erosão.

A relação observada entre o Mapa do Potencial de Erosão MPE e seus condicionantes mostrou uma ampla semelhança entre a espacialização do potencial de erosão e a topografia da região e muito pouca semelhança entre o potencial de erosão e os solos, apresentando valor de correlação espacial entre erodibilidade e potencial de erosão $r^2 = 0,14$ (Figura 39), fator erosividade e potencial de erosão $r^2 = 0,04$ (Figura 40) e fator topográfico e potencial de erosão $r^2 = 0,99$ (Figura 41) fato é concordante com a bibliografia e também verificado por Alvares e Silva (2005). A análise permite concluir que o Fator K e Fator R são variáveis independentes enquanto o Fator LS apresenta 99,9% de dependência.

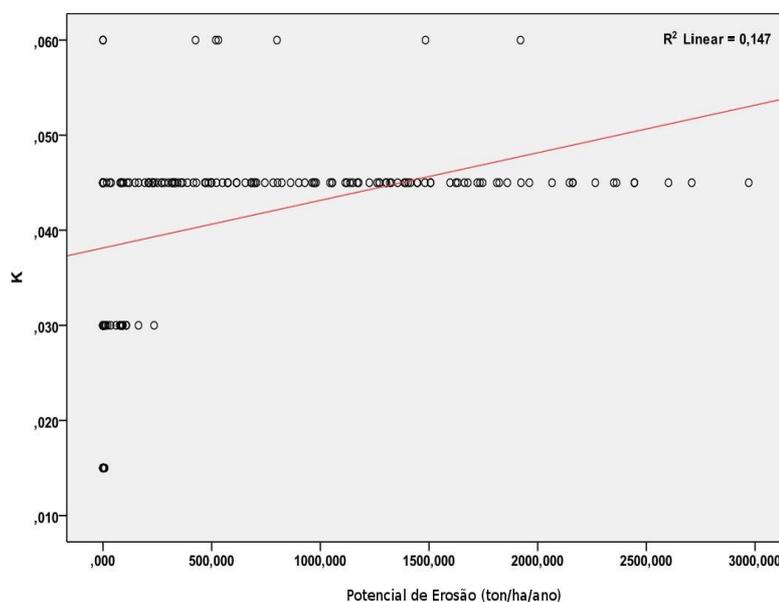


Figura 39 – Correlação dos Resultados de Erodibilidade com o Potencial de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

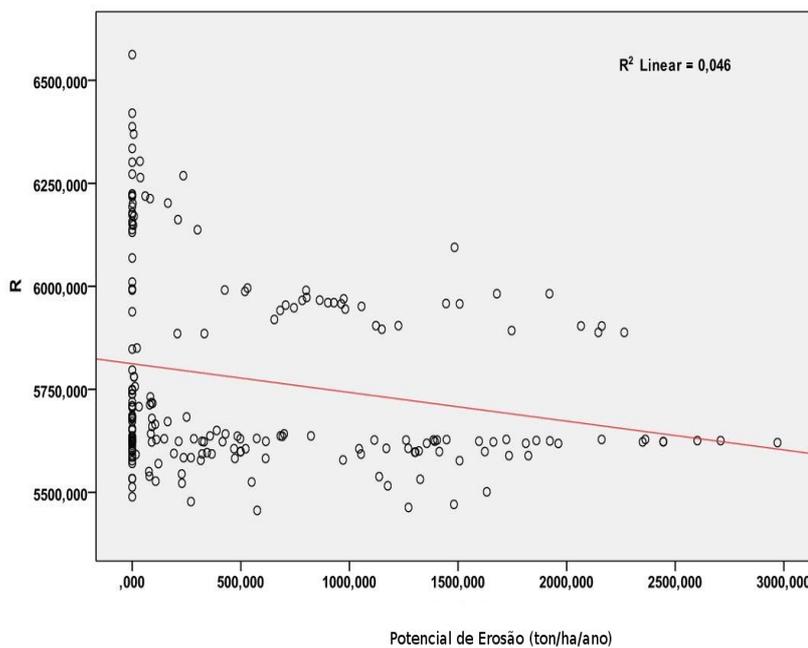


Figura 40 – Correlação dos Resultados de Erosividade com o Potencial de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

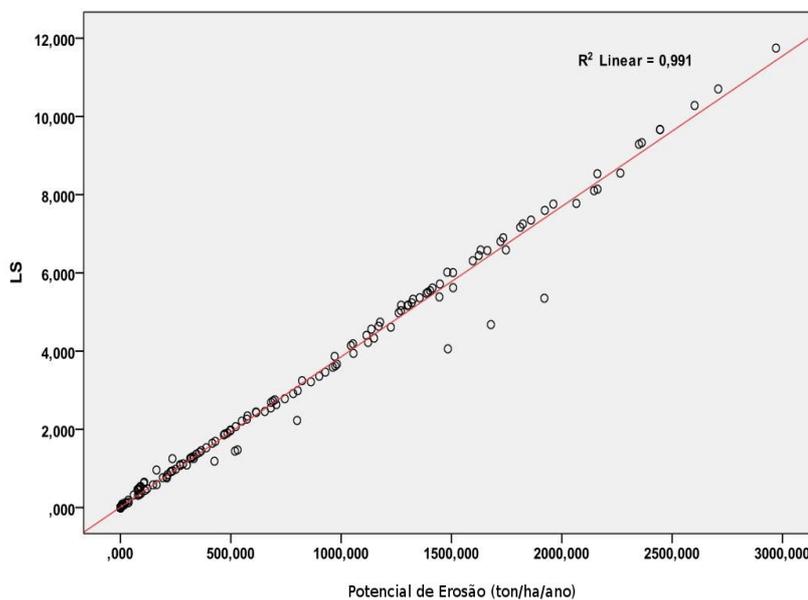


Figura 41 – Correlação dos Resultados do Fator Topográfico com o Potencial de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

Os resultados apresentados são influenciados diretamente pela interferência do relevo sobre a drenagem, pelo movimento da água no solo e pela declividade do terreno. Segundo Park e Burt (2002) os aspectos topográficos do terreno são os principais responsáveis pela variação dos atributos do solo e, conseqüentemente, influenciam grandemente as taxas de perdas de solo por erosão. WANG et al., (2002), afirmaram que o relevo é o fator de maior impacto na taxa de perda de solo por erosão.

Os valores de perda de solo, para a média anual, estimados pela USLE, podem ser comparados com os de tolerância à perda de solo, com o intuito de verificar áreas de risco de erosão e subsidiar o adequado uso e manejo do solo. Desse modo, diversos autores utilizaram valores do risco de erosão no planejamento agrícola e ambiental (ZHANG et al., 2004; BASIC et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2011).

Por meio do mapa das Áreas com Alto Risco de Erosão (Figura 42) é possível visualizar as áreas da bacia que apresentam perda de solo maior que dez toneladas por hectare em um ano, número crítico onde, segundo Chaves e Piau (2008), a perda de solo não é sustentável.

Esta observação deixa claro que apesar das baixas declividades da área de estudo a mesma influencia diretamente no aumento do Potencial Erosivo, contribuindo diretamente para produção de sedimentos na Bacia de Drenagem do Açude Orós. O aumento do grau de risco representa uma pressão sobre recursos ambientais, que, com o tempo, poderá levar a um estado de degradação avançado na Bacia e de difícil reversão, como é possível observar no Mapa das Áreas de Alto Risco de Erosão (Figura 43).

As áreas com alto risco de erosão ocupam 43% da bacia e apresentam uma perda de solo acima de 10 (ton/ha.ano). São áreas morfologicamente constituídas por relevo aplainado e encostas declivosas, associadas à Neossolos Litólicos e Luvissolos, com intenso pisoteio do gado e o predomínio de erosão laminar e ravinas. As áreas com baixo risco de erosão ocupam 57% da bacia e apresentam uma perda de solo inferior a 10 (ton/ha.ano), são representadas pelo de fundo de vales e várzea, em ambiente de Neossolos Flúvicos formados a partir de sedimentos aluviais. O baixo gradiente topográfico e o comprimento do declive são fatores que condicionam esta classe; morfometricamente são constituídas pelos vales fluviais.

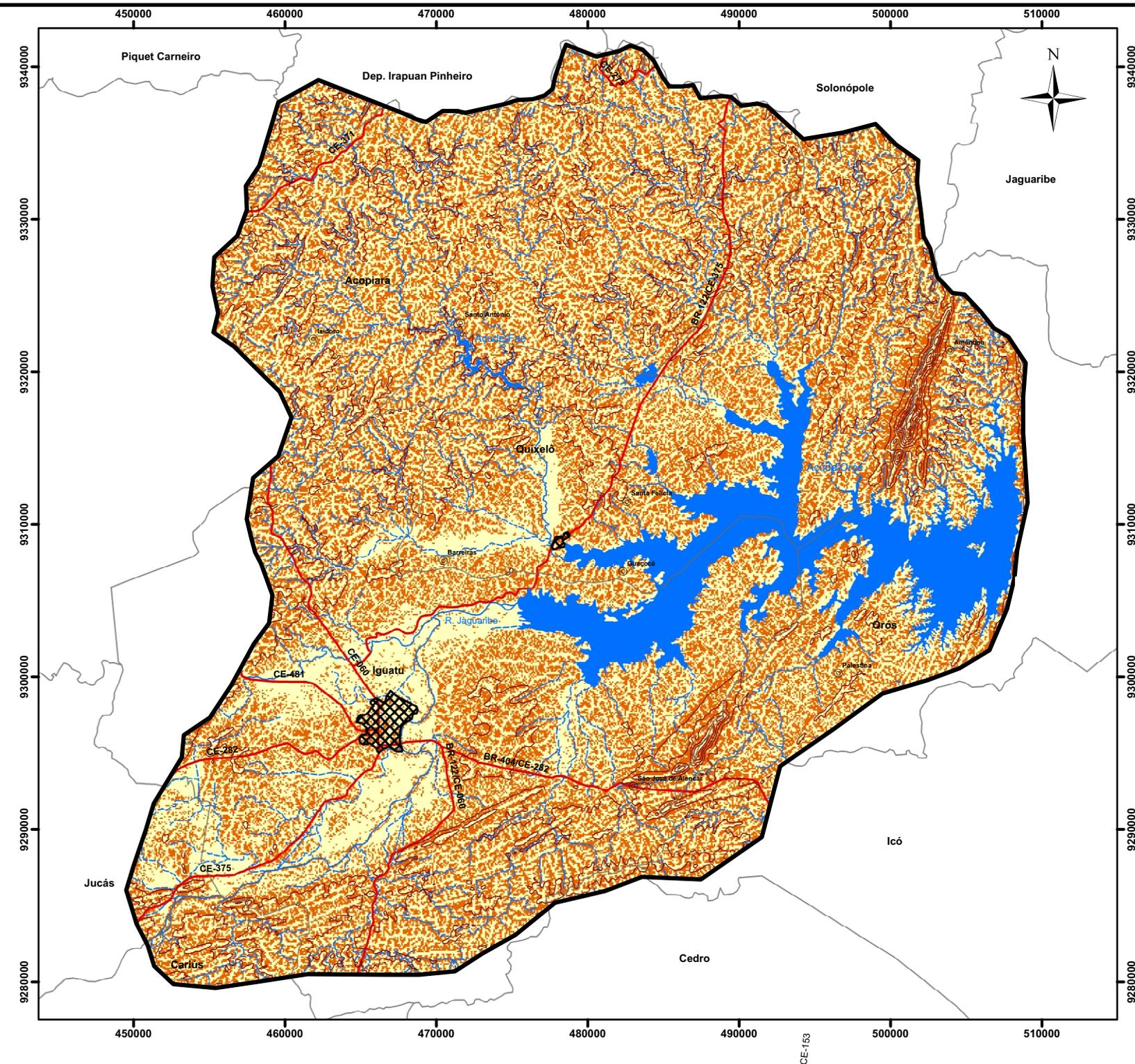
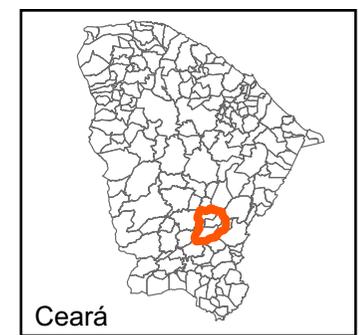


Figura 42 - Mapa das Áreas com Alto Risco de Erosão da Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE

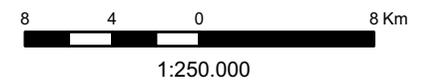


Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sedes Distritais
- Divisão Municipal
- Rios e Riachos
- Açudes

Legenda

	Área (Km ²)	Área (%)
Perda de solo < 10 (ton/ha/ano)	1.453,96	57
Perda de solo > 10 (ton/ha/ano)	1.076,42	43



Sistema de Projeção
 Universal Transversor Mercator-UTM, 24S
 South American 1969 - SAD69

Base Cartográfica: COGERH (2010); FUNCEME (2010); IPECE (2010).



4.5 Práticas de Manejo e Conservação

A erosão em áreas agricultáveis, resultante da combinação de fatores antrópicos e somadas às condições naturais desfavoráveis do solo, tem acelerado o processo de empobrecimento e degradação das terras. Cultivos agrícolas nem sempre adotam medidas de conservação do solo como estratégias de gestão agrícola, resultando em queda da fertilidade e produtividade em consequência da erosão acelerada do solo (BARTON et al., 2004).

Muitas pesquisas de erosão do solo no SE Espanha, na escala de encosta, nos últimos cinco anos tem se concentrado sobre o efeito do uso do solo e técnicas de manejo sobre o escoamento e erosão do solo (VAN WESEMAEL et al, 2006;. MARTÍNEZ-MENA et al, 2008;. CERDÀ et al., 2009).

É evidente que soluções de baixo custo para os problemas da erosão são necessárias para manter os recursos do solo e garantir a produção agrícola eficiente em longo prazo, e promover um eficiente uso da terra. Assim, precisa-se avaliar a eficácia de várias medidas de conservação agronômicas e de manejo do solo.

A aplicação de práticas científicas e tecnológicas é essencial para atenuar o processo erosivo e garantir a conservação adequada do solo e da água, à medida que intervém tanto na ocorrência das vazões máximas como no aumento da disponibilidade hídrica, valendo-se da própria capacidade de regularização disponível na bacia hidrográfica, correspondente ao reservatório de armazenamento (natural) de águas subterrâneas. A preocupação com a conservação dos recursos naturais vem-se tornando cada vez mais importante, devido à má ocupação do solo e do uso inadequado dos recursos ambientais. As práticas de conservação do solo, os métodos de avaliação de impactos ambientais e de perdas de solo, são ferramentas de grande uso no planejamento agroambiental.

A utilização racional dos recursos naturais, de determinada região, pressupõe o conhecimento de sua real capacidade de suporte, bem como da vulnerabilidade e manejo adequado destes recursos, a fim de mantê-los sempre produtivos. A sustentabilidade está associada, à definição e à aplicação de práticas de manejo e conservação dos recursos naturais que conduzam à melhoria da fertilidade e ao aumento da disponibilidade de água e dos recursos biológicos do solo.

O uso e ocupação do território, de forma não planejada, nem sempre reflete a real capacidade de suporte da terra, podendo levar a uma manifestação do processo erosivo do solo, em intensidade e velocidade que ultrapassam os limites de tolerância. Com isso, o planejamento do uso das terras, aliado ao planejamento ambiental, tem ocupado lugar de destaque na identificação de riscos potenciais de degradação permanente.

Em função da movimentação e do manejo do solo e da quantidade da cobertura vegetal sobre este é que ocorrerá um maior ou menor processo erosivo. Essa erosão será, também, consequência das modificações físicas causadas ao solo que, associadas às alterações na fertilidade, provocarão maiores ou menores impactos ambientais.

Para mitigar os resultados dos processos erosivos, fazem-se necessário um bom conhecimento da região de interesse e mensurar da forma mais exata possível os processos do meio físico, pois desta forma é possível estabelecer parâmetros e construir cenários de uso e ocupação dos ambientes. Neste sentido, uma das maneiras mais eficientes para fornecer subsídios à seleção de áreas prioritárias, do ponto de vista de conservação e recuperação do solo, é a utilização de Mapas de Potencial de Erosão e Alto Risco de Erosão, os quais poderão mostrar a expectativa de perda de solo em condições naturais e desta forma nortear o processo de ocupação da terra e o zoneamento básico das áreas protegidas.

A adoção de práticas para o controle do processo erosivo e a conseqüente conservação do solo e da água consiste na prática mais eficiente também em relação à conservação dos recursos hídricos, à medida que intervém tanto na ocorrência das vazões máximas como no aumento da disponibilidade hídrica. A aplicação de práticas científicas e tecnológicas é essencial para atenuar o processo erosivo e garantir a conservação adequada do solo e da água. O manejo e conservação do solo e água ou plano conservacionista, inicialmente, requer a adoção de procedimentos referenciais, a partir dos quais as práticas se associam, ou seja, são realizadas. A Tabela 22 apresenta propostas de manejo e conservação do solo e da água baseado nas características ambientais e no Potencial de Erosão na Bacia de Drenagem do Açude Orós.

Tabela 22 – Características ambientais, potencial de erosão e práticas de manejo e conservação do solo e da água na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE.

SA	SSA	CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS	R	K	LS	PE	PROBLEMAS DE QUALIDADE AMBIENTAL	PROPOSTAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO
DS	SAMJ	Superfície pediplanada com pedimentos conservados e eventualmente dissecados; escoamento superficial com rios de padrões dendríticos e escoamento intermitente sazonal. Pluviometria variando de 600 – 800 mm; Solos das classes de Argissolos Vermelho Amarelos Eutróficos, Neossolos Litólicos, Luvisolos Crômicos, Neossolos Flúvicos; Recobrimento vegetal e uso com Caatinga arbustiva, pecuária e culturas variadas	M;A; MA	A; MA	B; M	B; M	Predominância de terrenos cristalinos, média a elevada frequência de cursos d'água, bom potencial de água acumulada em reservatórios e baixo potencial de águas subterrâneas. Grande parte da área apresenta indícios de degradação acentuada com reflexos na capacidade produtiva dos recursos naturais	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio Direto • Produção Agrossilvipastoril • Cobertura Morta • Captação de água da chuva; • Adubação verde e orgânica • Rotação de cultura • Adequação e recuperação de estradas vicinais e caminhos de serviços
	DI	Superfície plana embutida entre níveis de cristas residuais, tabuleiros interiores e planícies fluviais coalescentes; Escoamento superficial com rios de padrões sub-dendríticos e escoamento intermitente sazonal; Precipitações médias anuais entre 600-800 mm; Solos das classes dos Argissolos, Neossolos Flúvicos e Vertissolos Háplicos; Caatinga arbórea parcialmente degradada a degradada, matas ciliares, agropecuária, cultivo de arroz, milho, e outras culturas	MA	B; M	MB; B	B	Ambiente com acentuadas irregularidades temporal e espacial das chuvas, média a elevada frequência de cursos d'água, bom potencial de águas subterrâneas; predominância da caatinga e da mata ciliar nas planícies fluviais. Evidências muito nítidas de degradação do ambiente que comprometem a sustentabilidade atual e futura dos recursos naturais; área de pecuária extensiva, com lavouras de subsistência e pastagem irrigada	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio Direto • Produção Agrossilvipastoril • Cobertura Morta • Captação de água da chuva • Descompactação do solo • Adubação verde e orgânica • Rotação de cultura • Adequação e recuperação de estradas vicinais e caminhos de serviços • Adoção de usos múltiplos da água

Características ambientais (SOUZA, 2000), Potencial de Erosão e práticas de manejo e conservação do solo e da água na Bacia Hidrográfica do Açude Orós. SA* (Sistemas Ambientais): DS (Depressão Sertaneja); PR (Planícies Ribeirinhas) SSA* (Sub-Sistemas Ambientais): SAMJ (Sertões do Alto e Médio Jaguaribe); DI (Depressão do Iguatu); SS (Sertões do Salgado); CR (Cristas Residuais); PF (Planície Fluvial). Fator Topográfico (LS): MB (muito baixo, 0 – 0,2); B (baixo, 0,3 – 0,9); M (médio, 0,9 – 2,5); A (alto, 2,5 – 5,7); MA (muito alto, 5,7 – 14,7); Erosividade (R): B (baixa, 5370 – 5640 MJ.mm/ ha.h); M (média, 5650 – 5850 MJ.mm/ ha.h); A (alta, 5860 – 6110 MJ.mm/ ha.h); MA (muito alta, 6120 – 6560 MJ.mm/ ha.h); Erodibilidade (K): B (baixa, < 0,015); M (média, 0,016 – 0,030); A (alta, 0,031 – 0,045); MA (muito alta, > 0,046); Potencial de Erosão (PE): B (baixo, < 1241, ton/ha/ano); M (médio, 1241-2482 ton/ha/ano); A (alto, 2482-3723 ton/ha/ano).

Tabela 23 – Características ambientais, potencial de erosão e práticas de manejo e conservação do solo e da água na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE. (Continuação).

SA	SSA	CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS	R	K	LS	PE	PROBLEMAS DE QUALIDADE AMBIENTAL	PROPOSTAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO
DS	SS	Superfície pediplanada truncando variados tipos de rochas dissecadas em feições variadas intercaladas por planícies fluviais estreitas e contínuas; escoamento superficial com rios de padrões dendríticos, sub-dendríticos e dendrítico-retangulares e escoamento intermitente sazonal. Pluviometria média com 850 mm; solos das classes dos Neossolos Litólicos, Luvisolos Crômicos, Neossolos Flúvicos e Vertissolos Háplicos. Caatinga arbustiva, pecuária, culturas de subsistência, arroz, feijão, milho e outras	B; M	A; MA	B; M	B, M	Ambiente com grandes irregularidades temporal e espacial das chuvas, média a elevada frequência de cursos d'água com regime intermitente e esporádico, baixo potencial de águas subterrâneas, favoráveis à utilização agropastoril com manejo adequado dos solos e das pastagens, necessidade de aumento da superfície hídrica; uso atual com predominância da pecuária extensiva	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio Direto • Produção Agrossilvipastoril • Cobertura Morta • Captação de água da chuva • Adubação verde e orgânica • Rotação de cultura • Adequação e recuperação de estradas vicinais e caminhos de serviços • Construção de pequenos reservatórios
	CR	Litotipos variados do Complexo cristalino com predominância de rochas mais resistentes ao trabalho da erosão; Feições aguçadas de relevos e morros residuais oriundos da erosão diferencial com áreas submetidas à morfogênese mecânica; ramificação da drenagem com padrões dendríticos e escoamento intermitente sazonal. Pluviometria de 500 a 700 mm, com Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos; caatinga arbustiva e vegetação rupestre	M; A; MA	A; MA	A; MA	A	Impróprias ao uso agrícola, exceto para uso silvicultural	<ul style="list-style-type: none"> • Terraços de retenção • Cordões de pedra em contorno • Cordões de vegetação permanente • Canais escoadouros • Captação de água da chuva

Características ambientais (SOUZA, 2000), Potencial de Erosão e práticas de manejo e conservação do solo e da água na Bacia Hidrográfica do Açude Orós. SA* (Sistemas Ambientais): DS (Depressão Sertaneja); PR (Planícies Ribeirinhas) SSA* (Sub-Sistemas Ambientais): SAMJ (Sertões do Alto e Médio Jaguaribe); DI (Depressão do Iguatu); SS (Sertões do Salgado); CR (Cristas Residuais); PF (Planície Fluvial). Fator Topográfico (LS): MB (muito baixo, 0 – 0,2); B (baixo, 0,3 – 0,9); M (médio, 0,9 – 2,5); A (alto, 2,5 – 5,7); MA (muito alto, 5,7 – 14,7); Erosividade (R): B (baixa, 5370 – 5640 MJ.mm/ ha.h); M (média, 5650 – 5850 MJ.mm/ ha.h); A (alta, 5860 – 6110 MJ.mm/ ha.h); MA (muito alta, 6120 – 6560 MJ.mm/ ha.h); Erodibilidade (K): B (baixa, < 0,015); M (média, 0,016 – 0,030); A (alta, 0,031 – 0,045); MA (muito alta, > 0,046); Potencial de Erosão (PE): B (baixo, < 1241, ton/ha/ano); M (médio, 1241-2482 ton/ha/ano); A (alto, 2482-3723 ton/ha/ano).

Tabela 23 – Características ambientais, potencial de erosão e práticas de manejo e conservação do solo e da água na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE. (Continuação).

SA	SSA	CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS	R	K	LS	PE	PROBLEMAS DE QUALIDADE AMBIENTAL	PROPOSTAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO
PR	PF	Sedimentos aluviais; áreas planas em faixas de aluviões recentes e baixadas inundáveis limitadas por níveis escalonados de terraços eventualmente mantidos por cascalheiras; escoamento intermitente sazonal em fluxo muito lento. Solos da classe dos Neossolos Flúvicos, e Vertissolos Háplicos	A - MA	B	MB, B	B	As principais limitações estão afetas aos problemas de salinização, inundações periódicas e más a moderadas condições de drenagem; representam setores preferenciais para a instalação de olarias, áreas com intenso uso agroextrativista e extrativismo mineral.	Irrigação localizada Captação de água da chuva Descompactação do solo Cobertura morta Adubação verde e orgânica Rotação de cultura Adequação e recuperação de estradas vicinais e caminhos de serviços Recuperação das APPs

Características ambientais (SOUZA, 2000), Potencial de Erosão e práticas de manejo e conservação do solo e da água na Bacia Hidrográfica do Açude Orós. SA* (Sistemas Ambientais): DS (Depressão Sertaneja); PR (Planícies Ribeirinhas) SSA* (Sub-Sistemas Ambientais): SAMJ (Sertões do Alto e Médio Jaguaribe); DI (Depressão do Iguatu); SS (Sertões do Salgado); CR (Cristas Residuais); PF (Planície Fluvial). Fator Topográfico (LS): MB (muito baixo, 0 – 0,2); B (baixo, 0,3 – 0,9); M (médio, 0,9 – 2,5); A (alto, 2,5 – 5,7); MA (muito alto, 5,7 – 14,7); Erosividade (R): B (baixa, 5370 – 5640 MJ.mm/ha.h); M (média, 5650 – 5850 MJ.mm/ha.h); A (alta, 5860 – 6110 MJ.mm/ha.h); MA (muito alta, 6120 – 6560 MJ.mm/ha.h); Erodibilidade (K): B (baixa, < 0,015); M (média, 0,016 – 0,030); A (alta, 0,031 – 0,045); MA (muito alta, > 0,046); Potencial de Erosão (PE): B (baixo, < 1241, ton/ha/ano); M (médio, 1241-2482 ton/ha/ano); A (alto, 2482-3723 ton/ha/ano).

5 CONCLUSÕES

As análises realizadas e os resultados obtidos neste trabalho permitem declarar as seguintes conclusões:

- SIG é fundamental para análise do Potencial de Erosão, pois permite a integração de dados espaciais. Por sua vez, as variáveis adotadas (R, K e LS) referentes ao modelo da EUPS, apresentaram resultados satisfatórios, mostrando um método rápido, de baixo custo e com relativa eficácia nos resultados gerados;
- O Potencial de Erosão (PE), quando apresentado em forma cartográfica, permite uma clara interpretação do risco de erosão que pode existir em função das características do meio físico. As estimativas do PE colaboram para um ordenamento do uso e ocupação de áreas potencialmente suscetíveis à erosão, evitando assim o acontecimento de desastres como enchentes e deslizamentos de terra, onerar custos de infra-estrutura, permitindo trazer a atenção dos planejadores e autoridades locais para as regiões mais frágeis, de relevo acidentado e com solos com alta erodibilidade.
- Através dos dados de radar do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), foi possível identificar as áreas de maior e menor potencial erosivo, principalmente em função da combinação dos fatores altitude, declividade e topografia, preponderantes no processo de erosão.
- Os resultados da análise da erosividade das chuvas na área de estudo mostram que o valor médio anual encontrado foi de 5500 (MJ.mm/ ha.h.ano) variando de 5370 (MJ.mm/ ha.h.ano) a 6560 (MJ.mm/ ha.h.ano). O mês de março apresentou 40% da erosividade total;
- Na área de estudo foi possível verificar que as altas erodibilidades (41,23%) estão associadas, principalmente aos Neossolos Litólicos e os Vertissolos; As médias erodibilidades se concentram nas áreas representadas pelos Luvisolos e Argissolos (50,68%); As baixas erodibilidades estão nos Neossolos Flúvicos, compreendendo a menor proporção na bacia (8,09%);
- Os solos litólicos contribuem com o processo erosivo, pois são mais rasos aumentando a suscetibilidade de instalação dos processos de degradação. As áreas de solos de aluviões apresentaram os menores valores de perda de solo por erosão. Esse resultado

pode ser explicado pelo fato das aluviões encontram-se nas partes de baixadas (fundo de vales) com menores declividades e menores comprimentos de rampa.

- A análise hipsométrica, permitiu que do ponto de vista geomorfológico pudesse revelar informações objetivas e importantes ligados à distribuição dos gradientes altimétricos da bacia e o seu grau de dissecação, que de forma direta influenciam no grau de vulnerabilidade do solo à erosão.
- O fator LS, apresenta amplitude de 0 a 14,7 (valores adimensionais) com média de 0,3 e desvio padrão de 0,7. O intervalo de 0 a 0,3 representa 69,66% do território da Bacia de Drenagem do Açude Orós, isso demonstra uma grande extensão de áreas com baixo declive. Verifica-se o predomínio da erosão laminar na Bacia de Drenagem do Açude Orós. Desta forma é possível observar que o valor de LS é baixo nos interflúvios (topos de morros e chapadas), uma vez que o comprimento de vertente e a declividade são reduzidos. Onda há distâncias significativas do divisor de águas e onde há convergência de fluxo (vertentes côncavas), bem como altas declividades, o valor de LS tende a ser elevado;
- As áreas mais propensas à erosão laminar na bacia estão localizadas em áreas agrícolas e áreas declivosas, em especial nas redes de drenagem. O Mapa de Potencial de Erosão obtido através do cruzamento dos mapas de Erosividade, Erodibilidade e Fator Topográfico têm um papel significativo, pois ao identificar as áreas mais susceptíveis à erosão permite a possibilidade de melhor ordenamento do uso do solo;
- 64,52 % da área da bacia apresentou a estimativa de perda de solo acima de 30 (ton/ha.ano) com média para toda a área de 32 (ton/ha.ano). Pôde-se verificar que aproximadamente 76,21% da área em estudo apresenta perda de solo superior ao limite tolerável, o que a define como "área prioritária a ser recuperada" dentro do planejamento local;
- As recomendações para as áreas com alto risco de erosão são: implantação de cultivos e/ou pastagens sob controle de práticas conservacionistas; reposição da vegetação nas áreas mais elevadas; evitar queimadas nas áreas de pastagens. As recomendações para as áreas com baixo risco de erosão são: plantio de vegetação ciliar; incentivar e apoiar a comunidade na aplicação de tecnologias para conservação e melhor utilização destes ambientes; adoção de rodízio no pastoreio do gado para diminuir o pisoteio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAUJO FILHO, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 03, p.270-278, 2006.
- AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. **Catena**, Amsterdam v. 64, n. 1, p. 247-271, 2005.
- 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.
- ALCÂNTARA, E. H. de.; SOUZA, A. Produção de sedimentos na zona costeira da Bahia – Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, v. 62/02. p 199205. 2010.
- ALMEIDA, L.Q de. Diagnóstico Socioambiental e Contribuições para o Planejamento Ambiental do Município de Maracanaú – CE. In: **Caminhos da Geografia**. Programa de Pós – Graduação em Geografia. Uberlândia, v. 2, 108 –125. 2005.
- ALVARES, C. A. E SILVA, A. M. Características das vertentes e potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Pinheirinhos (Torrinha / Brotas – SP), In: Anais do 11o **Simpósio Bras. de Geografia Física Aplicada**, USP - São Paulo – SP, 11 p., 2005.
- ALVES, N. N. L. Caracterização de micro-bacia hidrográfica experimental no semiárido brasileiro como suporte a estudos da degradação. 2008. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará.
- AQUINO, C. M. S. et al., Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 3, p. 287-291, 2006.
- AQUINO, D. N. et al. Aplicação da USLE e SIG na Estimativa da Perda de Solos em uma Micro Bacia Hidrográfica do Semiárido do Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36 p., 2007. Bonito. **Anais...** Mato Grosso do Sul: CONBEA. CD-ROM.
- ARAÚJO, J. C. de. Assoreamento em reservatórios do semiárido: Modelagem e validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 39-56, 2003.
- ARAÚJO, J. C., BRONSTERT, A., GÜNTNER, A. Influence of reservoir sedimentation on water yield in the semiarid region of Brazil. In: VIIth IAHS Scientific Assembly, 2005, Foz do Iguaçu. Sediment Budgets, **IAHS Publication** 292. Wallingford: v.2, p.301-307, 2005.
- ARAÚJO, J. C. DE; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques**, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006.
- ARAÚJO, J. C. DE; GONZALEZ PIEDRA, J. I. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 169-178, 2009.

ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO CASES, A.; BOIX-FAYOS, C.; LAVÉE, H.; SARAH, P. Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes (Alicante, Spain). **Geomorphology**, v. 101, n. 4, p.595-606, 2008.

AUERSWALD, K.; FIENER, P.; DIKAU, R. Rates of sheet and rill erosion in Germany – A meta-analysis. **Geomorphology**. v. 111, p. 182-193, 2009.

AVANZINI, J. C. **Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos tabuleiros costeiros**. Lavras, MG, 2005. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras.

AVANZINI, C. J.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MELLO, C. R. de; FONSECA, S.; Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 563–569, 2008.

BAKKER, M. M.; GOVERS, G.; KOSMAS, C.; VANACKER, V.; VAN OOST, K.; ROUNSEVELL, M. Soil erosion as a driver of land-use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 105, p. 467–481, 2005.

BAKKER, M. M.; GOVERS, G.; ROUNSEVELL, M. D. A. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. **Catena**, v. 57, p. 55–76, 2004.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Proposta de dimensionamento do semiárido brasileiro**. Fortaleza, CE, 2005. 107 p.

BARBOSA, I. O. Distribuição dos Solos nas Chapas Elevadas do Distrito federal, com Emprego de Geoprocessamento. Brasília, DF, 2007. 125 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília.

BARBOSA, Í. S.; ANDRADE, L. A.; ALMEIDA, J. A. P. Evolução da cobertura vegetal e uso agrícola do solo no município de Lagoa Seca, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, p. 614–622, 2009.

BARRETO, F. M. S. **Contaminação da água subterrânea por pesticidas e nitrato no Município de Tianguá, Ceará**. Fortaleza, CE, 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Ceará.

BARRIOS R., A. G. Distribución especial del factor LS (RUSLE) usando procedimientos SIG compatibles con Idrisi aplicación en una microcuenca Andina. **Rev. For. Venezolana** 44 (1): 57-64, 2000.

BASIC, F.; KISIC, I.; MESIC, M.; NESTROY, O.; BUTORAC, A. Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. **Soil Tillage Res**, 78:197-206, 2004.

BASTOS, R. A. B. **Áreas de fragilidade ambiental: uma abordagem metodológica para áreas de expansão urbana com risco potencial á erosão**. Estudo de caso: Bairro Urbanova – São José dos Campos/SP. São José dos Campos, SP. 2006. 153 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Universidade do Vale do Paraíba.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **R. Bras.Ci. Solo**, v. 31, p. 133-142, 2007.

BERTOL, I.; ZOLDAN JUNIOR, W. A.; FABIAN, E. L.; ZAVASCHI, E.; PEGORARO, R.; PAZ GONZÁLEZ, A. Efeito de escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. **R. Bras.Ci. Solo**, 32:747-757, 2008.

BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P.; LUCIAN, R. V.; FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **R. Bras. Ci. Solo**, vol.34, n.1, p. 245-252, 2010.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6ª ed. São Paulo, Ícone. 2008. 355p.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, v. 13, p. 1-21. 1969.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURTI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, J.C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, 79: 49-59, 2009.

BIGARELLA, J. J. Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. 2ª ed. Florianópolis: UFSC, 2003.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; CALVO-CASES, A.; CASTILLO, V., ALBALADEJO, J. Concise review of interrill erosion studies in SE Spain (Alicante and Murcia). Erosion rates and progress of knowledge in the last two decades. **Land Degradation and Development**, v. 16, p. 517-528, 2005.

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A.C; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Código Florestal Brasileiro**. Brasília: DOU, 1965.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília: DOU, 1981.

BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, n.1, p.1-5, 2004.

CABRAL, N. R. A. J.; SOUZA, M. P. **Área de Proteção Ambiental: planejamento e gestão de paisagens protegidas**. 2ª. ed. (revisada e atualizada). São Carlos: Rima Editora, 2005.

CALEGARI, A.; COSTA, A. Sistemas conservacionistas de uso do solo. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 279-307. 2010.

CALVO-CASES, A.; BOIX-FAYOS, C.; IMESON, A. C. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous limestone slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. **Geomorphology**, v. 50, p. 269–291, 2003.

CAMARGO, L. H. R. **A geografia da complexidade: o encontro transdisciplinar da relação sociedade e natureza**. 2002. 207 p. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CAMPOS FILHO, O. R. I. de; SILVA, F. da; ANDRADE, A. P. de; LEPRUN, J. C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.9, p.1363 –1370, 1992.

CAPECHE, C. L. **Processos Erosivos em Áreas da Usina Hidroelétrica Franca Amaral**, Bom Jesus do Itabapoana, RJ, p. 9-11-12, dez. 2005.

CARVALHO, O.; NASCIMENTO, F. R. do. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável (escala de necessidades humanas e manejo ambiental). In: **GEographya**, Revista da Pós-Graduação da UFF. Niterói: RJ, 2004. P. 111-126.

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

CASTELLANO, M. J.; VALONE, T. J. Effects of livestock removal and perennial grass recovery on the lizards of a desertified arid grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 66, p. 87-95, 2006.

CATANOCE, A. Subsídio à Gestão Ambiental Integrada de Bacia hidrográfica Visando a Sustentabilidade, de Acordo com os Princípios da Agenda 21. São Carlos, São Paulo, 2002. Tese (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos.

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

CEARÁ. Assembléia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Alto Jaguaribe**. Assembléia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009.119p.

CECÍLIO, R. A.; RODRIGUEZ, R. G.; BAENA, L. G. N.; OLIVEIRA, F. G.; PRUSKI, F. F. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.4, n.2, p.39-45, 2009.

CERDÀ, A.; MORERA, A.G.; BODI, M.B. Soil and water losses from new citrus orchards growing on sloped soils in the western Mediterranean basin. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 34, n. 13, p. 1822-1830, 2009.

CERDAN, O.; GOVERS, G.; BISSONNAIS, Y. LE; VAN OOST, K.; POESEN, J.; SABY, N.; GOBIN, A.; VACCA, A.; QUINTON, J.; AUERSWALD, K.; KLIK, A.; KWAAD, F.J.P.M.; RACLOT, D.; IONITA, I.; REJMAN, J.; ROUSSEVA, S.; MUXART, T.; ROXO,

M.J.; DOSTAL T. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. **Geomorphology**, v. 122, p. 167-177, 2010.

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Rev. Bras. Ci. Solo**. 32: 333-343. Brasília – DF, 2008.

CHAVES, H. M. L. Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação. **Rev. Bras. Ci. Solo**. v. 34 p. 2021-2029, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. In GUERRA, Antonio José Teixeira e CUNHA, Sandra Baptista da org. **Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem dos Sistemas Ambientais**. São Paulo: Ed. Edgard, 1999.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. Singapura: McGRAWHILL. International Editions: Civil Engineering Series, 1988. 572 p.

COELHO NETO, ANA L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.) **Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 93 - 148.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743 - 753, 2003.

CORREA, C. M. C.; ROLOFF, G.; SILVA, I. C. Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas florestais, em duas condições de solo e relevo e quatro perfis de solo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.76, p. 57-66, dez. 2007.

COSTA, A. C. **Hidrologia de uma bacia experimental em caatinga conservada no semiárido brasileiro**. Dissertação de mestrado, Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. 2007.

CPRM. **Atlas de geologia e recursos minerais do Ceará**: sistema de informações geográficas - SIGE. Mapas na escala 1:500.000. CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2003.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, E. F.; Zoneamento ecológico-econômico. In: Florenzano, T. G. (org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. cap. 10, p. 285-316.

CREUTZFELDT, B. Remote sensing based characterization of land cover and terrain properties for hydrological modeling in the semi-arid Northeast of Brazil. Final Year Work, Potsdam University, Potsdam, Germany, 2006.

CUNHA, S. B. da. Geomorfologia Fluvial. In GUERRA, Antonio José Teixeira & CUNHA, Sandra Baptista da org. **Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001.

DE BIASI, M. A Carta Clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.

DE JONG VAN LIER, Q.; SPAROVEK, G.; FLANAGAN, D.C.; BLOEM, E.M.; SCHNUG, E. Runoff mapping using WEPP erosion model and GIS tools. **Computers and Geosciences**, New York. 2005. v. 31, n. 10, p. 1.270-1.276.

DE MARIA, I. C. Geotecnologias e modelos aplicados ao manejo e conservação do solo e da água. In: PRADO, R. B., TURETTA, A. P. D., ANDRADE, A. G. de. (Org.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

DESIR, G.; MARÍN, C. Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). **Catena**, v. 71, p. 31–40, 2007.

DONHA, A.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 175-181, 2006.

DUQUE, G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. Fortaleza, CE. Banco do Nordeste, 2004. 329p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS. 2006. 306p.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G.; DANTAS, A. A. A.; BERNARDINO, D. T. Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. **Irriga, Botucatu**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2006.

FARIAS, T. R. L., **Produção de sedimentos em bacias hidrográficas sob diferentes contextos geoambientais: medida e modelagem**. 2008. 210 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará.

FARINASSO, M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 2 p. 73-85, 2006.

FÁVERO, O. A.; NUCCI, J. C.; BIASI, M. Hemerobia nas Unidades de Paisagem da Floresta Nacional de Ipanema, Iperó/SP: Conceito e Método. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2004. p. 550-559.

FERRO, V. Deducing the USLE mathematical structure by dimensional analysis and self-similarity theory. **Biosyst. Eng.**, 106:216-220, 2010.

FILHO, F. de A, de S.; MOURA, A. D. **Memórias do Fórum Natureza e Sociedade nos Semiáridos**. Fortaleza, Ceará. Banco do Nordeste do Brasil; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2006.

FORNELOS, L. F.; NEVES, S. M. A.S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.1, n.59, p.25-33, 2006.

FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. **Association Hydrologic Int. public**, v. 38, 1956.

FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J. A. A. Quantificação de erosão em Sistemas Agroflorestais e Convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 06, p. 751-760, 2002.

FREITAS, A. J. Gestão de recursos hídricos. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. 659 p.

FREITAS, F. J.; CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; SILVA, M. D. R. O.; SANTOS, P. M.; CORREA, R. M.; LIMA, P. A.; FIGUEIRA, S. B. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1743-1751, 2008.

FUCK JÚNIOR, S. C. F. Subsídio à gestão ambiental: descrição fisiográfica e análise funcional das bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí – UFG**, 2008.

FUNCEME. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará**: parte II mesorregião do sul cearense. Fortaleza, CE, 2006.

FUNCEME. Download de Séries Históricas... 2011. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas>>. Acesso em: jan 2012.

GABRIELS, D.; GHEKIERE, G.; SCHIETTECATTE, W. & ROTTIERS, I. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. **Soil Tillage Res**, 74:47-53, 2003.

GOODCHILD, M. F. et al.; Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities. **International Journal of GIS**, v. 6, n. 5, p. 407-423, 1992.

GOMES, A. G. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região semi-árida utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento - área piloto de Parnamirim (PE). São José dos Campos, 2005. 165f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

GOMES, D. D. M. Análise da Degradação da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas / CE por Meio de Ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Fortaleza, CE, 2010. Monografia (Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos) Universidade Estadual do Ceará.

GOMES, D. D. M. Geoprocessamento Aplicado a Análise da Vulnerabilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas – Ceará. Fortaleza, CE. 2011. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Ceará.

GONÇALVES, D. B. Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.10, [S.I.], 2009.

GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D. ; PRUSKI, F. F. ; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.269–276, 2006.

GRILO, R. C.; ENAMI, L. Gestão de bacias hidrográficas com o uso de modelo preditivo de erosão dos solos e sistemas de informação geográfica. Araras, SP, **UNAR**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2008.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7^a ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil. 2007. p. 149-209.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. (orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental (Cap. 6). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **A questão ambiental – diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.

GUERRA, A. J. T; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Reflexões sobre Geografia Física do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 225-256.

GUIMARÃES, L. J. R.; SANTOS, L. J. C. L. Levantamento das áreas potenciais à erosão laminar como suporte à detecção das áreas-fonte ao assoreamento na barragem Piraquara1. **Revista Eletrônica Geografar**. v. 2, p. 172-188, 2007.

GUADAGNIN, S. G.; RATH, S.; REYES, F. G. R. Evaluation of the nitrate content in leaf vegetables produced through different agricultural systems. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 22, n. 12, p. 1203-1208, 2005.

HELPER, F.; RISSO, A.; BELTRAME, L. F. de S.; MERTEN, Gustavo Henrique . Estimativa de Perda de Solo por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá Usando Técnicas de Geoprocessamento. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba, PR. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**.

HILU, ANDREY. **Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi no Estado do Paraná**, Curitiba, PR, 2003. 107 p. (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Universidade Federal do Paraná – UFPR.

HUDSON, N. **Soil conservation**. Iowa State University Press. Iowa, 1981.

KASSAS, M. Desertification: a general review. **Journal of Arid Environments**, v. 30, p.115-128, 1995.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. **J. Hydrol.**, 385:384-397, 2010.

IPECE. **Perfil básico municipal**. Fortaleza, 2010.

LI, X. R.; JIA, X. H.; DONG, G. R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p. 505-522, 2006.

LIMA, L. C.; MORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza, CE: UNECE, 2000.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. Limitações do uso dos solos do Estado do Ceará por suscetibilidade à erosão. **Embrapa**, Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 19p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 54). Disponível em: <http://www.cnpat.embrapa.br/publica/pub/SerDoc/doc_54.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2012.

LOPES, J. F. B. Deposição e decomposição de serapilheira em área da caatinga cearense. Fortaleza, CE, 2008. 43p. Monografia (Curso de Agronomia) Universidade Federal do Ceará.

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

LORANDI, R.; TAKEMOTO, F.; SALVADOR, N. N. B; TORRESAN, F. E. Carta de potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do córrego do Monjolinho (São Carlos, SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 53, p. 111-117, 2001.

LUFARAA, A.; TENYWAA, M. M.; ISABIRYEB, M.; MAJALIWAA, M. J. G.; WOOMERC, P. L. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model. **Agricultural Systems**, v. 76, p. 883–894, 2003.

LUIZ, J. C. **As unidades de paisagem na bacia do rio guabiroba, Guarapuava-PR, e a fragilidade ambiental**. Maringá, PR, 2007. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental). Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes de Maringá-PR.

MACHADO, W.; STIPP, N. A. F. Caracterização do manejo de solo na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Apertados - PR. **Geografia, Londrina**, v. 12, n. 2, jul/dez. 2003.

MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; ANDRADE, A. G. de; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil Till. Res.**, 80: 185-200, 2005.

MAFRA, N. M. C. **Esquema metodológico para la planificación de usos del suelo em zonas tropicales húmedas**: aplicação a la Region Norte del Estado del Rio de Janeiro, Brasil. Valência, 1997. Tese (Doutorado em Edafologia) - Universitat de València. Facultat de Geografia e Historia.

MAIA JÚNIOR, L. P. **Estudo dos Impactos do Desmatamento sobre os Microclimas da Microbacia do Riacho do Boqueirão (Sobral - CE)**. Fortaleza, CE, 2011. Dissertação apresentada ao Mestrado em Geografia - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. da R. Fator Erodibilidade e Tolerância de Perda dos Solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum, Maringá**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MARQUES, J. J. G. de S. M. Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. Lavras, 1996. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras.

MARTÍNEZ-MENA, M.; LOPEZ, J.; ALMAGRO, M.; BOIX-FAYOS, C.; ALBALADEJO, J. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 99, p. 119–129, 2008.

MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NORTON, L. D.; FONSECA, S. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the Coastal plain of Espírito Santo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 999-1004, 2010.

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. D. Quantidade de recursos hídricos. In: PAIVA, J. B.D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre, RS: ABRH, 2001. cap. 19, p. 531-566.

MATALLO JUNIOR, H. A Desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S.; MATALLO JUNIOR, H. **Desertificação**. UNESCO, 1999, 2003. p. 9-25.

MATA, C. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da suscetibilidade erosiva na bacia do rio Urucuia (MG) por meio da equação universal de perdas de solos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, p. 5569, 2007.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAUJO, J. C.; MAMEDE, G. L. Padrão espacial da produção de sedimentos em bacias hidrográficas: o caso do Benguê, Ce. In: IDE, C. N.; VAL, L. A. A.; RIBEIRO, M. L. **Produção de Sedimentos e seus Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos**. Campo Grande, MS: Oeste, p. 337-356, 2009.

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

MEDEIROS, P. H. A.; GÜNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G.L.; ARAÚJO, J.C. Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model. **Hydrological Sciences Journal**, v. 55, n.4, p. 636-648, 2010.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 315–322, 2006.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, 42:537-545, 2007.

METZGER, M. J.; ROUNSEVELL, M. D. A.; ACOSTA-MICHLIK, L.; LEEMANS, R.; SCHOTER, D. The vulnerability of ecosystems services to land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 114, n. 1, p. 69-85, 2006.

MOEHANSYAH, H.; MAHESHWARI, B.L.; ARMSTRONG, J. Field evaluation of selected soil erosion models for catchment management in Indonesia. **Biosyst. Eng.**, 88:491-506, 2004.

MOLINERO, G. R. Modelagem de Previsão de Processos Erosivos. Brasília, DF, 2007. 162 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília.

MOLLE, F. Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento. SUDENE, DPG. PRN. HME, 1994. 193 p.

MONTEIRO, C. A. F. Davis e a teoria geográfica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, UGB, v. 2, n. 1, p. 1-20, 2001.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000. 125p.

MOREIRA, R. **Para onde vai o pensamento geográfico?** Por uma epistemologia crítica. São Paulo: Contexto, 2006.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion & conservation**. Longman: Blackwell, 1995.

MUNIZ, A. C. F.; OLIVEIRA, J. G. B. Condicionantes naturais e socioeconômicos da desertificação nos trechos médio e baixo do vale do rio Jaguaribe no estado do Ceará. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2010, Coimbra. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010. 12 p.

NASCIMENTO, W. M.; VILLAÇA, M. G. Bacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, v. 1, n. 7, p. 102-120, 2008.

NASCIMENTO, F. R. do; SOUZA, M. J. N. de; CRUZ, M. L. B. da. Enfoque geoambiental para o tratamento da degradação/desertificação no município de Sobral-Nordeste do Brasil/CE. **Ateliê geográfico**, v. 1, n.2, p.80-101, 2007.

NAVAS, A.; MACHÍN, J., SOTO, J. Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout ¹³⁷Cs. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, n. 3, p. 493-506, 2005.

NUNES, A. N.; ALMEIDA, A. C.; COELHO, C. O. A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. **Applied Geography**, v. 31. p. 687-699, 2011.

OLIVEIRA, P. T. S. Zoneamento ambiental no planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Campo Grande, MS, 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Res. Manag.**, 25:1021-1036, 2011.

OLIVEIRA, V. P. V. de. **Prospección, caracterización y cartografía edafopaisajística en una región montañosa del semiárido brasileño: la Sierra de Uruburetama (Sertão nordestino – Ceará – Brasil)**. Almería: Universidad de Almería, 2002.

OLIVEIRA, V. P. V. de. Sustainable use of natural resources in the municipality of Tauá-Ceará. In: GAISER, T. et al. **Global change and regional impacts**. Nova Iorque: Springer, 2003. p. 305-322.

OLIVEIRA, V. P. V. de. Análise integrada do Setor Oriental da Ilha de Santiago, em Cabo Verde – África. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., Viçosa, MG. **Anais**. Viçosa, MG: UFV, 2009.

OLIVEIRA, M. A.; SARAIVA, M. C.; ARARIPE, M. A.; ARARIPE, M. A. E.; OLIVEIRA, N. de C. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

OLIVEIRA, A. M. S.; ANDRADE, M.R.M.; SATO, S.E. QUEIROZ, W. Mapa de unidades geoambientais do município de Guarulhos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 2010, Maringá. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2010. CD-ROM.

OLIVEIRA, V. P. V. de. A Problemática da Degradação dos Recursos Naturais no Domínio dos Sertões do Estado do Ceará – Brasil. In: SILVA, J. B. da. (orgs). **Litoral e Sertão, Natureza e Sociedade no Nordeste Brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, p. 209 a 222. 2006.

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

OKA-FIORI, C.; HASUI, Y. Geomorfologia e Dinâmica Temporo-Espacial da Bacia do Itiquira: Pantanal Matogrossense - MT, MS. Rio Claro, SP. 2002. Tese (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas) – Universidade Estadual Paulista.

OKA-FIORI, C.; FIORI, Alberto Pio; HASUI, Yociteru. Tolerância de Perdas de Solo na Bacia do Rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 54, n. 0, p. 83-99, 2004.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB: DE Ag/UFCG v. 10, n. 2: 261 - 268. 2006.

PARK, S. J.; BURT, T. P. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 66, n. 6, p. 1897-1910, 2002.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; SILVEIRA, A. L. L. Improvements in large scale drainage networks derived from digital elevation models. **Water Resources Research** v. 42 n. 8. 2006.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. Derivação de rede de drenagem a partir de dados do SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica** v. 2 n. 2 (viii. 2008) 84-95. 2008.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia** v. 56, p. 28-33, 2004.

PETAN, S.; RUSJAN, S.; VIDMAR, A.; MIKOS, M. The rainfall kinetic energy-intensity relationship for rain fall erosivity estimation in the mediterranean part of Slovenia. **Journal of Hydrology**. v. 391, p. 314-321, 2010.

PINTO, S. A. F.; GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, 17, p. 30-37, 2005.

PINTO, A. L. Riscos Naturais e Carta de Riscos Ambientais: Um Estudo de Caso da Bacia do Córrego Fundo, Aquidauana, MS. In: **Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro, v. 2, n. 1, p. 91-109, jan/jun. 2007.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. São Paulo, Estud. Av., 2008. v. 22, n. 63, p.43-60.

PORTO, E. R; SILVA, A de S., BRITO, L. T. de L. Conservação e uso racional de água agricultura dependente de chuvas. In: PRADO, R. B., TURETTA, A. P. D., ANDRADE, A. G. de., (orgs). **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

PREVIATI, M. et al. Evaluation of soil water storage efficiency for rainfall harvesting on hillslope micro-basins built using time domain reflectometry measurements. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 449-456, 2010.

PRUSKI, F. F. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2009. 279p.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2008. 87 p.

RADAMBRASIL (1981). **Folhas SB 24/25 Jaguaribe; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Levantamento de Recursos Naturais, vol. 23. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro.

RANZINI, M.; RIGHETTO, A. M.; LIMA, W. P.; GUANDIQUE, M. E. G.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Processos Hidrológicos de uma Microbacia com Mata Atlântica, na Região da Serra do Mar, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 66, p. 108-119, 2004.

REBOUÇAS, A.C.; JUNIOR, B.; TUNDISI, J. G. **Água doce no Brasil**. Universidade de São Paulo. Instituto de Estudos Avançados, 2011.

RENARD, K. G.; MEYER, L. D.; FORSTER, G. R. Introduction and history. In: RENARD, K. G.; FORSTER, G. R.; WEESIES, G. A; McCOOL, D. K.; YODER, D.C. (Coord.) – **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**, Washington: USDA/ARS, 1997, p. 2 –18, (Agriculture Handbook n. 703).

RENSCHLER, C. S.; HARBOR, J. Soil erosion assessment tools from point to regional scales the role of geomorphologists in land management research and implementation. **Geomorphology**, v. 47, p. 189–209, 2002.

RETZLAF, J. G. **Análise De Processos Erosivos Em Parques Estaduais Dos Campos Gerais - Pr** . Londrina, PR, 2008. 113 p. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Estadual de Londrina.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 628-636, 2007.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

RODRIGUES, J. O. Uso da terra e a resposta hidrossedimentológica em pequenas bacias hidrográficas semiáridas. Fortaleza, CE, 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. (org). **Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

RODRIGUES, J. O. et al. Equações de intensidade – duração – frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agrária**, v.9, n.4, p.511-519, 2008.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, 16 (2006) 81-90.

ROSE, C. An introduction to the environmental physics of soil water and watersheds. Cambridge, UK: [Cambridge press], 2004. 443 p.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 8, p. 63-73, 1994.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa e para o Planejamento Ambiental. p. 66-75. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 9, p. 66-75, 1995.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208 p.

ROSS, J. L. S **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 8ª ed. São Paulo: Contexto, (Repensando a Geografia). 2005. 85 p.

SALES, M. C. L. Estudos climáticos, morfo-pedológicos e fito-ecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba - Ceará. São Paulo, 2003. 133 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo.

SALOMÃO, F. X. T.; Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. DA.; BOTELHO, R. G. M.; (orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2005. p.229-267.

SAMPAIO, E. V. de, S. B. Características e Potencialidades. In: **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. GARIGLIO, M. A. et al (orgs.) Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

SAMPAIO, E. V. de S. B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, G. V. **Desertificação no Brasil –Conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 202p.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**. v.14, n.2, p. 115-123, 2010.

SANTOS, G. S.; NORI, P. G. OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.115–123, 2010.

SANTOS, J. O. do. Vulnerabilidade Ambiental e Áreas de Risco na Bacia Hidrográfica do Rio Cocó – RMF. 2006. 212p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual do Ceará.

SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R. Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 813-820, 2011.

SANTOS, A. M.; TABARELLI, M. Distance from roads and cities as a predictor of habitat loss and fragmentation in the Caatinga vegetation of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, n. 4b, p. 897-905. 2002.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **Revista: Geografia em Debate**, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.

SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R. Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 813-820, 2011.

SANTOS, J. C. N. **Erosão laminar em microbacia com cobertura herbácea no semi-árido cearense**. Iguatu, CE, 2009. 71 p. Monografia (Graduação em Irrigação e Drenagem) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceara.

SANTOS, L.; BACCARO, C. A. D. Caracterização Geomorfológica da Bacia do Rio Tijuco. **Revista Caminhos de Geografia**: Instituto de Geografia - UFU, Uberlândia, v. 5, n. 11, p. 1 – 21, 2004

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALLI, N. E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J.M.F. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 812-820, 2007.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SANTOS, S. B. dos. Análise do uso e ocupação do solo de áreas de preservação permanente utilizando ferramentas do SIG na gestão de bacias hidrográficas: O caso da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço. Itajubá, 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **Revista Geografia em Debate**, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.

SCHÄFER, M. J.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A.; ELTZ F. L. F.; REINERT, D. J. Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 419-430, 2001.

SCHENKEL, C. MATALLO, JUNIOR. **Desertificação**. Unesco: Brasília, 1999.

SCHOTER, D.; METZGER, M. J.; CRAMER, W.; LEEMANS, R. Vulnerability assessment – analysing the human-environment system in the face of global environmental change. **ESS Bulletin**, v. 2, n. 2, p. 11-17, 2004.

SERGIO, J.; COSTA, C. A. G.; TEIXEIRA, A. S.; ORTEGA, E. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três microbacias hidrográficas no Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, São José dos Pinhais, v.6, n.2, p.213-221, 2008.

SERIO, J. et al. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**. v. 6, n. 2, p. 213-221, 2008

SLIMANI, H.; AIDOUD, A.; ROZE. F. 30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 685-691, 2010.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C. Análise da Fragilidade Ambiental do Córrego das Moças em Uberlândia - MG. **Anais...** UFV: Viçosa, 2009.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P.M. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de Latossolos no sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa-MG, v. 32, n. 5, p. 2.125-2.134, 2008.

SILVA, A. M.; Aplicações de técnicas de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica. São Carlos, SP. 1999. 249 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E. E CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**, 2^a ed. São Carlos – SP, Brasil: Editora Rima, 2007. 153 p.

- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, p.251-259, 2004.
- SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. **Revista Tecnologia**, v. 28, p. 136-159, 2007.
- SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C.; BRITO, L. T.L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, A. B.; ARAÚJO, F. J. C.; & LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina: EMBRAPA-CPTSA, 1993. 2 v.
- SILVA, J. R. C.; DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II - Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 347-354, 2003.
- SILVA, J. S. V.; CARVALHO, J. R. P.; SANTOS, R. F.; FELGUEIRAS, C.A. Zoneamentos ambientais: quando uma unidade territorial pode ser considerada homogênea? **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 83-92, 2007.
- SILVA, L. C. N; FERNANDES, A. L.V; IZIPPZTO, F.J; OLIVEIRA,W. Uso do Solo no Manejo de Bacias Hidrográficas: O caso da Microbacia Córrego Prata, Três Lagoas MS. **Rev. Brasileira de Geografia Física**. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista>>. Acesso em: 10 mar. 2010.
- SILVA, L. P.; MANIESI, V. Avaliação dos limites de uso e ocupação e as pequenas centrais hidrelétricas da sub-bacia do rio Enganado – Rondônia: uma proposta de uso sustentável. **Geociências**, v. 24, n. 3, p. 267-276, 2005.
- SILVA, M. L. N. Erosividade da chuva e proposição de modelos para estimar a erodibilidade de Latossolos brasileiros. Lavras, 1997. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras.
- SILVA, E. C. S. Estudo regional para a avaliação da erosão laminar potencial na bacia hidrográfica do reservatório Corumbá IV. Brasília, DF, 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília.
- SILVA, F. G. B.; MINOTTI, R. T.; NETO, F. L.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Eng Sanit Ambient**.v.15, n.2, pg 141-148, abr/jun 2010.
- SIMS, A. D.; WOODROFFE, C. D.; JONES, B. G. **Application of RUSLE for erosion management in a coastal catchment southern NSW**. Disponível em: <<http://ro.uow.edu.au/scipapers/34>> Acesso em: 10 dez. 2011.
- SMULYAN, M. H. **Application of the RUSLE erosion equation to the San Pedro Creek Watershed in Pacifica, California using ArcGIS 9.3.1**. Disponível em: <http://bss.sfsu.edu/jdavis/geog621/projects%20and%20data/Smulyan_Final%20Paper.pdf> Acesso em: 1 nov. 2011.
- SOTCHAVA, V. B. O Estudo dos Geossistemas. **Método em Questão** nº 16, IGEOG – USP, São Paulo, 1977.

SOUZA, A. P. de S. B. Monitoramento do efeito residual da degradação e bioindicadores da recuperação do solo. Cruz das Almas, BA, 2010. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

SOUZA FILHO, F. de A. de. Natureza e desenvolvimento nos semi-áridos. In SOUZA FILHO, F. de A. de; MOURA, A. D. (orgs). **Memórias do Fórum Natureza e Sociedade nos Semi-áridos**. Fortaleza, CE: Banco do Nordeste do Brasil; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2006. 332 p.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao Estudo das Unidades Morfoestruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**. Fortaleza, v. 01. p. 73-91, jun. 1988.

SOUZA, M. J. N. Bases Naturais e o Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: LIMA, L. C.; MORAIS, de J.O.; SOUZA, M.J.N de. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Parte I. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SOUZA, M. J. N. Compartimentação Geoambiental do Estado do Ceará. In: **Ceará: Um Novo Olhar Geográfico**. José Borzacchiello da Silva et.al. Fortaleza: Edições Demócrito rocha, 2005.

SOUZA, M. J. N. Contexto Geoambiental do Semi-Árido do Ceará: Problemas e Perspectivas. In: SOBRINHO, J. F.; FALCÃO, C. L. da C. (orgs.). **Semi-árido: diversidades, fragilidades e potencialidades**. Sobral: Sobral Gráfica, 2006. 213p.

SOUZA, M. J. N. **Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza**: Subsídios ao Macrozoneamento Ambiental e à Revisão do Plano Diretor Participativo-PDPFor/ Marcos José Nogueira de Souza... [et al.]. – Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2009. 172p.

SPÖRL, C. Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. São Paulo: FFLCH – USP, 2001. (Dissertação de Mestrado).

SPÖRL C.; ROSS J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. GEOUSP. Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15. p. 39-49, 2004.

SU, Y. Z. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. **Soil & Tillage Research**. v. 75, p. 27-36, 2004.

THOMAS, M. F. Landscape sensitivity in time and space: an introduction. **Catena**. v 42, p. 83-98. 2001.

TIXIER, J.; DANDRIEUX, A.; DUSSERE, G.; BUBBICO, R.; MAZAROTTA, B.; SILVETTI, B.; HUBERT, E.; RODRIGUES, N.; SALVI, O. Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project. **Journal of Hazardous Materials**, v. 130, n. 3, p. 251-264, 2005.

THOMAZ, E. L. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 130, p. 23–30, 2009.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. Determinação da capacidade de usos do solo de bacia hidrográfica através da sistematização da EUPS no SPRING. Unesp: **Geociências**, v. 26, n. 4, p. 323-332, 2007.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa 2005. 69 f.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control.** New York: John Wiley & Sons, 2002. 337p.

TRAN, L. T.; KNIGHT, C. G.; O'NEILL R.; SMITH, E. R.; RIITERS, K. H.; WICKHAM, J. Environmental assessment: fuzzy decision analysis for integrated environmental vulnerability assessment of the mid-Atlantic region. **Environmental Management**, v. 29, n. 6, p. 845-859, 2002.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** FIBGE – SUPREN, Rio de Janeiro, 1977.

TRIGUEIRO, E. R. C.; OLIVEIRA, V. P. V.; BEZERRA, C. L. F. Indicadores biofísicos e a dinâmica da degradação/desertificação no bioma caatinga: estudo de caso no município de Tauá, Ceará. **Revista Eletrônica do Prodepa**, v. 3, n. 1, p. 62-82, 2009.

VALE JÚNIOR, J. R.; GALBIATTI, J. A.; MARTINS FILHO, M. V.; PISSARRA, T. C. T.; Potencial de Erosão na Bacia do Rio Uberaba. *Revista de Engenharia Agrícola*. v. 30, n. 5, p. 897-908, 2009.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de Bacias Hidrográficas, In: Ferreira, M. E. E Cruz, M. C. P. **Solos Altamente Suscetíveis à Erosão.** FCAVUNESP/ Jaboticabal - Soc. Bras. de Ciênc. do Solo, 1994. p. 223-242,

VALONE, T. J.; SAUTER, P. Effects of long-term cattle enclosure on vegetation and rodents at a desertified arid grassland site. **Journal of Arid Environments**, v. 61, p. 167-170, 2005.

VAN WESEMAEL, B.; RAMBAUD, X.; POESEN, J.; MULIGAN, M.; CAMMERAAT, E.; STEVENS, A. Spatial patterns of land degradation and their impacts on the water balance of rainfed treecrops: A case study in South East Spain. **Geoderma**, v. 133, p. 43–56, 2006.

VIEIRA, M. N. F.; VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C.; CHAVES, R. S. **Levantamento e conservação do solo.** Belém: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1996. Não citado no texto

VILLA, F.; McLEOD, H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. **Environmental management**, v. 29, n. 3, p. 335-348, 2002.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WANG, G.; FANG, S.; SHINKAVERA, S.; GERTNER, G.; ANDERSON, A. Spatial uncertainty in prediction of the topographical factor for the revised universal soil loss equation (RUSLE). **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.45, n.1, p.109-118, 2002.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I- Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:801-814, 2008.

WEILL, M. A. M; PIRES NETO, A. G. **Erosão e assoreamento**. Brasília: MMA, 2007.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **R. Bras. Ci Solo**, 32:801-814, 2008.

WESTPHALEN, L. A. Mapeamento da Instabilidade Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno/PR. **Anais...** Goiânia. 2006.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978, 58p. (Agriculture Handbook, no 537).

YONG-ZHONG, S. et al. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. **Catena**, v. 59, p. 267-278, 2005.

ZARONI, M. J. Estimativa da produção de sedimentos em bacias hidrográficas por meio do modelo de erosão USLE e do índice de transferência de sedimentos – SDR, Rio de Janeiro, Brasil, 2006. 143 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ZHANG, X.; SHAO, M.; LI, S.; PENG, K. A review of soil and water conservation in China. **J. Geogr. Sci**, 14:259-274, 2004.

ZIELINSKI, J. Watershed vulnerability analysis. **Center for Watershed Protection**. 2002. Disponível em: <<http://www.cwp.org>>. Acessado em: 02 de dezembro 2011.

ZOLDAN JUNIOR, W. A. Rugosidade superficial do solo ocasionada por uma operação de escarificação aplicada após cinco anos e meio de uso de sistemas de manejo do solo, e suas relações com a erosividade da chuva e erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2006. 100p. (Tese de Mestrado)