

ASPECTOS FITO-GEOTÉCNICOS DE EROSÃO NO ESTADO DO CEARÁ

Márcia Regina Lima Oliveira¹, Tácito Cunha Sousa¹ e José Carlos de Araújo²

Resumo. O presente artigo refere-se a pesquisa que objetiva compreender e quantificar o processo erosão - assoreamento de reservatórios no Semi-Árido tendo como base em valores obtidos no Ceará. Para tal estão sendo monitoradas cinco bacias no Ceará: Acarape do Meio, Várzea do Boi, Cedro, Santo Anastácio e Mundaú. Os estudos caracterizam os fatores envolvidos no processo erosivo, notadamente aqueles relacionados à vegetação e ao solo típicos da região semi-árida.

Abstract. The paper refers to a research, whose aim is to understand and quantify the erosion - sedimentation process in Brazilian Semi-Arid region, based on data collected in the State of Ceará. In order to reach the objectives, five watersheds are monitored initially: Acarape do Meio, Várzea do Boi, Cedro, Santo Anastácio and Mundaú. The investigation so far performed characterizes the main factors related to the erosion process, with stress on vegetation and soil data typical of the selected region.

Palavras-chave. Erosão, USLE, Semi-Árido

¹ Bolsista CNPq, Programa Waves, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, bloco 713, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, e-mail waveshid@ufc.br

^{*2} Professor Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, bl. 713, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, e-mail jcaraujo@ufc.br, beneficiário CNPq

INTRODUÇÃO

A política de construção de reservatórios superficiais ou açudagem no Semi-Árido Nordestino, implantada intensivamente ao longo deste século, para suprir principalmente as necessidades de abastecimento d'água das populações, e consequentemente diminuir os efeitos das estiagens na escassez destes recursos, ocasionado intensamente por inúmeras secas que castigaram a região, vem significativamente diminuindo seus boqueirões esgotando sensivelmente a capacidade de regularização de seus inúmeros rios intermitentes.

A existência destas obras hídricas ao longo do tempo tem revelado uma série de problemas, como o processo de assoreamento. Ações a respeito deste fenômeno provocado tanto naturalmente como antropicamente devem ser devidamente pesquisadas e tomadas, já que seus efeitos são acumulativos e significativos ao longo do tempo, não apenas no que tange a aspectos quantitativos comprometendo a capacidade de acumulação destes reservatórios, mas também a qualidade no armazenamento destes mananciais.

Esta pesquisa faz parte de um projeto maior que visa gerar um modelo matemático de assoreamento de reservatórios no Semi-Árido Brasileiro, que se propõe a quantificar o fenômeno erosão / assoreamento em vários reservatórios de médio porte na região com base em dados de campo.

Este artigo apresenta os dados coletados e interpretados até o presente momento para cinco bacias no Estado do Ceará, com nítida ênfase na caracterização das variáveis dependentes de solo e vegetação.

O PROBLEMA HIDROSEDIMENTOLÓGICO

Os problemas derivados dos sedimentos vêm ocasionando grandes prejuízos econômicos devido principalmente a redução da fertilidade e produtividade do solo, a diminuição da capacidade de armazenamento dos reservatórios ao longo do tempo e o comprometimento da qualidade da água armazenada.

Os processos responsáveis pelo assoreamento de reservatórios são, no entanto, complexos, abrangendo erosão, transporte de sedimentos nos cursos d'água e deposição desses sedimentos nos reservatórios. Os principais agentes dinâmicos destes processos são a água, o vento, a gravidade e a neve, entretanto, para região do nordeste brasileiro, o principal agente é a água.

A remoção de partículas no processo erosivo ocorre através da energia cinética do impacto da gota da chuva no solo e pelas forças geradas devido à ação de escoamento das águas. Estando a partícula solta, esta pode ser transportada pelas enxurradas para os cursos d'água. Tanto o deslocamento como o transporte irão depender da forma, tamanho, peso das partículas e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando essas forças se reduzem até não poderem continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição (Vannoni, 1977; Carvalho, 1994). A ação antrópica acelera o

processo erosivo, o que leva à perda da camada fértil do solo. O controle de tal processo é de suma importância e pressupõe o estudo dos fatores intervenientes.

O processo de sedimentação pode gerar sérios problemas ao ambiente. A erosão é o processo inicial de todos os problemas derivados do sedimento, podendo causar sérios danos as terras agrícolas devido a redução da fertilidade e produtividade do solo. O material erodido pode formar depósitos indesejáveis em outros locais, como por exemplo nos reservatórios. O assoreamento deste reservatórios no semi-árido pode comprometer sua função principal, de regularização dos rios.

Os danos gerados pelos sedimentos são variados e extensos e estão presentes nas diversas fases, desde a erosão, transporte e deposição. Desta forma, o conhecimento desses processos são necessários para reconhecer a origem desses problemas e para formular medidas mitigadoras.

METODOLOGIA

Modelo USLE para estimativa de erosão

De acordo com Carvalho (1994), o processo erosivo pode ser definido como o fenômeno de desgaste das rochas e solos, com desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas por ação da água ou outros agentes. Contudo, dentro do contexto desta pesquisa, a erosão se refere a remoção de partículas do solo pela água.

O modelo mais conhecido para estimar a perda do solo pela erosão hídrica é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que foi desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1965. Trata de um modelo que considera os parâmetros físicos, o que representa uma evolução em relação às fórmulas empíricas. Essa formulação corresponde ao produto de vários fatores, que consideram clima, solo, relevo e o uso e ocupação do solo. A USLE expressa os efeitos do processo de erosão hídrica superficial laminar, e apresenta a seguinte expressão:

$$E_A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

onde E_A é a perda de solo por unidade de área e tempo; R o fator de erosividade da chuva em (t.m/ha.mm/h); K o fator de erodibilidade do solo em t/ha/(t.m/ha.mm/h); L o fator topográfico que representa o comprimento do declive (L_R); S o fator topográfico que representa a declividade (S_D); C o fator que representa o uso e manejo do solo; e P o fator que reflete práticas conservacionistas.

Para os seis fatores atuantes no processo erosivo, dois grupos podem ser identificados: fatores que podem e fatores não podem ser facilmente modificados pela atividade humana. Incluídos no segundo grupo estão a erosividade da chuva, erodibilidade do solo e a declividade natural do terreno. Entre aqueles fatores que podem ser controlados pelo homem, estão o comprimento da rampa, cobertura vegetal e práticas de conservação do solo (Risse et al., 1993).

A partir de 1992, Simon e Sentürle propuseram uma metodologia alternativa, com modificações para a USLE, de modo a superar as limitações desta, para a região do semi-árido. Tais limitações são mais acentuadas no parâmetro que corresponde ao efeito da erosividade da chuva (R), devido principalmente à ocorrência de precipitações intensas,

associada à intermitência dos escoamentos, verificado no regime de chuvas nesta região. Deste estudo foi apresentada a MUSLE, desenvolvida para eventos isolados de precipitação.

Fator hidrológico R

O fator R representa a erosividade da chuva, ou seja, a capacidade da chuva de causar erosão do solo, isto é uma função das características físicas da chuva, o qual a mais importante é a energia cinética da gota da chuva, que está fortemente relacionada com a intensidade da chuva (Reining, 1992). De acordo com Wischmeier e Smith a erosão hídrica requer energia da qual a maior parte é atribuída à ação das chuvas exercida sobre o solo através do impacto das gotas da chuva e do escoamento superficial. A energia cinética das gotas da chuva é maior que a energia cinética do escoamento, o qual é responsável pelo transporte de partículas e representa a segunda fase do processo erosivo. A capacidade de transporte do escoamento aumenta com o impacto das gotas da chuva. O escoamento aparece quando o solo está saturado pela água ou quando a intensidade da chuva é maior que taxa de infiltração (Reining, 1992). De acordo com Horton (apud Reining, 1992) o primeiro tipo de escoamento é mais comum nas regiões áridas e semi-áridas.

A determinação do fator R é feita a partir da energia cinética da chuva e da máxima intensidade da chuva num intervalo de 30 minutos. Para obtenção de dados precisos de energia cinética e intensidade é necessário dados pluviográficos, entretanto, a maioria das estações meteorológicas do Brasil não dispõem desses dados. Devido à não existência de um modelo de erosividade de chuva para o Semi-Árido Brasileiro, decidiu-se por adotar o modelo de Lombardi e Moldenhauer, desenvolvido para região de Campinas (SP), que utiliza valores de precipitação mensal e anual para estimar a energia cinética (Carvalho, 1994):

$$R = 6,886.(P_m^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

sendo P_m a precipitação média mensal, mm; e P a precipitação média anual, mm.

Fator geotécnico K

O fator K exprime a erodibilidade do sedimento e foi obtido a partir de análises físicas dos solos em laboratório e do nomograma de Wischmeier (in Carvalho, 1994), caracterizando-os quanto a sua susceptibilidade aos processos erosivos. A obtenção de K utilizando o nomograma de Wischmeier é normalmente empregado para regiões de clima temperado, onde os dados de entrada referem-se às características físicas de granulometria, porcentagem de matéria orgânica, estrutura do solo e sua condutividade hidráulica, o que indica a possibilidade de obtenção de K para outras regiões. Para a obtenção dos valores correspondentes foram realizados ensaios de laboratório como descrito na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Ensaios de laboratório realizados para determinação do fator geotécnico

Ensaios Realizados	Bacias em Estudo					
	Acarape	V. do Boi	Cedro	Sto. Anast.	Mundaú	Bocáina
	Nº de Amotras	Nº de Amotras	Nº de Amotras	Nº de Amotras	Nº de Amotras	Nº de Amotras
Granulom. por peneiramento	6	12	7	4	-	-
Teor de matéria orgânica	6	12	7	4	-	-
Permeab. c/ carga variável	6	12	7	4	-	-
Densidade aparente material erodido	6	12	7	4	-	-
Densidade aparente material assoreado	3	2	3	-	-	-
Densidade real material assoreado	3	2	3	-	-	-
Sólidos suspensos	5	2	2	2	-	-

Fator topográfico LS

O fator LS combina dois fatores: L (função do comprimento de rampa) e S (função da declividade média) e, assim como os fatores K, C e P, é adimensional e obtido em relação à parcela padrão (L=25 m, S=9%). O comprimento de rampa é estimado com base na área e no comprimento total de drenagem, enquanto que a declividade de cada quadrícula é calculada com base em sua curva hipsométrica. O fator LS é determinado como fator único pela equação de Bertoni (*apud* Carvalho, 1994):

$$LS=0,00984C^{0,63}.D^{1,18} \quad (3)$$

sendo: C-comprimento de rampa, m; e D-grau de declive, em porcentagem.

Fatores fitotécnicos C e P

O fator de uso e manejo do solo, C, representa a razão da perda do solo que ocorre em uma área com uma dada cobertura vegetal, e a que ocorre em uma área mantida continuamente descoberta.

A cobertura do solo pela vegetação natural ou por cultivos reduz a perda do solo pela interceptação das gotas da chuva e, conseqüentemente, diminuição de sua energia cinética (Reining, 1992). A cobertura vegetal tem um papel importante no ciclo hidrológico, por reduzir o escoamento superficial e favorecer a infiltração através da cobertura morta e raízes. Assim, sua contribuição na conservação do solo é fundamental. No semi-árido, a cobertura vegetal conserva a estrutura e fertilidade do solo, controlando a erosão, conservando a umidade e diminuindo a evapotranspiração das culturas. A cobertura do solo pela vegetação natural ou por cultivos reduz a perda do solo pela interceptação das gotas da chuva e, conseqüentemente, diminuição de sua energia cinética (Reining, 1992).

A proteção proveniente do dossel da cobertura vegetal depende do tipo de vegetação ou cultivo, da densidade e do estágio de crescimento e desenvolvimento da vegetação ou cultura durante o período de chuvas (Wischmeier e Smith, 1978). Desta forma, em relação a cobertura vegetal, a modificação no uso do solo pode mudar a taxa de erosão do solo. De acordo com Wischmeier o gerenciamento da cobertura vegetal é o fator mais importante na minimização da taxa de erosão do solo e é o fator mais difícil de se estimar.

Para determinação do fator C é necessário a informação da distribuição anual da erosividade da chuva (fator R) para o local específico em estudo, além de informações sobre o tipo de cultura, rotação de culturas, quantidade e grau de cobertura do solo pelos resíduos da cultura e o intervalo de tempo durante o qual esta cultura proporciona cobertura para o solo (Reining, 1992). De acordo com Carvalho (1994), o fator C tende a 1,0 em áreas desnuda, enquanto em florestas virgens o valor de C se aproxima de 0,0001.

Praticamente não existem trabalhos para estimativa de valores de C para as regiões tropicais e semi-áridas. A Tabela 2 apresenta valores de C obtidos por Roose para região oeste da África (Reining, 1992).

Tabela 2. Valores de C, fator de uso e manejo do solo para Oeste da África

Sistema de uso do solo	Fator C
Solo desnudo	1,0
Floresta ou sistema de cultivo com forte cobertura do solo	0,001
Savana ou áreas de pastagem não usadas	0,01
Culturas de crescimento demorado	
1 ano	0,3 – 0,8
2 anos	0,1
Culturas de crescimento rápido	0,1
Milho	0,3 – 0,9
Arroz (cultivo intenso, 2º período de cultivo)	0,1 – 0,2
Algodão, tabaco (2º período de cultivo)	0,5
Mandioca (1º período de cultivo)	0,2 – 0,8
Café, cacau	0,1 – 0,3

Fonte: Roose (apud Reining, 1992)

Em geral, quando terrenos inclinados são cultivados e sujeitos a chuvas erosivas, são necessárias práticas conservacionistas para reduzir a perda do solo. O fator P representa a razão entre a perda do solo que ocorre para uma dada prática conservacionista e aquela que ocorre para cultivos no sentido de declive máximo do terreno (Wischmeier e Smith, 1978; Carvalho, 1994). Este fator é um ponderador do fator C em situações especiais de uso e manejo do solo.

As práticas conservacionistas mais comuns para culturas anuais são: o plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de cultivos. A Tabela 3 apresenta valores de P para as práticas conservacionistas mais comuns e em função da declividade, uma vez que a eficiência destas práticas de controle de erosão dependem da declividade.

Tabela 3. Valores do fator P para diferentes práticas conservacionistas e declividades.

Práticas Conservacionistas	Valor de P	Declividade (%)	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0	0 – 2	0,60
Plantio em contorno	0,5	2 – 7	0,50
Alternância de cultivos + plantio em contorno	0,4	7 – 12	0,60
Cordões de vegetação permanente	0,2	12 – 18	0,80
Terraço	0,1	18 - 24	0,90

Fonte: adaptado Carvalho (1994)

RESULTADOS

Áreas de estudo

Inicialmente selecionou-se a bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio como área piloto do estudo para estabelecimento da metodologia adequada a ser adotada nas demais áreas. Após este estudo prévio selecionaram-se mais três bacias para estudo que fossem representativas para o Estado do Ceará, as dos reservatórios: Várzea do Boi (Tauá), Cedro (Quixadá), Santo Anastácio (Fortaleza) e Mundaú (Uruburetama). Inicialmente foi feito levantamento dos dados cartográficos, pluviométricos e caracterização ambiental das áreas de estudos. Sobre o mapa, na escala 1:100.000, foram definidas as bacias hidrográficas de cada reservatório. A partir disto foi feita uma grade com quadrículas de modo que cada bacia fosse subdividida em cerca de 60 sub-áreas.

Açude Acarape do Meio

O Reservatório Acarape do Meio é formado a partir da Barragem Eugênio Gudim situada sobre o rio Acarape, no município de Redenção, Ceará. A área estudada está localizada a aproximadamente 75km de Fortaleza, nas coordenadas geográficas 39°00'/38°44' WGr e 4°00'/4°15' S. O acesso à barragem pode ser feito partindo-se da cidade de Redenção através de estrada carroçável que liga Redenção ao distrito de São Geraldo, distando cerca de 12 km pela margem direita do rio. Deste, segue-se na estrada por mais 1,0 km e chega-se na ombreira direita da barragem. A construção da barragem teve início em 1909 e sua conclusão verificou-se no ano de 1924. Inicialmente esta barragem foi operada pelo DNOCS, sendo que atualmente encontra-se sob a jurisdição da COGERH. Apresenta como finalidade principal o abastecimento urbano e industrial. As características técnicas deste reservatório são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Características técnicas do açude Acarape do Meio

Características Gerais	
Capacidade	34.100.000m ³
Localização	Redenção-CE
Sistema	Choró
Rio	Acarape
Bacia Hidráulica	220,89há
Bacia Hidrográfica	241,52Km ²
Precipitação média anual	1.300mm
Barragem	Alvenaria de Pedra
Altura	33m
Vertedouro	Soleira Espessa
Largura	60m
Tomada d'água	Galeria
Cota	100

Fonte: ARAÚJO (1990)

A bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio encontra-se revestida por dois tipos vegetacionais, matas úmidas e secas (Figueiredo,1989). A mata úmida localiza-se nos setores mais elevados do maciço de Baturité, a partir da cota altimétrica dos 600m e a sotavento a 800m. Apresenta porte arbóreo com árvores emergentes que chegam atingir 30m, sendo o estrato arbustivo de menor porte, apresentando grande abundância de epífitas e líquens. Já a mata seca ocupa os níveis inferiores à retaguarda da floresta úmida, apresentando indivíduos de mata úmida e de caatinga. Entretanto, estudos realizados pela SEMACE (*in* Sales,1997), indicam alto índice de degradação do maciço de Baturité resultante do uso e ocupação desordenado do solo, associados às condições climática e às propriedades do meio físico, que condicionaram o aparecimento de tipologias vegetacionais secundárias. A Tabela 5 apresenta os percentuais de áreas das tipologias vegetacionais encontradas no Maciço.

Tabela 5. Percentuais das diferentes coberturas vegetacionais no maciço de Baturité

Tipo vegetacional	Fração %
Mata úmida	2
Agrupamentos de babaçu	2
Caatinga predominantemente arbórea	14
Áreas agrícolas	23
Capoeiras	52

Fonte: SEMACE *in* Sales (1997)

Foram analisados fotos aéreas e mapas em três períodos (1958, 1970 e 1997). Para cada quadrícula determinou-se as formações vegetais adotando os seguintes índices: (v) vegetação natural, (aa) agricultura atual, (ac) agricultura de café e (u) zona urbana,

dados em porcentagem. Os dados foram organizados em forma de tabela (Microsoft Excel) tendo como anos de referência os anos de 1958, 1970 e 1997. Para o ano de 1958 foram preenchidas as falhas através de análise de regressão dos valores das quadrículas que dispunham dos dados de 1958 e 1970, a equação de regressão utilizada foi $i_{58} = 0,9778 \times i_{70}^{1,4053}$.

Em função do tipo de cobertura vegetal foram calculados os valores dos fatores C e P (Tabela 6) para cada quadrícula a cada ano através de média ponderada na área. A partir dos dados de referência, foram estimados os valores de CP para o período de 1929-1997 através de interpolação linear. As Figuras 1 e 2 apresentam exemplos das variações temporal (para quadrícula B6) e espacial de uma quadrícula (para o ano de 1997) para os valores de CP. Observa-se na Figura 2 que os valores de CP tendem a aumentar com tempo, isto é devido a maior degradação da bacia ao longo do tempo, demonstrando a importância da cobertura vegetal na conservação do solo.

Tabela 6. Valores adotados para cálculo de C e P para o açude Acarape do Meio

Sistema de uso do solo	Fator C	Fator P	Fator C.P
Vegetação natural (v)	0,001	1,0	0,001
Agricultura atual (aa)	0,1	0,8	0,080
Agricultura de café (ac)	0,2	1,0	0,200
Urbano (u)	0,2	1,0	0,200

Fonte: adaptado de Reining (1992)

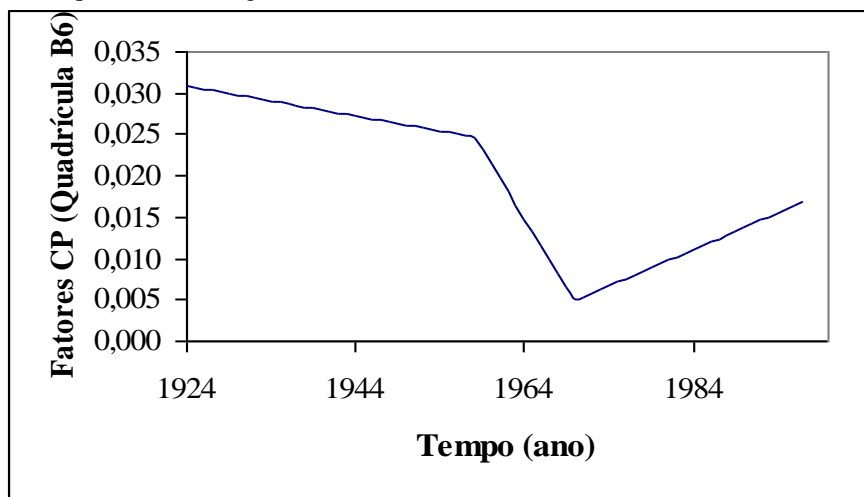


Figura 1. Variação temporal dos fatores CP (quadrícula C7) para bacia do açude Acarape do Meio

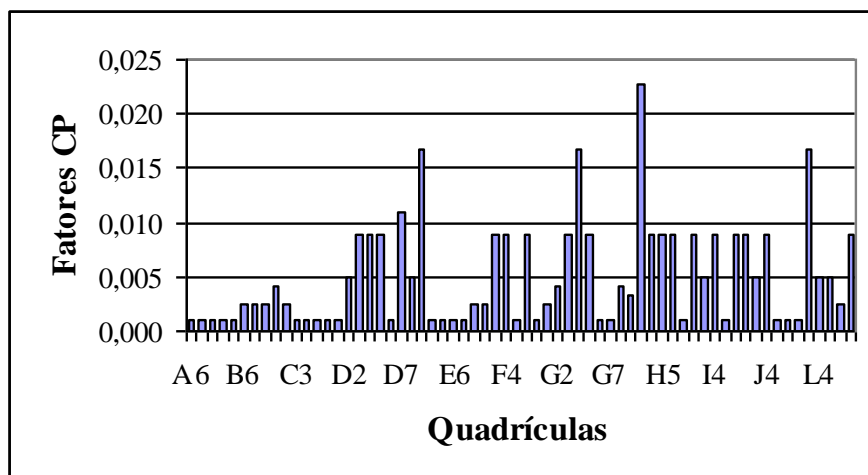


Figura 2. Variação espacial dos fatores CP (ano 1997) para bacia do açude Acarape do Meio

Para o açude Acarape do Meio utilizaram-se os postos pluviométricos de Redenção, Pacoti e Palmácia, cujos respectivos pesos de Thiessen são 0,043; 0,453 e 0,504. Para o preenchimento de falhas referentes aos anos de 1932-1935 e 1943-1961, adotou-se a média da precipitação mensal da série em estudo. Para o cálculo do fator R considerou-se somente a variação ao longo do tempo, uma vez que a área em estudo é pequena. Os valores do fator R obtidos para a série de 1924 –1997 são apresentados na Figura 3. O cálculo da variável composta LS, apresenta valor médio para a bacia do Acarape do Meio, de 2,86, ou seja, quase três vezes superior ao valor do relevo padrão.

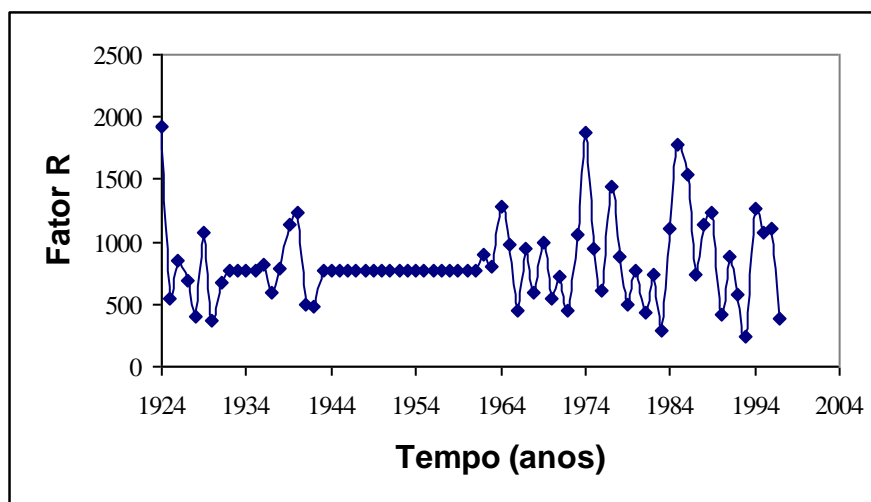


Figura 3. Variação temporal do fator R da bacia do açude Acarape do Meio

Para o cálculo do fator K de erodibilidade, utilizou-se o nomograma de Wischmeier, a partir das análises de amostras representativas de solo coletadas na área da bacia. A Tabela 7 abaixo indica os resultados obtidos.

Tabela 7. Erodibilidade do solo (K) na bacia do Acarape do Meio

Quadrícula	E5	F5	G3	H2	J5	L5
fator K (ton/ha/Ec)	0.27	0.26	0.27	0.30	0.51	0.26
grau de erodibilidade	médio	médio	médio	médio	elevado	médio
Amostra	Am-4	Am-3	Am-2	Am-1	Am-5	Am-6
% finos	50	43	36	50	63	35
% areia	37	46	42	42	31	55
% M.O.	3	3	1	3	1	1
Estrutura	1-gr mto fino	2-gr fino	2-gr fino	1-gr. muito fino	1-gr. muito fino	1-gr. muito fino
Perm. (cm/s)	1.00E-06	7.10E-06	9.50E-07	6.50E-06	8.70E-07	2.70E-05
Categ. Perm.	5-lenta	5-lenta	6-muito lenta	5-lenta	6-muito lenta	5-lenta

Açude Várzea do Boi

O reservatório Várzea do Boi está situado no riacho Carrapateiras, um dos principais afluentes do rio Jaguaribe, no município de Tauá, Ceará. A área estudada está localizada a aproximadamente 320km de Fortaleza. A construção da barragem teve início em 1951 e sua conclusão verificou-se no ano de 1958. Esta barragem é operada pelo DNOCS e está situada numa região onde ocorrem as mais baixas precipitações do estado do Ceará, tendo com finalidade principal o suprimento d'água para o Projeto de Irrigação Várzea do Boi, assim como a piscicultura e a perenização do riacho Carrapateiras

(Araújo, 1990). Atualmente este açude encontra-se com volume abaixo do volume morto. As características técnicas deste reservatório são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Características técnicas do açude Várzea do Boi

Características gerais	
Capacidade	51.900.000m ³
Localização	Tauá-CE
Sistema	Jaguaribe
Rio	Carrapateiras
Bacia Hidráulica	1.249 há
Bacia Hidrográfica	1.209 Km ²
Precipitação média anual	610mm
Barragem	Terra homogênea
Altura	17,40m
Vertedouro	Soleira Espessa
Largura	1,50m
Tomada d'água	Galeria com torre
Cota	112

Fonte: Araújo (1990)

De acordo com Figueiredo (1989), a bacia hidrográfica do açude Várzea do Boi encontra-se recoberta pela Caatinga Arbustiva Aberta. Segundo a descrição de Duque (1982), a caatinga é um conjunto de árvores e/ou arbustos, de fisionomia densa ou aberta, em geral de porte e esgalhamentos baixos, com diversa variação florística, apresentando na caducidade e no pequeno tamanho das folhas as características que, juntamente com outras formas adaptativas como o órgão de reserva, permitem-lhe desenvolver-se em ambientes com condições semi-áridas.

Na área em estudo a vegetação de caatinga apresenta um padrão arbustivo aberto, caracterizada por árvores de caules retorcidos e esbranquiçados, que apresentam maior espaçamento de seus indivíduos. É formada por dois estratos, um arbustivo/subarbustivo, podendo apresentar indivíduos mais altos entre 2 e 5m de altura, com poucas árvores e muitas cactáceas, e outro estrato herbáceo, presente no período de chuvas. Este ambiente é caracterizado por solo raso, pedregoso e muito encharcado durante a estação chuvosa.

Foram analisados fotos aéreas, mapa e imagens de satélite em três períodos (1958, 1965 e 1997). Para cada quadrícula determinou-se as formações vegetais adotando os seguintes índices: (v) vegetação natural, (a) agricultura e (u) zona urbana, dados em porcentagem. Os dados foram organizados em forma de tabela (Microsoft Excel) tendo como anos de referência os anos de 1958, 1965 e 1997. Para o ano de 1958 foram preenchidas as falhas (no caso, 3 quadrículas) através de interpolação linear dos valores vizinhos. Para o ano de referência 1965, os valores incompatíveis entre 1958 e 1997 foram excluídos e substituídos por valores de interpolação entre os anos de 1958 e 1997.

Para as falhas do ano de referência de 1997, determinou-se uma razão entre os 38 valores de 1997 e 1958, demonstrando que a vegetação natural em 1997 corresponde, em média, 77,2% daquela existente em 1958. Desta forma o preenchimento das falhas deste ano foram feitos admitindo-se esta correlação. O coeficiente de variação da série foi de 0,520. Em função do tipo de cobertura vegetal foram calculados os valores dos fatores C e P (Tabela 9) para cada quadrícula a cada ano através de média ponderada na área. A partir dos dados de referência, foram estimados os valores de CP para o período de 1958-1998 através de interpolação linear. As Figuras 4 e 5 apresentam exemplos das variações temporal (para quadrícula B6) e espacial de uma quadrícula (para o ano de 1997) para os valores de CP.

Tabela 9. Valores adotados para cálculo de C e P para o açude Várzea do Boi

Sistema de uso do solo	fator C	fator P	fator CP
Vegetação natural (v)	0,010	1,0	0,010
Agricultura (a)	0,5	1,0	0,500
Urbano (u)	0,2	1,0	0,200

Fonte: adaptado de Reining (1992)

O fator de solo (K) para a bacia já foi determinado com base em amostra representativa dos solos da região e encontra-se detalhado na Tabela 10 abaixo.

Tabela 10. Erodibilidade do solo na bacia do Açude Várzea do Boi

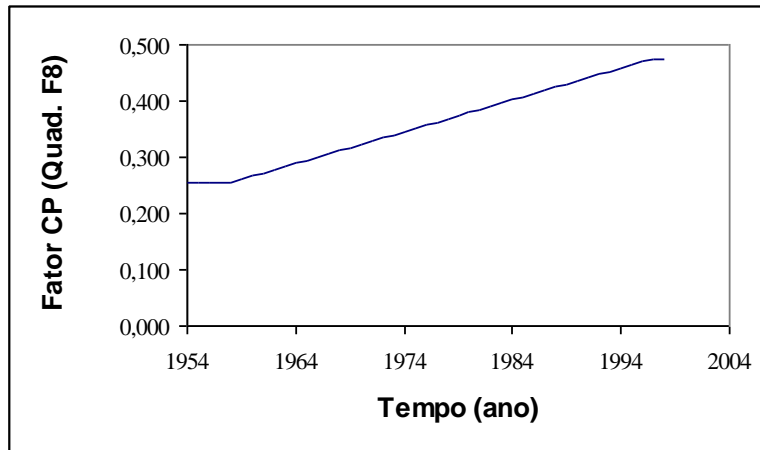


Figura 4. Variação temporal do fator CP (quadrícula F8) para a bacia do açude Várzea do Boi

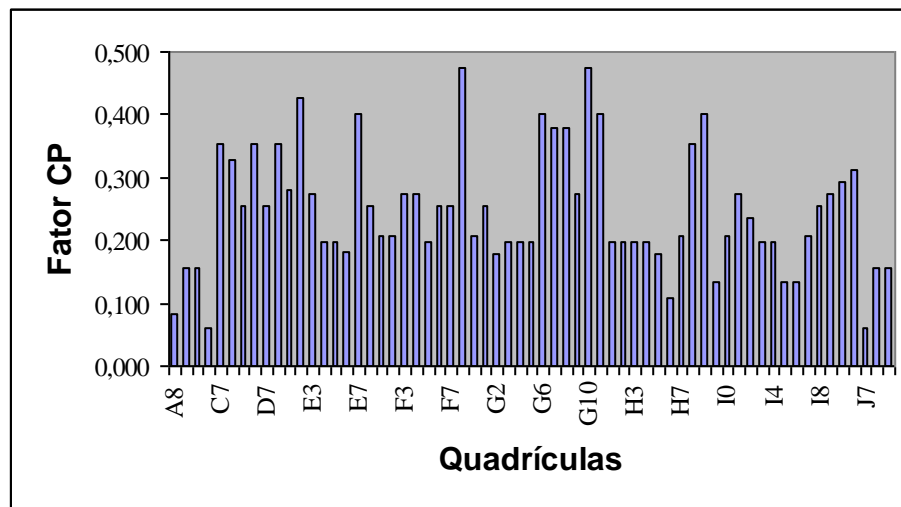


Figura 5. Variação espacial do fator CP (ano 1997) para a bacia do açude Várzea do Boi

Para o cálculo do fator R utilizaram-se os postos pluviométricos de Santo Antônio, Várzea do Boi, Riachão do Banabuiú e Forquilha, ponderados pelos pesos do método de Thiessen. A Figura 6 apresenta a comportamento do Fator R em função do tempo.

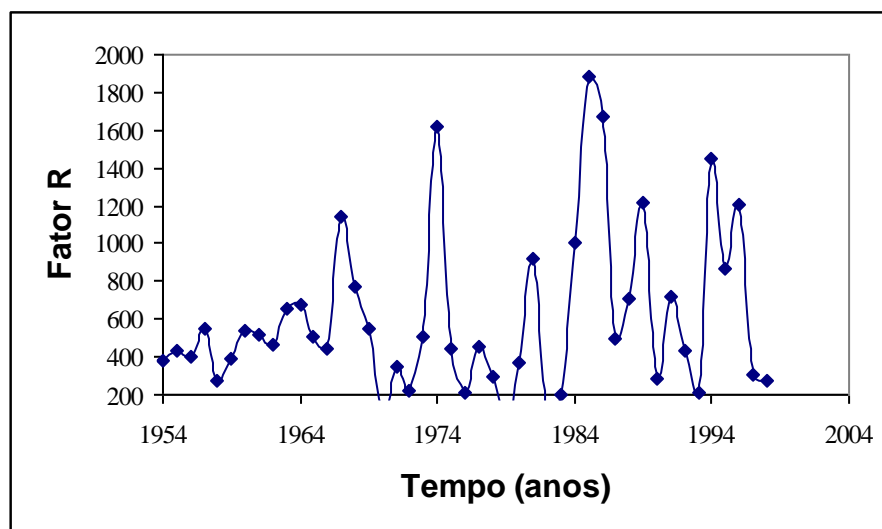


Figura 6. Variação do fator R com o tempo, para bacia do açude Várzea do Boi

Açude Cedro

A área da bacia do Açude Cedro é de 220 km², conforme estudo com base em levantamento sobre carta da SUDENE de Quixadá em escala de 1:100.000. O açude e sua bacia estão localizados no município de Quixadá, Ceará. Foi realizada, até o momento, uma viagem a campo para levantamento de dados e coleta de solo. Apesar de as obras de construção do Açude Cedro terem se iniciado em 1890, sua conclusão se deu em 1906, daí a simulação do processo hidrossedimentológico se estender por 94 anos (1906 a 1999).

Por ocasião de sondagem em campo foi determinada a densidade aparente do material assoreado, que é de 1,42. A densidade real das partículas assoreadas, segundo análise laboratorial, é de 2,69.

Os cálculos são efetuados variando temporal e espacialmente de 1906 a 1999, para as variáveis de chuva, solo, relevo e vegetação. O fator de solo (K) para a bacia já foi determinado com base em amostra representativa dos solos da região e encontra-se detalhado na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11. Erodibilidade do solo na bacia do Açude Cedro

Quadrícula	B5	D5	E7	F5	G6	H3	H7
fator K (ton/ha/Ec)	0.16	0.16	0.22	0.15	0.19	0.13	0.29
grau do fator K	médio	médio	médio	médio	médio	fraco	médio
Amostra	Ce-5	Ce-4	Ce-3	Ce-6	Ce-2	Ce-7	Ce-1
% finos	35	26	34	30	39	23	46
% areia	43	46	63	49	41	58	35
% M.O.	3	1	3	3	3	3	1
Estrutura	1	1	1	1	1	1	1
Perm. (cm/s)	6.80E-05	9.00E-05	7.20E-05	7.00E-05	8.60E-05	7.40E-05	9.80E-05
Categ. Perm.	5-lenta	5-lenta	5-lenta	5-lenta	5-lenta	5-lenta	5-lenta

Os fatores de relevo L e S foram avaliados para todas as quadrículas da bacia do Cedro pela metodologia adotada. Os resultados indicam declividade média do terreno de 4,28%; comprimento médio de rampa de 320 m e fator LS médio de 2,21.

Açude Santo Anastácio

O açude Santo Anastácio está localizado na área urbana de Fortaleza, sendo que grande parte do açude está situada no Campus Universitário do Pici, da UFC. A área estudada está localizada nas coordenadas geográficas 03°04'S/38°35'W, tendo como afluente principal ligado à lagoa de Parangaba. Sua construção data de 1918. Atualmente sua utilização restringe-se a exploração pesqueira de subsistência. Devido a sua localização este reservatório recebe efluentes da população circunvizinha. A Tabela 12 apresenta as principais características deste açude.

Tabela 12. Características técnicas do açude Santo Anastácio, Fortaleza

Características Gerais	
Capacidade inicial	500.000m ³
Volume atual	210.000m ³
Localização	Fortaleza-CE
Sistema	Lagoa da Parangaba
Bacia Hidráulica	12,8 ha
Bacia Hidrográfica	134 ha
Precipitação média anual	610mm
Barragem	Terra homogênea
Largura	10m

Para o açude Santo Anastácio utilizou-se o posto pluviométrico de Fortaleza até o ano de 1981, e do posto Campus do Pici a partir de 1982. Os valores do fator R obtidos para a série de 1918 – 1997 são apresentados na Figura 7. Quanto às características

físicas da bacia, originalmente em área rural, sabe-se que sua ocupação urbana se iniciou nos anos 40, intensificando-se nos anos 50. Atualmente toda a área da bacia encontra-se incluída no perímetro urbano de Fortaleza. A principal razão da escolha desta bacia para estudo reside na tentativa de modelar os fenômenos erosão - assoreamento em ambiente urbano.

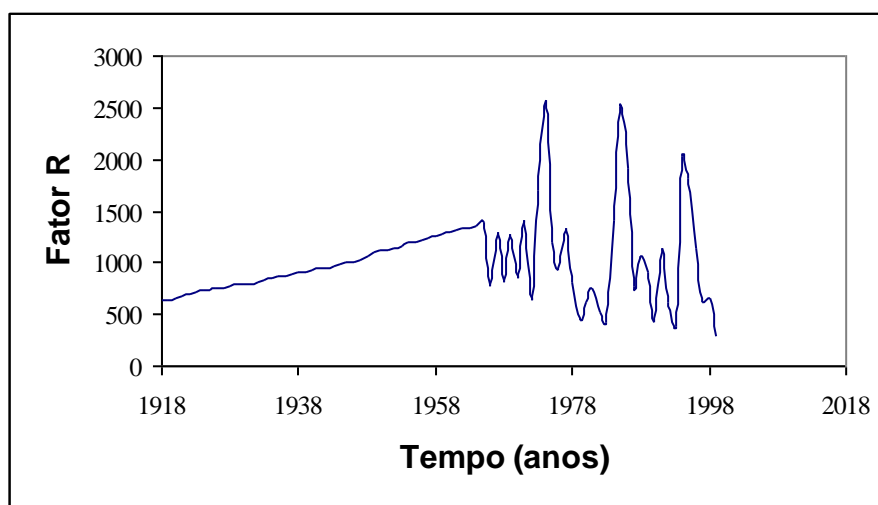


Figura 7. Variação temporal do fator R da bacia hidrográfica do açude Santo Anastácio

O estudo do solo na bacia indica fator de erodibilidade K, como expresso na Tabela 13 abaixo.

Tabela 13. Erodibilidade do solo na bacia do Açude Santo Anastácio

fator K (ton/ha/Ec)	0.14	0.14	0.11	0.12
grau do fator K	fraca	fraca	fraca	fraca
Amostra	Sa-1	Sa-2	Sa-3	Sa-4
% finos	20	22	15	16
% areia	77	75	82	81
% M.O.	3	3	3	3
Estrutura	1	1	1	1
Perm. (cm/s)	9.10E-05	8.50E-05	1.10E-04	7.70E-05
Categ. Perm.	5-lenta	5-lenta	4-lenta mod	5-lenta

Açude Mundaú

O Açude Mundaú está situado no rio Mundaú, município de Uruburetama. Este reservatório é o principal fornecedor de água para as atividades agrícolas e consumo

humano da região. O açude é operado pelo DNOCS, e foi construído em 1988. As características gerais do reservatório são previstas na Tabela 14. Segundo o projeto executivo do açude, elaborado pelo DNOCS, o açude tem uma capacidade de atendimento de 577 hectares de área irrigada, supondo um período de 4 meses de irrigação e prevendo-se dois anos secos consecutivos. Nesta estimativa foi considerada uma dose bruta de irrigação de 8.000 m³/ha por semestre.

De acordo com Figueiredo (1989), a bacia hidrográfica do açude Mundaú encontra-se revestida pela vegetação de mata seca, que se caracteriza por abrigar espécies de grande amplitude ecológica, apresentando indivíduos de mata úmida e da caatinga, localiza-se nos níveis inferiores dos relevos cristalinos.

Para o açude Mundaú utilizaram-se os postos pluviométricos de Uruburetama e de Itapagé, ponderados de acordo com o método de Thiessen. Os valores do fator R obtidos para a série de 1988 –1998 são apresentados na Figura 8.

Tabela 14. Características técnicas do açude Mundaú, Uruburetama

Características Gerais	
Capacidade	21.308.000m ³
Localização	Uruburetama-CE
Sistema	Mundaú
Rio	Mundaú
Bacia Hidráulica	125 há
Bacia Hidrográfica	36,25 km ²
Precipitação média anual	1000mm
Barragem	Terra homogênea

Fonte: FUNCEME (1998)

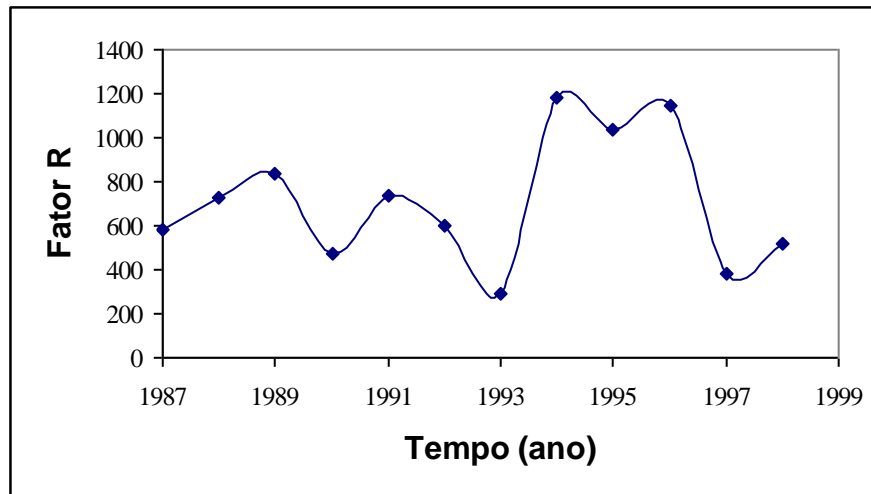


Figura 8. Variação temporal do fator R para o açude Santo Anastácio

CONCLUSÃO

Como principais resultados conseguidos até o presente momento, podem ser mencionados a aquisição parcial de dados necessários à estimativa de erosão e assoreamento em cinco bacias do Estado do Ceará. Foram analisados os fatores fitotécnicos, geotécnicos, topográficos e hidrológicos, relacionados ao processo, com ênfase nos dois primeiros fatores.

Do ponto de vista de conclusões sobre o fenômeno em estudo, pode-se avaliar que a Equação Universal da Perda de Solos (USLE) apresentou resultados preliminares satisfatórios na quantificação do fenômeno da erosão na região do Semi Árido Brasileiro; que os fatores de solo e topografia indicam ser universais. No entanto, os fatores referentes à vegetação e à precipitação necessitam de uma modelagem específica para a região em estudo visando ajuste intrínsecos a estas variáveis. Observa-se uma taxa de erosão específica média na região da ordem de 10 ton/ha/ano, o que justifica estudos desta natureza para um melhor planejamento de uso dos recursos naturais de água e solo.

Urge que uma nova mentalidade, não apenas governamental mas de toda a população, deva ser implantada a partir de uma Política de Gestão dos Recursos Hídricos tornando-se responsável pela operação e manutenção dos mananciais artificiais e naturais. Tal Política deverá garantir o uso racional destes recursos, cada dia mais afetados por poluição advindas do próprio assoreamento, e conseqüentemente diminuindo seus volumes e degradando sua qualidade, tornando-os mais escassos, recursos estes extremamente importantes e estratégicos para a existência da vida e desenvolvimento auto-sustentável do homem, em particular na região do Semi-Árido Nordeste.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica, CNPq, pela concessão de bolsas DTI aos dois primeiros autores através do Programa WAVES, assim como pelo apoio a esta pesquisa através do Projeto Nordeste, processo número 521169/97-6NV.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, J. A. de A. *Barragens no Nordeste do Brasil; experiência do DNOCS em barragem na região semi-árida*. 2.ed. Fortaleza, DNOCS,1990.p.87-93
- CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia prática. CPRM, Rio de Janeiro, 1994.
- FIGUEIREDO, M.A. Vegetação. *in: Atlas do Ceará*. IPLANCE, Fortaleza,1989
- FUNCEME. Projeto Mundaú. Relatório Final. Fortaleza, 1998
- REINING, Ludger. Erosion in Andean hillside farming: characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping systems in the southern central cordillera of Colombia. Margraf, Hohenhein tropical agricultural series: 1, 1992
- RISSE, L.M.; NEARING, A.D.N.;LAFLEN, J.M. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 825-833, 1993
- SALES, M.T.B.F. Caracterização de Processos Erosivos em Áreas Florestadas e Antropizadas na Serra de Baturité-CE. Dissertação de Mestrado em Geologia - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1997.
- VANNONI, V.A. *Sedimentation Engineering*. ASCE, New York, 745 p., 1977
- WISCHMEIER, W. H. Rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. *Agricultural Handbook no. 282*. ARS-USDA, 1965
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*, n. 537, Washington D.C., 1978