



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA

JÉSSICA ARAGÃO

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE EROSÃO E ASSOREAMENTO DE BARRAGEM
EM BACIA HIDROGRÁFICA SEMIÁRIDA: O CASO DO AÇUDE BENGUÊ - CE**

FORTALEZA

2020

JÉSSICA ARAGÃO

MODELAGEM DA EROSÃO E DO ASSOREAMENTO DE BARRAGEM EM BACIA
HIDROGRÁFICA SEMIÁRIDA: O CASO DO AÇUDE BENGUÊ - CE

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao
Curso de graduação em Agronomia em 15 de
outubro de 2020 da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.
Coorientador: Msc. Gláuber Pontes Rodrigues

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A671m Aragão, Jéssica.

Modelagem matemática de erosão e assoreamento de barragem em bacia hidrográfica semiárida : o caso do Açude Benguê - CE / Jéssica Aragão. – 2020.
52 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.

Coorientação: Prof. Me. Gláuber Pontes Rodrigues.

1. Sedimento. 2. USLE (Universal Soil Lost Equation). 3. Açudagem. I. Título.

CDD 630

JÉSSICA ARAGÃO

MODELAGEM DA EROÇÃO E DO ASSOREAMENTO DE BARRAGEM EM BACIA
HIDROGRÁFICA SEMIÁRIDA: O CASO DO AÇUDE BENGUÊ - CE

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao
Curso de graduação em Agronomia em 15 de
outubro de 2020 da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.
Coorientador: Msc. Gláuber Pontes Rodrigues

Aprovada em: 15/10/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Alisson Fernandes Simplicio
Instituto Federal do Maranhão. Campus Codó (IFMA)

Prof. Dr. Waleska Martins Eloi
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.
Campus Fortaleza (IFCE)

“— Então, para que devo escutar meu coração?
— Porque você jamais vai poder mantê-lo
calado. E mesmo que finja não escutar o que ele
diz, ele estará dentro do seu peito, repetindo
sempre o que pensa sobre a vida e o mundo”
Paulo Coelho

AGRADECIMENTOS

Uma vez escutei a seguinte frase “a gente não se forma sozinho”, no começo pensei que fosse em relação a nossa turma, mas ao longo da graduação percebi que na verdade a gente não se forma sozinho pois temos sempre ao nosso lado pessoas nos dando suporte e nos ajudando apesar das adversidades, a essas pessoas eu gostaria de fazer meus agradecimentos.

Aos meus progenitores e familiares que puderam me dar suporte ao longo de toda a vida e durante a graduação. Se hoje consigo ser uma pessoa autônoma é graças a vocês.

Às minhas melhores amigas que sem elas eu não teria chegado aqui, obrigada por sempre me mostrar a luz no final do túnel, por tornar a minha vida mais leve e aceitável, por sempre acreditar na minha capacidade e no meu potencial mesmo quando eu não consigo enxergar isso em mim. Obrigada por serem minhas *soulmates* e me compreender tão bem, mesmo quando eu não faço nenhum sentido. Eu sempre quis ser um exemplo pra vocês e acho que finalmente consegui. Obrigada por serem as pessoas mais excepcionais que já passaram pela minha vida, eu amo profundamente vocês. Obrigada por dividirem a vida comigo! Sim, isso foi pra vocês, Mylene Freitas e Luisa Marcellah.

À família Nogueira por me acolher e fazer eu me sentir especial, por sempre ter um lugar quando precisava e sempre implicar comigo, fazendo vocês serem a minha família também. Especialmente à Amanda, que sempre tem os melhores conselhos e resoluções para os meus problemas e por fazer os melhores cookies do mundo!

Ao Programa de Educação Tutorial do curso de Agronomia, que ao longo de 4 anos me moldou e me tornou um pouco da futura profissional que eu serei, nesse programa pude ter uma das melhores experiências da minha vida, pude ser líder, pude ser subordinada, pude aprender a lidar com problemas e solucioná-los, pude descobrir minha vocação para a docência, viajei, chorei, me apaixonei, briguei, reconciliei, aprendi a lidar com as diferenças e a aceitar que nós não somos iguais e que isso é a coisa mais maravilhosa que há. Junto ao PET pude ser representante estadual e conhecer ainda mais sobre as diferenças. Meu agradecimento se estende a todos do PET Elétrica, que foram a minha segunda casa na UFC sempre que eu necessitava, mesmo quando eu não necessitava. Obrigada a todos que se fizeram presente em minha vida por causa do PET, em especial a Carolina Souza, Sabrina Oliveira, Bruno Luiz Faustino, Sayanarah Nabuco e Pedro Tino, eu amo verdadeiramente vocês.

À minha inseparável dupla, pois como aprendemos no primeiro semestre, no laboratório de química analítica, a dupla é um casamento. Obrigada por estar ao meu lado em todos os trabalhos e sempre me ajudar a não surtar, sempre com a sua famosa frase ‘fica 12/8’,

sem você minha graduação teria sido entediante, obrigada por estar comigo a cada passo dado dentro da Universidade, José Wilson.

Ao grupo BTS que recentemente entrou em minha vida e que através de suas canções puderam acalantar meu espírito quando achava que não poderia mais aguentar, que me fizeram rir com suas competições por um miojo, continuem a ser inspiração para milhares de jovens ao redor do mundo assim como foram pra mim, obrigada Kim Namjon, Kim Seokjin, Min Yoongi, Jung Hoseok, Park Jimin, Kim Taehyung e Jeon Jungkook. Tentarei fazer com que meus sonhos não permaneçam apenas como sonhos, Min Yoongi.

Gostaria de estender meus agradecimentos a todos os professores que tive a oportunidade de estar em sala de aula e me fizeram acreditar na docência, meu agradecimento especial vai a todos aqueles que me mostraram como não deve ser o comportamento de um professor, tanto em sala de aula quanto fora, pois o respeito é uma via dupla. Graças a vocês pude tirar meu exemplo sobre que tipo de profissional eu quero ser.

Ao grupo HIDROSED por me auxiliar sempre que pedia por socorro e que sempre estiveram solícitos a me ajudar, em especial Francisco Jairo, Suziane Soares e Gláuber Pontes.

Ao Prof. Dr José Carlos pela orientação e paciência durante todo esse período, obrigada principalmente por acreditar em mim.

Ao meu co-orientador Msc. Gláuber Pontes, por aguentar todos os meus surtos e me acalmar mostrando que eu conseguiria realizar a tarefa que me foi designada, obrigada por todos os conselhos.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Antonio Alisson Fernandes Simplicio, Prof. Dr. Waleska Martins Eloi pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Mas o meu principal agradecimento é para os profissionais de saúde que nesse ano tiveram que enfrentar uma pandemia e mesmo com a gravidade da situação e de todas as complicações que houveram, estiveram sempre na linha de frente em defesa daqueles que precisavam, vocês são os verdadeiros heróis, se hoje eu posso estar entregando esse trabalho para concluir minha graduação, é graças a vocês. Aonde quer que vocês estejam, sintam-se abraçados e reconhecidos por mim, os seus esforços sempre serão lembrados. Àqueles que infelizmente não puderam resistir na luta contra o Covid-19, nós não nos esqueceremos de vocês.

Por fim, meu agradecimento vai a mim, pela perseverança nessa empreitada, foi uma verdadeira viagem de autoconhecimento e aceitação a realização desse projeto.

“— Ter coragem não quer dizer que você não esteja com medo, Starr – diz ela – quer dizer que você segue em frente apesar de estar com medo.” Angie Thomas

RESUMO

Na região semiárida os reservatórios desempenham um papel fundamental para atenuar a escassez hídrica, nesse contexto é importante indagar os processos responsáveis pelo comprometimento quantitativo e qualitativo destes no decorrer do tempo. Entre muitas incertezas e processos que afetam as características de um reservatório destaca-se o assoreamento, que é o objeto de estudo desta pesquisa. Neste trabalho há a proposição de um método para estimar o assoreamento em reservatórios do semiárido, em especial o açude Benguê, utilizando parâmetros topográficos, pluviométricos, pedológicos e de cobertura vegetal da presente bacia hidrológica, componentes esses da Equação Universal da Perda de Solo, com isso gerando um modelo de nome HIDROSED. Este modelo permite fazer uma estimativa sobre o transporte difuso de sedimentos pelos métodos de Maner, Roehl e Williams & Berndt. Para a validação do modelo foram utilizados dados existentes na literatura. Após aplicação do modelo HIDROSED foi realizada a comparação com os valores obtidos pelo modelo e os valores reais já existentes para a bacia. A comparação dos valores simulados e medidos demonstrou que o modelo apresentou um erro de 124%, quando utilizado o método de Maner. Foi implícito a pouca aplicabilidade das equações de Roehl e Williams-Berndt para a bacia estudada, pois tiveram erro de 331% e 353% respectivamente.

Palavras-chave: Sedimento. USLE (Universal Soil Lost Equation). Açudagem.

ABSTRACT

In the semi-arid region the reservoirs play a key role in mitigating water scarcity, it is of great importance to investigate the processes responsible for their quantitative and qualitative commitment over time. Among many uncertainties and processes that affect the characteristics of a reservoir we can call attention to silting up, which is the object of study of this paper. This essay proposes a method to estimate silting in reservoirs in the semi-arid region, in particular the Benguê reservoir, using topographic, pluviometric, pedological and vegetation cover parameters of the present watershed, components of the Universal Soil Loss Equation, with that generating a model called HIDROSED. This model allows us to estimate the diffuse sediment transport using the methods of Maner, Roehl and Williams & Berndt. Existing data in the literature were used to validate the model. After application of the HIDROSED model, a comparison was made with the values obtained by the model and the actual values already existing for the watershed. The comparison of simulated and measured values showed that the model presented an error of 124%, when using the Maner method. The low applicability of the Roehl and Williams & Berndt equations for the studied basin was implicit, as they had an error of 331% and 353% respectively.

Keywords: Sediment. USLE (Universal Soil Lost Equation). Weir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Benguê.....	28
Figura 2 – Mapa de altitude do Benguê (MEDEIROS, 2009)	29
Figura 3 – Benguê dividido em oito quadrículas.....	29
Figura 4 – Mapa de solos da bacia do açude Benguê (Fonte: RADAM-BRASIL, 1981).....	30
Figura 5 – Rede de drenagem do Benguê.....	31
Figura 6 – Declividade do terreno relacionado ao Benguê.....	32
Figura 7 -Uso e ocupação do solo do Benguê.....	34
Figura 8 – Deposição de solo na bacia do Benguê após um evento pluviométrico de 20mm por dia por 30 dias	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores do fator “C”, de uso e manejo do solo para oeste da África	33
Tabela 2 – Valores de R para cada quadrícula (2000-2012).....	35
Tabela 3 – Valores de K para cada quadrícula.....	35
Tabela 4 – Valores de LS para cada quadrícula.....	36
Tabela 5 – Valores de CP para cada quadrícula.....	36
Tabela 6 – Tabela de área em hectares.....	36
Tabela 7 – Áreas corrigidas.....	36
Tabela 8 – Valores percentuais de SDR.....	37
Tabela 9 – Valores referentes ao Benguê – erosão.....	37
Tabela 10 – Erosão bruta em toneladas de sedimento para cada quadrícula.....	37
Tabela 11 – Valores de erosão a cada ano e de SDR.....	38
Tabela 12 – Massa e volume de sedimentos assoreados e erro na estimativa.....	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 . Modelagem hidrológica.....	16
2.2 . Processos Hidrossedimentológicos e Transporte.....	20
2.3 USLE (Universal Soil Lost Equation) e SDR (Sediment Delivery Ratio).....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5. CONCLUSÃO.....	41
6. REFERÊNCIAS.....	42
7. APÊNDICE A – Código do programa.....	45

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro é uma região que compreende 10 estados, com uma área aproximada de 1.000.000 km² e uma população de 25 milhões de habitantes e essa região já apresenta há tempos problemas relacionados a disponibilidade hídrica para seus moradores. A pluviosidade média anual da região é de 800mm e a maior parte do abastecimento das moradias são provenientes de águas advindas das chuvas, as quais ficam armazenadas em reservatórios e posteriormente distribuídos. Com isso, Lima Neto et al (2011) e Mamede et al (2012) aferiram que Semiárido brasileiro possui diversas características que o tornam um clima peculiar e de alta complexidade, ademais a alta variabilidade do regime pluviométrico e a alta evaporação potencial o tornam muito suscetível à escassez de água. Conforme Lima Neto et al (2011) 70% da composição do solo dessa região é sobre o embasamento cristalino, com pequenas profundidades que limitam a estocagem subterrânea tornando a açudagem a principal alternativa de convívio com a seca, fato notório a partir da grande concentração de açudes na região.

Os reservatórios, além de armazenarem água, também acabam por reter uma boa parcela de sedimentos que são produzidos pelos processos erosivos da bacia, em um processo que é conhecido como assoreamento (LIRA et al., 2014). Parte do solo que é erodido é transportado e assim, atinge os cursos hídricos e reservatórios, processo este chamado como produção de sedimentos. Esses processos vem sendo o objetivo de diversos estudos, pois influenciam diretamente a capacidade, a vazão regularizada e a vida útil dos reservatórios. Com o assoreamento a tendência geral é de aumento das perdas por evaporação (uma vez que as relações cota - área - volume sofrem alterações) e das perdas por extravasamento (uma vez que há redução da capacidade acumulativa do reservatório). (ARAÚJO et al., 2006; LOPES, 2016).

A notoriedade de escassas investigações científicas relacionados a erosão do semiárido brasileiro é evidenciada sempre que há a necessidade da utilização de dados referentes a essa região. Isso advém de diversos fatores, principalmente porque a obtenção desses dados é onerosa em tempo, trabalho intelectual e por vezes a falta de profissionais capacitados para realizar essas pesquisas. Como alternativa podemos usar a modelagem e equações para avaliar os efeitos da erosão e a deposição de sedimentos. Entre os modelos existentes para avaliação da taxa de erosão temos a Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation -

USLE), um modelo de predição de erosão devido ao escoamento superficial para análises de longo prazo (MORRIS; FAN, 1998).

O presente trabalho teve como objetivo utilizar a modelagem como meio de aferir os valores de erosão do solo, a quantidade de sedimentos que foi produzida em um espaço temporal determinado e o SDR (Sediment Delivery Ratio), ou em português, o transporte de sedimento difuso da bacia do Benguê localizada no Ceará.

Para a obtenção desses dados foram seguidos os seguintes passos: (i) elaboração do modelo HIDROSED; (ii) simulação do processo em uma bacia do Semiárido (Benguê); e (iii) validação de seus resultados através de levantamentos de campo. A modelagem consta de três etapas fundamentais: avaliação da produção de sedimentos por erosão laminar; validação do transporte difuso do sedimento na bacia; e avaliação da retenção do sedimento no reservatório. Simula-se, então, o processo de erosão - transporte - assoreamento para a bacia (ARAÚJO, 2003). Para que haja a validação desse processo de simulação, são comparados os resultados da simulação com os dados de assoreamento medidos em campo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Modelagem hidrológica

A compreensão acerca dos processos hidrológicos entre os diferentes setores ambientais é imprescindível, contudo, a obtenção dos dados desses processos *in situ* é demasiadamente árduo, tendo em vista a extensão das áreas estudadas e a inconstância dos fatores ambientais que regem a área de estudo. Nesse contexto, sugere-se a utilização de modelagem. A modelagem hidrológica acaba por ser essencial para a obtenção desses dados, pois com ela é possível a reprodução de eventos hidrológicos em determinado tempo, utilizando os princípios e aplicações de mais de um conceito e/ou teoria.

Os modelos hidrológicos procuram representar a parte terrestre do ciclo hidrológico, transformando a precipitação que cai sobre a bacia em vazão numa determinada seção de um rio. O conhecimento foi inicialmente fragmentado pela análise de cada um dos processos, como a avaliação da precipitação, interceptação vegetal, evapotranspiração, infiltração e percolação, balanço de água nas camadas superior e inferior do solo e os escoamentos superficial, subsuperficial, subterrâneo e em rios, canais e lagos (TUCCI, 2010)

É crescente a utilização da modelagem para prever eventos, devido aos aspectos citados anteriormente, bem como por ser uma forma mais eficiente de obtenção de dados, pois as máquinas de processamento, conhecidas por computadores, podem calcular processos determinados com mais precisão e mais agilidade do que quando esses cálculos eram realizados a mão e estando o modelo devidamente calibrado, pode evitar deslocamentos ao local de estudo, tornando-se assim um processo menos oneroso e mais imediato.

A maioria dos processos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica são, em certa medida, aleatórios. Da mesma forma, também são os impactos previstos. Muitas vezes os parâmetros dos modelos utilizados para prever os múltiplos impactos (hidrológicos, econômicos, ambientais e sociais) também são incertos. Portanto, ignorar esta incerteza é ignorar a realidade (RODRIGUES, 2019).

Haan (1989) declarou que as incertezas hidrológicas podem advir de 3 principais origens:

- Dados de entrada: engloba as variáveis meteorológicas, de escoamento e das características físicas do sistema hidrológico, sujeitas a erros de medição (falta de precisão na medição, rede inadequada, erro na transmissão de dados, não aferição dos aparelhos) e a processos de natureza aleatória, com uma incerteza estatística peculiar associada às suas leis de probabilidade;
- Estrutura do modelo: causada pelo fato de que não se pode assegurar que determinado processo hidrológico, ou mesmo todo um sistema, está sendo corretamente modelado, pois a aproximação dos fenômenos reais é inevitável, e isso leva a incertezas. Sendo assim, se fosse possível construir um modelo hidrológico estruturalmente perfeito, capaz de reproduzir o ciclo hidrológico, ainda haveria um resíduo aleatório causado pela incerteza natural;
- Parâmetros: resultado de inadequações nas técnicas para sua estimativa, da limitada representatividade dos dados e de imperfeições na estrutura do modelo. À medida em que determinado processo hidrológico não é representado, ou é modelado de forma simplificada, outros componentes do modelo e seus parâmetros são obrigados a compensar isso para que sejam dados bons resultados.

Em conjunto com as incertezas há também a forma em que o modelo está classificado. Há dois modelos de relevância acentuada, sendo eles os modelos estocásticos, que fazem uso das séries observadas de vazões em determinados pontos e, a partir de certas hipóteses sobre seu comportamento, permitem que estas sejam representadas por um dos diversos tipos de modelos de séries temporais normalmente utilizados; e os modelos determinísticos ou conceituais, cujo objetivo reside em representar o sistema físico natural (isto é, os processos do ciclo hidrológico), de modo que, a partir de dados de entrada, tais como os volumes precipitado e evaporado, condições iniciais de umidade do solo, cobertura vegetal, entre outros, possam ser fornecidas as séries de vazões. Tais modelos são usualmente denominados como modelos chuva-vazão. (ALMEIDA. 2017)

É notório que os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Comumente, esses modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), mas além deles a classificação pode ocorrer sobre: o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos) e a existência de dependência temporal (estacionários ou dinâmicos) (MOREIRA, 2005).

Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório. Por exemplo, o nível futuro de um reservatório depende da vazão afluente futura, que é uma variável aleatória com uma dada distribuição de probabilidade. Caso os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante a elaboração de um modelo, este será denominado determinístico. Nota-se, no entanto, que uma variável de entrada pode ser aleatória, mas o modelo ainda assim é determinístico quando cada valor de entrada produz um único valor de saída. Sistemas multivariados não lineares podem levar a resultados caóticos que erroneamente são interpretados como variáveis aleatórias (FAYAL, 2008).

Os modelos conceituais baseiam-se na representação dos processos físicos que envolvem o fenômeno estudado. Estes são subdivididos em semi conceituais e fisicamente fundamentados. O primeiro relaciona as características físicas do processo mantendo razoável empirismo na definição dos parâmetros e o segundo se aproxima bastante da física do sistema. Os modelos empíricos não apresentam nenhuma relação com os processos físicos envolvidos, utilizam funções que são baseadas em análises estatísticas, por esse motivo, tais modelos também são denominados de modelos “caixa-preta”. (MARINHO FILHO, 2012).

Alguns autores utilizam uma subdivisão na classificação dos modelos conceituais: semi conceituais e físicos ou físico-distribuídos. Os primeiros se referem aos modelos que relacionam características do processo, mas mantêm um razoável empirismo nos parâmetros das equações envolvidas. Por sua vez, os físicos utilizam as principais equações diferenciais do sistema físico para representar os processos, e os seus parâmetros são os que mais se aproximam da física do sistema. As dificuldades dos modelos físicos têm residido sempre na variabilidade espacial dos processos e na dificuldade de estimar os parâmetros (FAYAL, 2008).

Modelos concentrados são aqueles que não consideram a variabilidade espacial das variáveis hidrológicas envolvidas no processo modelado. Nesses modelos, a principal variável é o tempo. Na modelagem concentrada do processo chuva-vazão de uma bacia hidrográfica, por exemplo, todas as variáveis do sistema são avaliadas em termos da média espacial. Isso significa que chuva, evaporação, infiltração, vazões e outras variáveis são consideradas em termos médios na bacia. Considera-se que todas as variáveis de entrada e saída são representativas de toda área estudada (FAYAL, 2008). Por outro lado, os modelos distribuídos possuem a capacidade de representar a variabilidade espacial das características físicas da bacia hidrográfica. Nesse caso, as variáveis e parâmetros do modelo dependem do tempo e do espaço. Os modelos distribuídos aplicam a lei da conservação de massa em escala local e utilizam como

dado de entrada uma grande quantidade de informações que definem as características espaciais da bacia hidrográfica (CUNHA, 2004).

Os modelos podem ser estacionários, onde descrevem o fenômeno em determinado momento, os parâmetros não variam com o tempo. Já nos modelos dinâmicos, os parâmetros podem variar no tempo, sendo, portanto, as variáveis função do tempo. (MARINHO FILHO, 2012).

Um modelo hidrológico é dito discreto (por evento) quando objetiva a modelagem de períodos isolados da série, normalmente buscando representar eventos de cheia ou recessão. Os modelos contínuos buscam representar longos períodos da série, muitas vezes, contemplando épocas de comportamentos hidrológicos diferentes. Em decorrência disso, esses modelos apresentam estrutura mais detalhada, desenvolvida para simular com maior exatidão todas as fases do ciclo hidrológico. Mesmo os modelos contínuos no tempo apresentam discretização temporal, denominada passo de cálculo, pois, muitas vezes, os fenômenos do ciclo hidrológico são representados por equações diferenciais que não possuem solução analítica. A escolha do intervalo de tempo do modelo depende basicamente do fenômeno estudado, da disponibilidade de dados e da precisão desejada nos resultados. Em geral, quanto menor o intervalo de tempo maior será a precisão dos resultados, aumentando também o custo computacional para geração desses resultados (RENNÓ E SOARES, 2003).

É possível inferir que os modelos hidrológicos são imprescindíveis para prever e dimensionar os fenômenos físicos que acontecem na natureza, pois é inviável calcular diretamente esses eventos. Assim, eles são descritos como ferramentas essenciais para a obtenção de informações para ser utilizada na gestão e no planejamento do uso dos recursos hídricos.

Marinho Filho (2012) elenca as principais aplicações da modelagem hidrológica como sendo:

— Análise de consistência e preenchimento de falhas: devido à facilidade de operação e custo, é normal existirem séries mais longas de precipitação do que de vazão. Portanto, por meio do modelo, é possível, após o ajuste, estender a série de vazão com base na precipitação. O modelo também é utilizado para analisar a consistência da curva-chave, dos níveis e precipitações observados, além de permitir a verificação de alterações no rio e na bacia;

- Previsão de vazão: o controle de cheia, a operação de obras hidráulicas, a navegação, entre outros, depende do conhecimento antecipado da ocorrência da vazão. Esse tipo de estimativa da vazão pode ser obtido com base na precipitação conhecida, na vazão de um posto de montante ou na correspondente combinação. As características da simulação para esse objetivo são diferentes das demais, no entanto, modelos semelhantes podem ser utilizados, mas com estruturas computacionais diferentes. O modelo de previsão em tempo atual deve buscar utilizar ao máximo as informações disponíveis no momento da previsão, atualizando parâmetros e/ou variáveis;
- Dimensionamento e previsão de cenários de planejamento: conhecida a precipitação, e o risco de sua ocorrência, é possível estimar a vazão resultante para cenários de uso e modificação da bacia, visando ao dimensionamento ou planejamento de alternativas de desenvolvimento do sistema. Nesse caso, os modelos hidrológicos utilizados podem ter algumas limitações, quanto à simulação de certos cenários de desenvolvimento diferentes daquele do ajuste, como, por exemplo, a modificação do uso do solo;
- Efeitos resultantes da modificação do uso do solo: a análise do escoamento resultante da modificação do uso do solo é um problema complexo, que requer uma metodologia mais sofisticada que as utilizadas nas aplicações anteriores. Os modelos existentes para modificações do solo são, em sua maioria, conceituais, possuem muitas formulações empíricas para representar os processos e logo os parâmetros acabam se relacionando mais qualitativamente do que quantitativamente com a física da bacia. Mesmo nessas condições, os parâmetros englobam várias características da bacia, o que dificulta qualquer análise quanto ao resultado da modificação de qualquer característica da bacia. Isso ocorre, por exemplo, com o desmatamento de grandes áreas, com a urbanização acentuada da bacia, entre outros. Modelos que representam o processo físico em maior detalhe e com menor empirismo, apresentam sérias limitações devido à heterogeneidade da bacia.

2.2 Processos Hidrossedimentológicos e Transporte

Os processos responsáveis pela sedimentação são muito complexos, abrangendo erosão, deslocamento das partículas por enxurradas ou outros meios até os rios, transporte do

sedimento nos cursos d'água, deposição do sedimento na calha dos rios, lagos e reservatórios e sua compactação. (CARVALHO, 2008)

Muller (2017) define que a erosão consiste no processo de desprendimento e transporte das partículas do solo, constituindo-se na principal causa da degradação dos solos agrícolas. De acordo com Morgan (2005), o processo erosivo inicia-se com o impacto das gotas de chuva sobre o solo, sendo que a energia cinética da gota de chuva é transferida para o solo, causando a desagregação das partículas de solo (desagregação física) e também o transporte das partículas em alguns poucos centímetros pelo salpicamento das gotas levando consigo partículas de solo. Quando não há mais energia suficiente para transportar as partículas ocorre a sua deposição.

A taxa de destacamento é proporcional à energia cinética da chuva, à declividade do terreno e à altura da lâmina de água. A intensidade do processo erosivo é decorrente da quantidade do material que é desagregado e pela capacidade do escoamento em transportar os sedimentos. Desta maneira a intensidade da erosão pode ser limitada tanto pela quantidade de material desagregado (limitado pela desagregação) ou pela capacidade de transporte (limitado pelo transporte). (MINELLA, 2010)

A produção de sedimentos é resultado de uma série de processos de erosão e deposição, sendo assim, dependente das variáveis que afetam a erosão e o transporte difuso e/ou concentrado. A erosão de solo depende da topografia local, das propriedades do solo, do clima e da cobertura vegetal, enquanto que o transporte é influenciado pela morfologia da bacia, por características da rede de drenagem pelo uso do solo. (VERSTRAETEN e POESEN, 2001)

Os processos de erosão hídrica estão intimamente relacionados aos caminhos percorridos pela água em seu movimento por meio da cobertura vegetal e sobre a superfície do solo. A chuva que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou ocos na superfície ou pode se infiltrar no solo, contribuindo para o armazenamento da umidade do solo, para movimento lateral descendente dentro do solo como subsuperfície ou interfluxo ou, por percolação mais profunda, às águas subterrâneas. Quando o solo não consegue absorver mais água, o excesso contribui para o escoamento na superfície, resultando em erosão por escoamento superficial ou por riachos e ravinas. As taxas de infiltração dependem das características do solo. (MORGAN, 2005)

A ação das gotas de chuva sobre as partículas do solo é mais facilmente compreendida considerando o impulso de uma única gota de chuva caindo em uma superfície inclinada. O

componente de declive deste o momento é totalmente transferido para a superfície do solo, mas apenas uma pequena proporção do componente normal à superfície é transferida, o resto sendo refletido. A transferência de momentum para as partículas do solo tem dois efeitos. Primeiro, fornece uma força de consolidação, compactando o solo; em segundo lugar, produz uma força perturbadora à medida que a água se dispersa rapidamente e retorna ao ponto de impacto em jatos de fluxo lateral. Esses movimentos rápidos jatos de água conferem velocidade a algumas das partículas do solo e as lançam no ar, arrastado em gotas de água que são formadas pela quebra da gota de chuva em contato com o solo. Assim, as gotas de chuva são agentes de consolidação e dispersão. (MORGAN, 2005)

Com isso podemos afirmar que o impacto da gota de chuva é um processo crítico para a desagregação do solo. Farraes (1978) mostrou que após uma precipitação, a maioria dos agregados na superfície do solo foram destruídos, enquanto aqueles da camada inferior do solo permaneceram intacta, mesmo estando completamente saturada. Contudo, apenas um toque nesses agregados causou a sua ruptura, instantaneamente. Essa evidência indica que, embora a saturação do solo reduza a resistência interna dos agregados do solo, eles não se desintegram até serem atingidos por gotas de chuva.

Grande parte do sedimento salpicado devido a precipitação é movido apenas por distâncias relativamente curtas antes de ser depositado. Uma vez que a deposição é um processo seletivo de tamanho de partícula, com as partículas mais grosseiras sendo depositadas primeiro, a camada depositada torna-se progressivamente mais grossa, pode-se desenvolver em uma crosta deposicional e assim menos o solo é exposto à erosão. (MORGAN, 2005)

Horton (1945) descreveu que o escoamento superficial cobre dois terços ou mais das encostas em uma bacia de drenagem durante o período de pico da chuva. Segundo ele, o escoamento superficial é o resultado da intensidade da chuva excedendo a infiltração de capacidade do solo, com o seguinte padrão de distribuição sobre a superfície terrestre: o topo do declive é uma zona sem efluxo, que forma um cinturão sem erosão, a uma distância crítica da crista a água se acumula na superfície para que a drenagem comece. Descendo ainda mais a encosta, a profundidade da vazão aumenta com a distância da crista até que, a uma distância crítica adicional, o escoamento torna-se concentrado tornando os caminhos de efluxo mais profundos, com isso, ocupando um espaço progressivamente menor em proporção ao da encosta. No entanto, o sistema hidráulico característico dos deflúvios varia muito em distâncias muito curtas por causa da influência da rugosidade do leito associada à vegetação e pedras.

Como resultado, a erosão é muitas vezes localizada e após uma chuva na superfície de uma encosta exibe um padrão de correntes alternadas e leques de sedimentos. Eventualmente, o escoamento se divide em riachos.

Uma vez que a maioria das observações atestam que o poder de escoamento superficial relacionado as regiões semiáridas ou áreas com vegetação espaçada, a cobertura vegetal é o fator crítico para a erosão. É possível notar que há alguma continuidade vegetal e nessas áreas, o escoamento ocorre raramente. A remoção da cobertura vegetal pode, portanto, aumentar a erosão por escoamento superficial. A retirada da cobertura vegetal do solo resulta em mais chuva atingindo a superfície do solo, diminuindo a infiltração, com isso a deposição de sedimento advindo do efluxo causa o desenvolvimento de uma crosta superficial no solo. As exceções a essa tendência ocorrem em áreas em que são registrados uma elevada intensidade pluviométrica. (MORGAN, 2005)

2.3 USLE (Universal Soil Lost Equation) e SDR (Sediment Delivery Ratio)

Um dos modelos mais utilizados e difundidos para o cálculo da perda de solo é a Equação Universal de Perdas de Solo, (USLE - Universal Soil Loss Equation), desenvolvida no Departamento de Agricultura dos EUA, na década de 1950, a qual representa importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo, uma vez que a partir das características e propriedades dos fatores ambientais responsáveis pelas perdas de solos, permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos naturais (Wischmeier & Smith, 1978).

Essa equação utiliza vários fatores ambientais para no final apresentar os valores de perda de solo. Ela é apresentada seguindo a seguinte expressão:

$$M_L = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \cdot A \quad (1)$$

onde M_L é a erosão localizada ($t \cdot ano^{-1}$); R o fator de erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$); K o fator de erodibilidade do solo ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$); L o fator topográfico que representa o comprimento do declive do terreno natural (adimensional); S o fator topográfico que representa a declividade (adimensional); C o fator que representa a cobertura vegetal e o uso do solo (adimensional); P o fator que reflete práticas conservacionistas (adimensional); e A a área (ha). (ARAÚJO, 2003).

— **Fator de erosividade da chuva (R) ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$):** O fator R representa a erosividade e os valores obtidos variam de acordo com o clima de cada região. A erosividade das chuvas não é distribuída uniformemente durante o ano. De todos os fatores da USLE, o fator R é o mais preciso computado a partir dos dados de entrada: quantidade e intensidade de chuva. Contudo, esses dados nem sempre estão disponíveis, especialmente em áreas isoladas.

— **Fator erosividade do solo (K) ($\text{t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$):** O fator K é uma medida do erodibilidade inerente de um determinado solo. Valores para K normalmente varia de cerca de 0,10 a 0,45 (unidades inglesas habituais), com alto teor arenoso e solos de alto teor de argila tendo os menores valores e em solos com alto teor de silte tendo os valores mais altos. Por causa de sua grande variedade de possibilidades valores, o fator K pode ter ligeiramente maior importância, de um ponto de sensibilidade de vista, do que o fator R.

Fator topográfico (LS): O fator L representa a relação de perdas de solos entre comprimento do declive e comprimento de rampa de 25 m para os mesmos fatores solo, chuva, grau de declive, cobertura e manejo. O fator S trata da relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, sendo apresentada uma equação para possíveis ajustes às características locais. Nas aplicações práticas da USLE os fatores L e S são avaliados em conjuntos. É considerado um fator de difícil obtenção, principalmente para trabalhos realizados em bacias hidrográficas e normalmente viabilizados pela adoção de softwares que efetuam seu cálculo (SILVA et al., 2007).

— **Fatores de uso e manejo do solo e de práticas conservacionistas (CP):** As variáveis uso e manejo são avaliadas em conjunto. Desta forma, diferentes combinações dessas variáveis apresentam diferentes efeitos nas perdas de solo. Para determinar os valores de CP muitas vezes são utilizadas imagens de satélite e com isso fazendo o mapa de uso e ocupação do solo. (ARAÚJO,2003)

O sistema de Equações apresentadas permite calcular com aproximações a erosão localizada. Assim, para se calcular a erosão em toda uma bacia há que se considerar o fator de

depósito e retenção difusa de sedimento para se chegar ao cálculo da erosão total da bacia. O transporte de sedimento difuso (SDR – Sediment Delivery Ratio) é a razão entre a massa de sedimentos que deixa uma bacia e a massa de sedimentos localmente erodidos. Khanbilvardi e Rogowski (1984) afirmam que o valor médio de SDR é 25% e apresentam três formulações disponíveis na literatura: Maner, Roehl e Williams & Berndt. (ARAÚJO,2003)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo HIDROSED foi desenvolvido nessa pesquisa afim de obter os valores de erosão, produção de sedimentos (anual) e SDR em uma bacia localizada no interior cearense (Benguê), numa área que compreende o semiárido brasileiro.

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do açude Benguê, localizada no município de Aiuaba, Ceará. A mesma situa-se na região denominada “Sertão dos Inhamuns”, e está inserida na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe (Figura 1) A bacia do Benguê drena uma área de 933 km² e é controlada pelo açude Benguê, com capacidade de acumulação de 19,6 hm³. O açude Benguê é utilizado para abastecimento da sede municipal de Aiuaba, sendo responsável também pela perenização de um trecho do rio Umbuzeiro a jusante da barragem. Na bacia do Benguê a elevação varia de 398 a 781 metros acima do nível do mar, sendo as maiores altitudes verificadas nos planaltos presentes nas bordas oeste e sul da bacia. (MEDEIROS, 2009) Na Figura 2 podemos observar o mapa de altitude do terreno.

A linguagem de programação utilizada foi Fortran e o programa foi compilado no CodeBlocks O programa foi dividido em rotinas para que houvesse a diminuição de erros.

A bacia analisada foi dividida em 8 quadriculas (Figura 3), para que também houvesse uma diminuição do erro dos valores calculados, tendo em vista que as variáveis analisadas variam espacialmente.

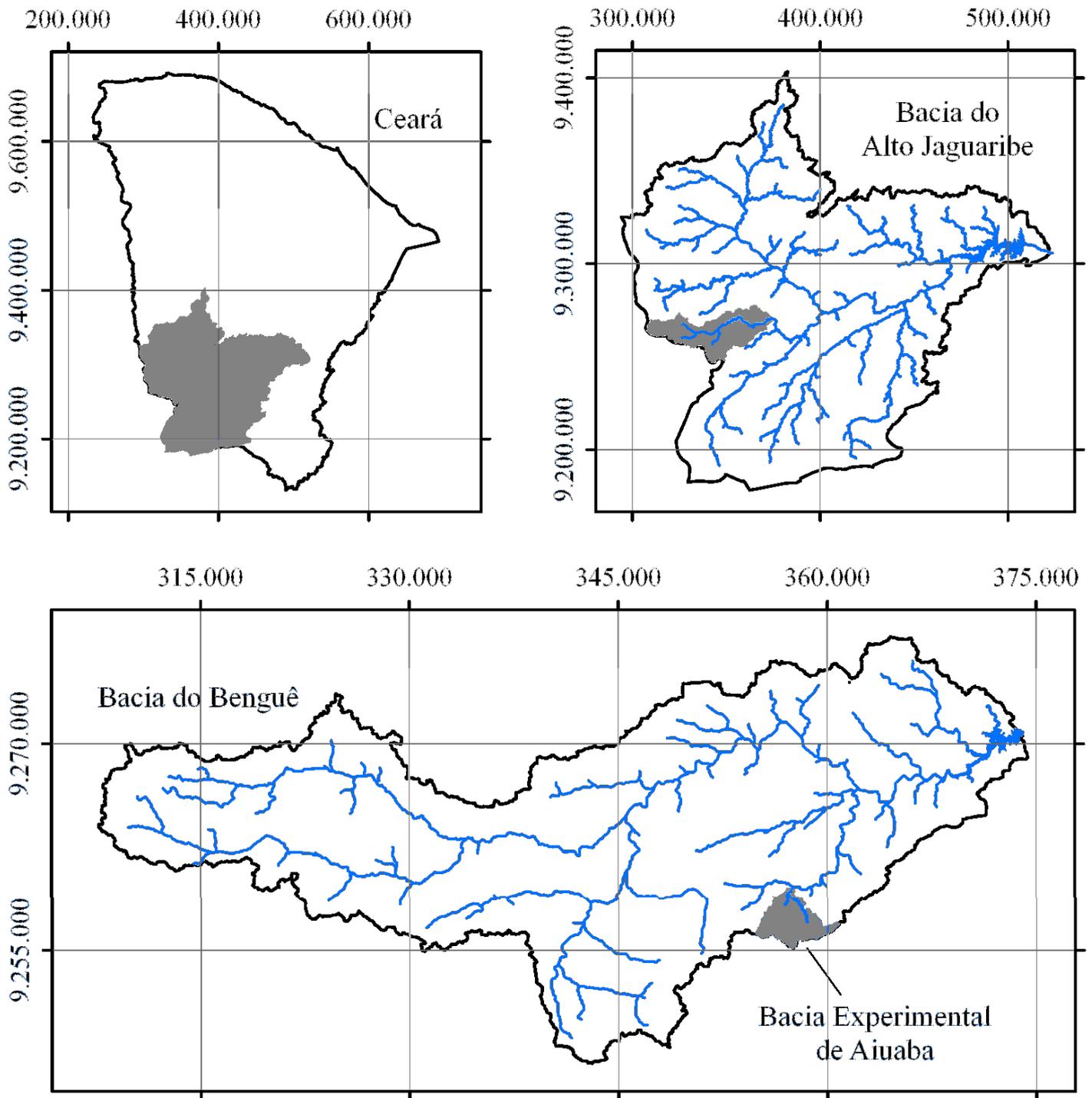


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Benguê

Para realizar a divisão das quadrículas e a criação desse mapa, foi utilizado o programa QGis, versão 2.18. Todos os mapas desta pesquisa estão na Projeção UTM, Zona 24S, Datum SAD-69. A partir das imagens digitais, foi possível obter a área de cada quadrícula, apresentada na Tabela 1, totalizando 901,83 km². Contudo a bacia possui uma área conhecida de

aproximadamente 961 km², para corrigir essa discrepância de 60 km², foi realizada a divisão da área real pela área obtida pelo QGIS.

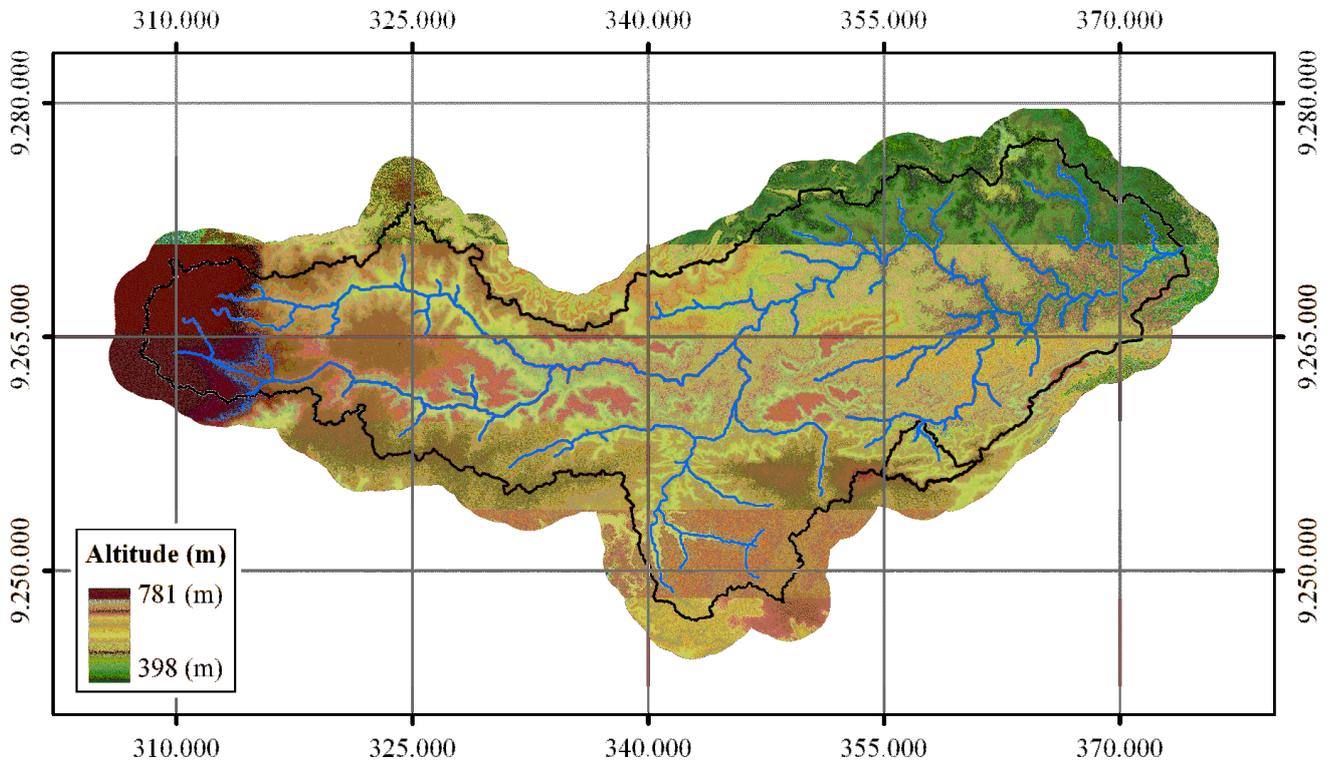


Figura 2 – Mapa de altitude do Benguê (MEDEIROS, 2009)

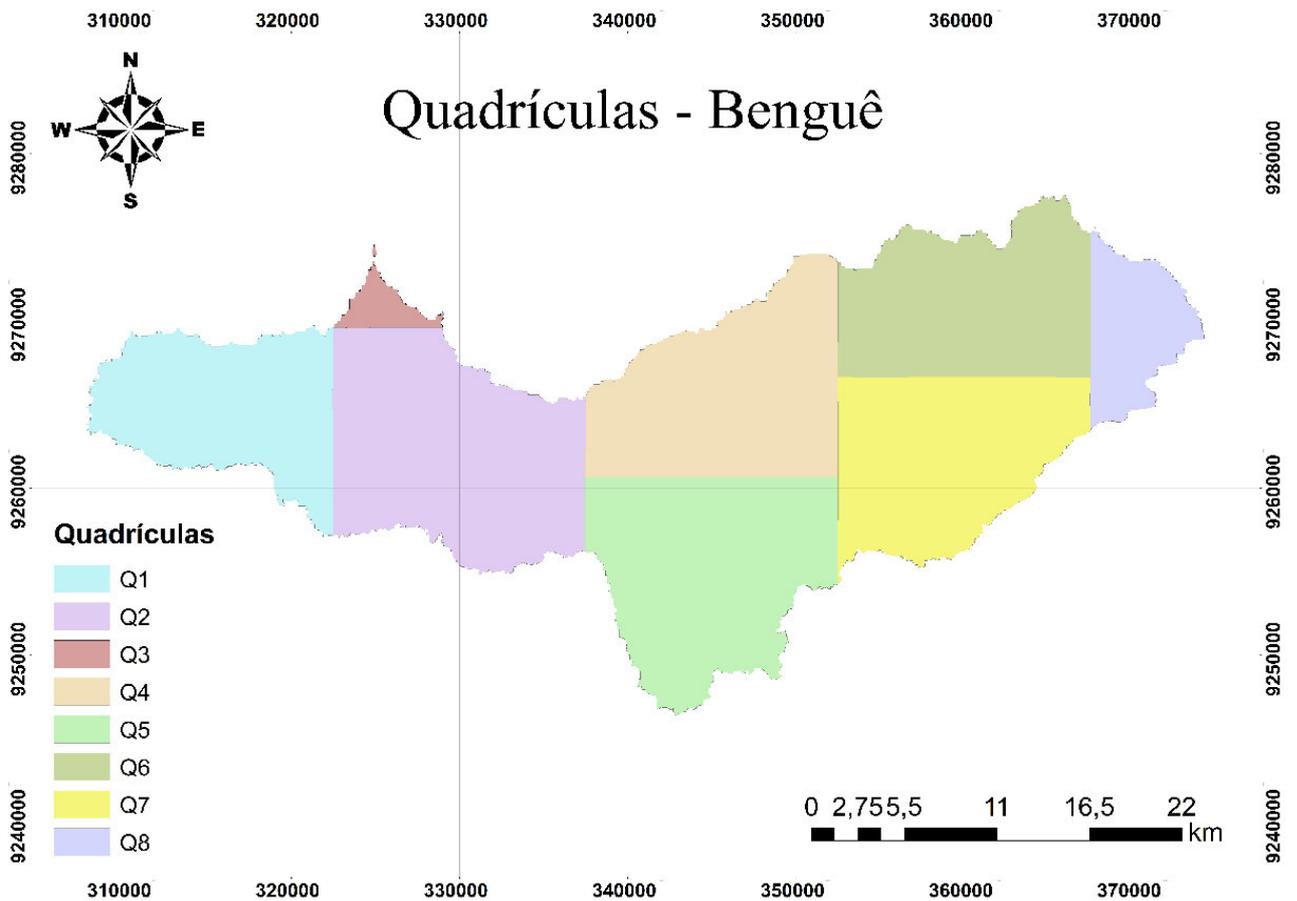


Figura 3 – Benguê dividido em oito quadriculas

Fator R

Para a obtenção dos dados referentes a erodibilidade (Fator R) foram utilizados os postos 4 (Aiuaba), 172 (Barra) e 428 (Estação Ecológica). Os dados desses postos pluviométricos estão disponíveis no sítio da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Foi utilizado o espaço temporal de 13 anos, de 2000 a 2012. A escolha desses anos deve-se ao fato que a barragem foi construída no ano 2001 e a última batimetria que há registro realizada em 2012. Houve a interpolação dos postos pluviométricos, assumindo para cada quadrícula o posto pluviométrico mais próximo.

Para sua obtenção do valor de R pode-se usar a Equação (2), desenvolvida por Lombardi Neto e Moldenhauer. Para o cálculo da erosividade da chuva anual, deve-se somar os valores calculados para cada mês, mostrado na Equação (3):

$$Rm = 67,355 \cdot \left(\frac{Pm^2}{Pa} \right)^{0,85} \quad (2)$$

$$R = \sum_{m=1}^{12} Rm \quad (3)$$

para Pm igual à precipitação mensal (mm.mês⁻¹); Pa a precipitação média anual (mm.ano⁻¹); Rm a erosividade mensal da chuva (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.mês⁻¹); R a erosividade anual (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹); e m o índice referente ao mês. (ARAÚJO, 2003)

Fator K:

Os valores referentes a erosividade do solo ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$) foram obtidos na literatura, tendo em vista a não disponibilidade de coleta e análise do solo da região. Com isso o processo foi desenvolvido em duas etapas. A primeira foi analisar o mapa de solos de RADAM-BRASIL (1981) representado pela Figura 4. Após a descoberta dos solos presentes na região, foram utilizados os valores de K definidos por Ramos (1990) e Sá et al (2004).

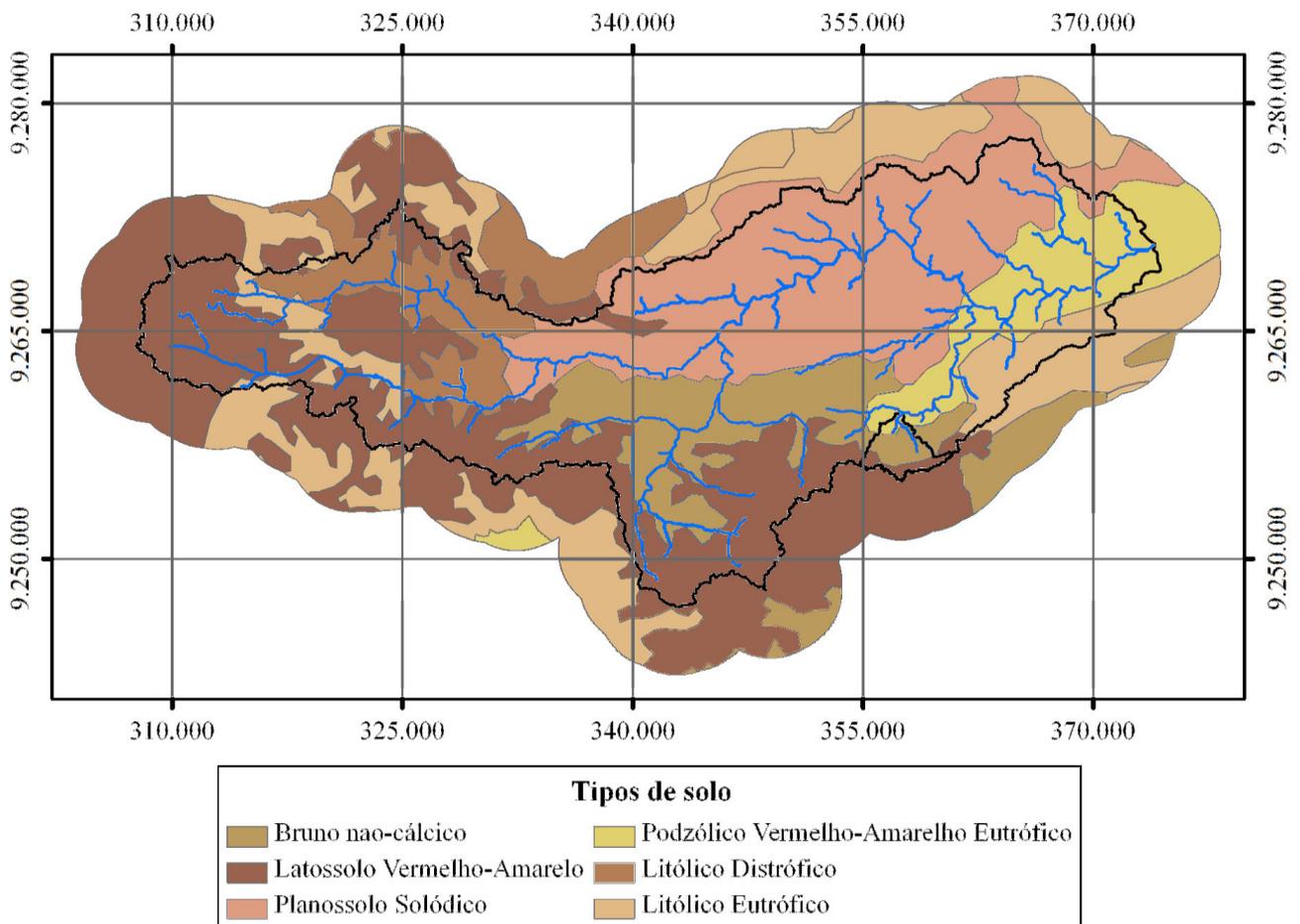


Figura 4 Mapa de solos da bacia do açude Benguê (Fonte: RADAM-BRASIL, 1981)

Fator LS

Para o cálculo do fator LS, Bertoni & Lombardi Netto (1990) desenvolveram para os solos, em talhões de diferentes comprimentos, a seguinte equação:

$$LS = 0,00984 L_r^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad (4)$$

sendo, LS o fator topográfico, L_r o comprimento de rampas em metros e D o grau de declive em porcentagem. A determinação do comprimento média de rampa foi proposta por Fernandes (2000):

$$L_r = A_q / (4 \cdot \sum L_{dren}) \quad (5)$$

em que, $\sum L_{dren}$ é a soma dos comprimentos de drenagem em uma quadrícula em metros; e A_q a área da quadrícula em hectares. (ARAÚJO,2003)

Para a obtenção dos valores referentes ao Fator LS, que está relacionado ao relevo do terreno, precisamos utilizar as variáveis encontradas na Equação 4. A primeira que foi determinada foi o L_r (Eq 5), com isso foi determinado a rede de drenagem da bacia, como mostrada na Figura 5 e a declividade do terreno, Figura 6. Como descrito por Araújo (2003) são considerados, para efeito de drenagem, os cursos d'água, os contornos de lagos e as estradas. Como grande parte dos drenos não são visíveis na escala de trabalho (1:100.000), o comprimento obtido nessa escala deve ser multiplicado por um fator de correção (λ), estimado através da comparação dos comprimentos de drenagens medidos em cartas nas escalas de 1:100.000 e de 1:10.000 para a região Sertão Central do Ceará. O fator de correção de escala adotado na pesquisa difere quanto à topografia: para bacia íngreme $\lambda = 3,5$; para bacia média a íngreme $\lambda = 3,0$; e para bacia média a plana $\lambda = 2,5$. Neste trabalho, foi adotado o valor de 5, tendo em vista que a declividade estimada e adquirida nesse trabalho extrapolou a realidade, como descrita por Medeiros (2010). Esse fator de correção entra na equação 4, junto com o somatório de todos os pontos de drenagem do terreno. Já a declividade, foi obtida através do programa de geoprocessamento QGis como mostrada na figura 5. Com esses valores em mãos, o valor do Fator LS foi logrado com êxito.

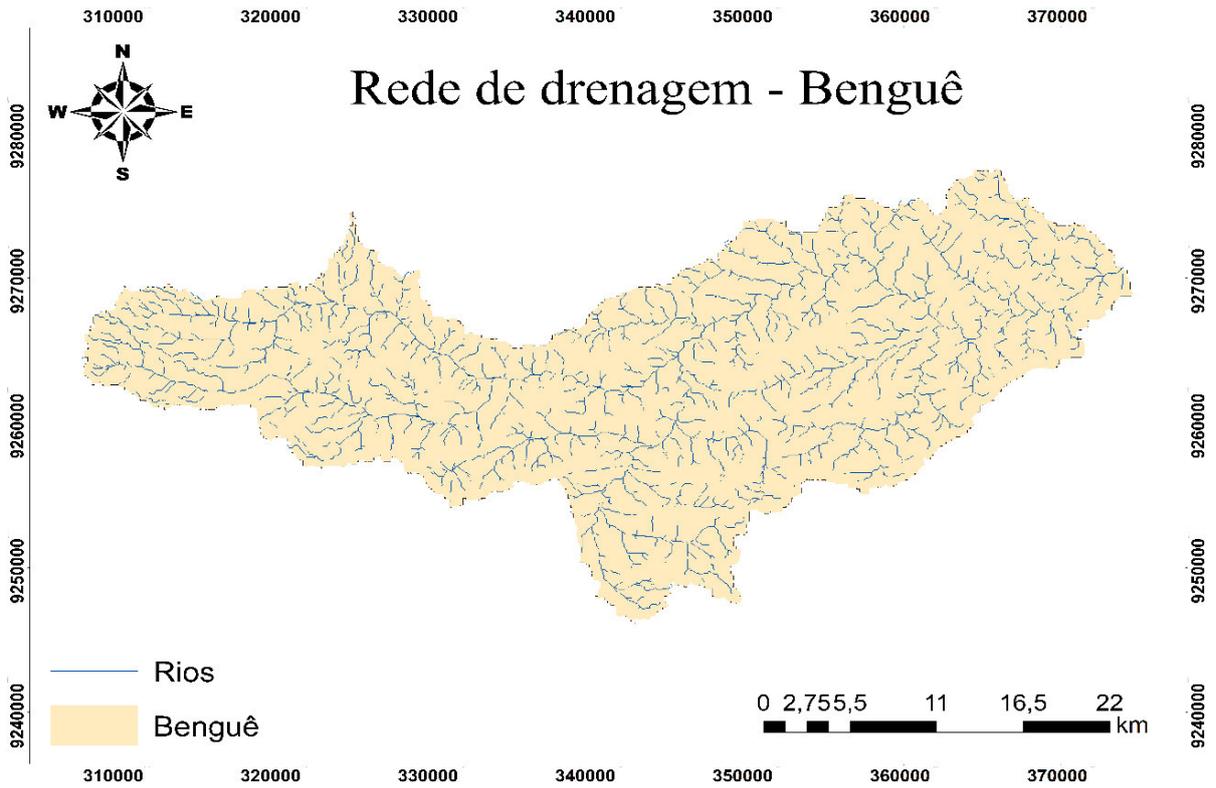


Figura 5 – Rede de drenagem do Benguê

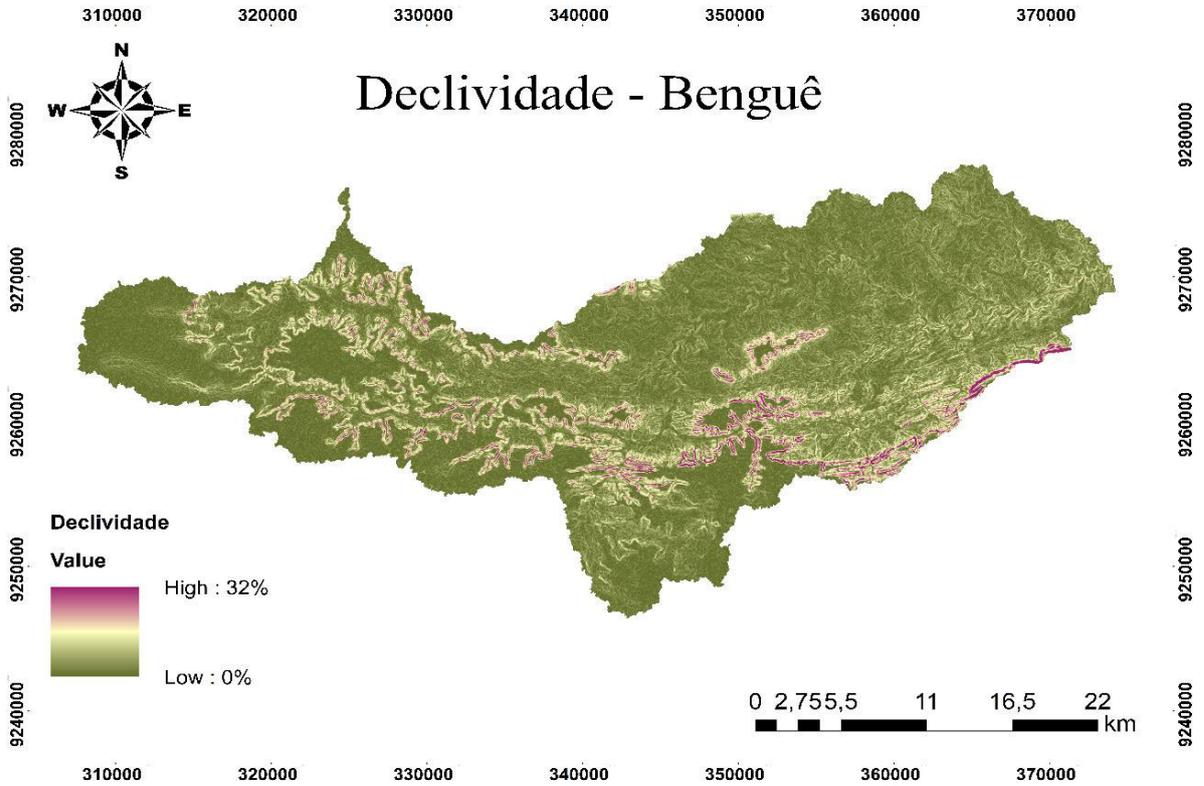


Figura 6 – Declividade do terreno relacionado ao Benguê

Fator CP

A aquisição dos dados referentes ao Fator CP foi extraída da literatura. Creutzfeldt (2006) foi o responsável pelo mapa utilizado no presente trabalho e Medeiros (2009) por sua tradução, mostrado na Figura 7. Na Tabela 1, podemos observar os valores relacionados ao fator C primeiramente descrito por Reining (1992) e adaptada por Araújo (2003). Araújo (2003) ainda nos diz que, as vegetações naturais possuem, $P = 1$ por definição.

<i>Sistema de uso do solo</i>	<i>Valor característico do fator C</i>
Solos desnudo	1
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	0,1
2 anos	0,1
Culturas de crescimento rápido	
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	0,2 - 0,8
Café, cacau	0,1 - 0,3

Tabela 1 – Valores do fator “C”, de uso e manejo do solo para oeste da África

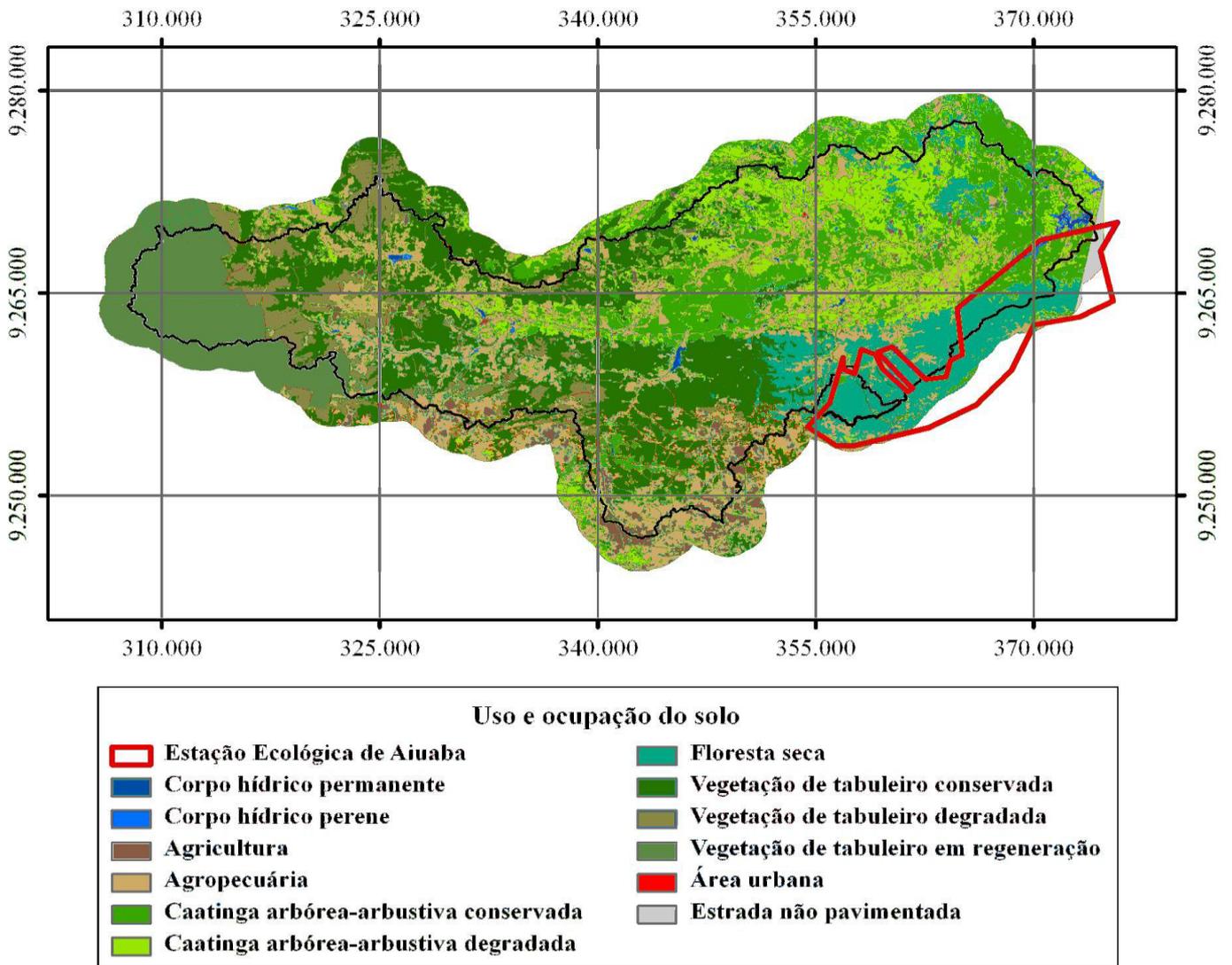


Figura 7 -Uso e ocupação do solo do Benguê

SDR

A equação de Maner considera fundamentalmente o efeito da declividade do terreno no transporte difuso e é dada por:

$$\text{Log (SDR\%)} = 2,943 - 0,824 \cdot \text{Log (Lm/Fr)} \quad (6)$$

onde Lm é o comprimento máximo da bacia, em linha reta, medido paralelamente ao rio principal em metros; e Fr a diferença entre a cota média do divisor de água e a cota do exutório em metros.

Roehl modificou a Equação (5) de Maner introduzindo a razão de bifurcação a área da bacia como fatores que influenciam o transporte difuso, chegando a:

$$\text{Log (SDR\%)} = 4,27 - 0,23 \cdot \text{Log (A)} + -0,51 \cdot \text{Log (Lm/Fr)} - 2,79 \cdot \text{Log (B)} \quad (7)$$

onde A é a área da bacia em *milhas quadradas*; e B a razão de bifurcação da bacia.

De acordo com Williams e Berndt, o termo SDR poderia ser calculado, para bacias pequenas, a partir apenas da declividade do rio principal, como mostra a Equação (8):

$$\text{SDR (\%)} = 62,7 \cdot S^{0,403} \quad (8)$$

sendo Sm a declividade do curso d'água principal em %. (ARAÚJO,2003)

Os valores de SDR foram calculados seguindo as Equações 6, 7 e 8. Lm e Fr, referente a Maner, foram obtidos através do sítio da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). Para A, na equação de Roehl, a área foi convertida. Para B o valor calculado foi de 2,4. Sm, referente a Williams e Berndt, foi obtido através de SIG, com valor igual a 26%.

Brune

A fração de retenção do sedimento afluente é estimada, no modelo HIDROSED, com base na curva de Brune (Carvalho, 1994), obtida empiricamente para 41 barragens dos EEUU. Segundo Brune, a fração média de retenção do sedimento é função direta do tempo de residência médio do reservatório, calculado pela razão entre a capacidade do reservatório e a vazão afluente média anual. Esta formulação apresenta bons resultados para regiões em que o nível do reservatório permanece razoavelmente constante e seu vertimento é contínuo. No caso de reservatórios do semiárido, no entanto, observa-se retenção média de sedimentos inferior à calculada por Brune, uma vez que é possível constatar alta correlação entre grande entrada e grande saída de sedimentos nos anos de alta pluviosidade. (ARAÚJO, 2003)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como a bacia do Benguê foi dividida em 8 quadrículas, os resultados apresentados no presente trabalho serão mostrados contendo as oito quadrículas.

Os valores obtidos do Fator R ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) para cada quadrícula foram os seguintes:

<i>Erosividade</i>	<i>Q1</i>	<i>Q2</i>	<i>Q3</i>	<i>Q4</i>	<i>Q5</i>	<i>Q6</i>	<i>Q7</i>	<i>Q8</i>
2000	5606	5606	5606	6563	6563	5023	5023	5023
2001	2395	2395	2395	1803	1803	1234	1234	1234
2002	4781	4781	4781	6128	6128	5610	5610	5610
2003	2290	2290	2290	4687	4687	3540	3540	3540
2004	16210	16210	16210	17794	17794	18940	18940	18940
2005	3544	3544	3544	3544	3544	4458	4458	4458
2006	4619	4619	4619	2082	2082	3380	3380	3380
2007	10397	10397	10397	7854	7854	8365	8365	8365
2008	5221	5221	5221	5181	5181	5170	5170	5170
2009	7244	7244	7244	6127	6127	8360	8360	8360
2010	4341	4341	4341	4341	4341	4341	4341	4341
2011	6508	6508	6508	6508	6508	5578	5578	5578
2012	3724	3724	3724	3724	3724	3276	3276	3276
Total	76879	76879	76879	76336	76336	77275	77275	77275
Média	5914	5914	5914	5872	5872	5944	5944	5944

Tabela 2 – Valores de R para cada quadrícula (2000-2012)

O espaço temporal foi de 13 anos e com os resultados, foi possível notar que os dados estão dentro dos valores esperados para a região. É importante ressaltar que para as quadrículas 1, 2 e 3 no ano de 2007 foi observado um comportamento anormal, isso pode ter acontecido pois os dados foram obtidos de postos pluviométricos da FUNCEME e por vezes há inconsistência dos dados que são disponibilizados.

Os valores obtidos do Fator K ($\text{t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) para cada quadrícula foram os seguintes:

	<i>Q1</i>	<i>Q2</i>	<i>Q3</i>	<i>Q4</i>	<i>Q5</i>	<i>Q6</i>	<i>Q7</i>	<i>Q8</i>
K	0,0220	0,0220	0,0220	0,0275	0,0205	0,0410	0,0300	0,0140

Tabela 3 – Valores de K para cada quadrícula

Os valores obtidos do Fator LS para cada quadrícula foram os seguintes:

	<i>Q1</i>	<i>Q2</i>	<i>Q3</i>	<i>Q4</i>	<i>Q5</i>	<i>Q6</i>	<i>Q7</i>	<i>Q8</i>
Lr	35	39	38	42	41	43	42	38
Declividade	16,23%	27,49%	26,29%	23,33%	29,72%	8,16%	32,04%	16,77%
LS	2,48	4,93	4,62	4,27	5,62	1,25	6,21	2,73

Tabela 4 – Valores de LS para cada quadrícula

Os valores obtidos do Fator CP para cada quadrícula foram os seguintes

	<i>Q1</i>	<i>Q2</i>	<i>Q3</i>	<i>Q4</i>	<i>Q5</i>	<i>Q6</i>	<i>Q7</i>	<i>Q8</i>	<i>Média</i>
CP	0,005	0,050	0,009	0,009	0,070	0,062	0,070	0,300	0,072
Área*CP	0,0006	0,0095	0,0001	0,0014	0,0120	0,0089	0,0102	0,0164	0,059

Tabela 5 – Valores de CP para cada quadrícula

Para CP, houve a determinação do CP de cada quadrícula, obtendo-se assim a média aritmética, contudo essa média não é representativa, tendo em vista que as oito quadrículas possuem tamanhos diferentes, logo, foi realizada uma ponderação entre o valor de CP de cada quadrícula e a porcentagem que cada uma ocupa no mapa, assim obtendo o valor real de CP para a área.

Os valores obtidos de área para cada quadrícula foram os seguintes:

<i>Área</i>	<i>Q1</i>	<i>Q2</i>	<i>Q3</i>	<i>Q4</i>	<i>Q5</i>	<i>Q6</i>	<i>Q7</i>	<i>Q8</i>
(ha)	11.363	17.049	1.107	14.195	15.456	12.950	13.146	4.915
(km ²)	113,63	170,49	11,07	141,95	154,56	129,50	131,46	49,15

Tabela 6 – Tabela de área em hectares

Para corrigir a perda de 60 km² no processamento de dados, foi realizada a divisão da área real pela área obtida pelo QGis exemplificada pela Equação 8 com isso temos os valores de área corrigidas apresentadas na Tabela 7.

$$Ac = \left(\frac{961}{901}\right) \times Aq \quad (9)$$

Em que Ac é a área corrigida e Aq (ha) é a área da quadrícula.

<i>Áreas corrigidas</i>	<i>Q1</i>	<i>Q2</i>	<i>Q3</i>	<i>Q4</i>	<i>Q5</i>	<i>Q6</i>	<i>Q7</i>	<i>Q8</i>
(ha)	12.120	18.185	1.181	15.141	16.485	13.813	14.022	5.243
(km ²)	121,20	181,85	11,81	151,41	164,85	138,13	140,22	52,43

Tabela 7 – Áreas corrigidas

Os valores obtidos de SDR foram:

Maner	18,06%
Roehl	34,73%
Williams e Berndt	36,43%

Tabela 8 – Valores percentuais de SDR

O valor obtido para Brune foi de 96%, ou seja, 96% de todo o sedimento que vem por vir para dentro do Benguê, é sedimentado. E o tempo de residência foi de 1,75 anos

Com todos os dados necessários obtidos, o modelo foi rodado dando assim os resultados de erosão, assoreamento e SDR para a área. Os valores obtidos foram os seguintes:

<i>Eficiência de retenção do Açude Benguê segundo Brune</i>	96%	(-)
Massa específica do sedimento assoreado	1,26	Mg/m ³
Volume assoreado medido no Açude Benguê nos 13 anos	2,0	hm ³

Tabela 9 – Valores referentes ao Benguê - erosão

Com os parâmetros da USLE já estabelecidos, foi possível chegar a Tabela 9, na qual estão os valores de erosão bruta em toneladas, para cada quadrícula, no período de 13 anos (2000 – 2012)

	<i>Erosão bruta em toneladas de sedimento</i>							
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
2000	1,85E+04	5,53E+05	6,06E+03	1,05E+05	8,73E+05	2,20E+05	3,43E+05	3,02E+05
2001	7,90E+03	2,36E+05	2,59E+03	2,89E+04	2,40E+05	5,40E+04	8,43E+04	7,41E+04
2002	1,58E+04	4,72E+05	5,17E+03	9,81E+04	8,15E+05	2,45E+05	3,83E+05	3,37E+05
2003	7,56E+03	2,26E+05	2,48E+03	7,50E+04	6,24E+05	1,55E+05	2,42E+05	2,13E+05
2004	5,35E+04	1,60E+06	1,75E+04	2,85E+05	2,37E+06	8,29E+05	1,29E+06	1,14E+06
2005	1,17E+04	3,50E+05	3,83E+03	5,67E+04	4,72E+05	1,95E+05	3,05E+05	2,68E+05
2006	1,52E+04	4,56E+05	4,99E+03	3,33E+04	2,77E+05	1,48E+05	2,31E+05	2,03E+05
2007	3,43E+04	1,03E+06	1,12E+04	1,26E+05	1,04E+06	3,66E+05	5,72E+05	5,02E+05
2008	1,72E+04	5,15E+05	5,64E+03	8,29E+04	6,89E+05	2,26E+05	3,53E+05	3,11E+05
2009	2,39E+04	7,15E+05	7,83E+03	9,81E+04	8,15E+05	3,66E+05	5,71E+05	5,02E+05
2010	1,43E+04	4,28E+05	4,69E+03	6,95E+04	5,78E+05	1,90E+05	2,97E+05	2,61E+05
2011	2,15E+04	6,42E+05	7,03E+03	1,04E+05	8,66E+05	2,44E+05	3,81E+05	3,35E+05
2012	1,23E+04	3,68E+05	4,03E+03	5,96E+04	4,95E+05	1,43E+05	2,24E+05	1,97E+05

Tabela 10 – Erosão bruta em toneladas de sedimento para cada quadrícula

Em posse desses valores e dos outros fatores já citados, foi capaz de adquirir os valores estimados de produção de sedimentos segundo Maner, Roehl e Williams & Bernd, tais valores são apresentados na Tabela 10.

	$\sum Qi$	<i>Maner</i>	<i>Maner</i>	<i>Roehl</i>	<i>Roehl</i>	<i>W&B</i>	<i>W&B</i>
	(Mg)	(Mg)	(Mg/há/ano)	(Mg)	(Mg/há/ano)	(Mg)	(Mg/há/ano)
	erosão bacia	prod sed	prod esp sed	prod sed	prod esp sed	prod sed	prod esp sed
2000	2,42E+06	4,37E+05	4,54	8,41E+05	8,74	8,82E+05	9,17
2001	7,28E+05	1,31E+05	1,36	2,53E+05	2,63	2,65E+05	2,76
2002	2,37E+06	4,28E+05	4,45	8,24E+05	8,57	8,64E+05	8,99
2003	1,54E+06	2,79E+05	2,89	5,36E+05	5,58	5,63E+05	5,85
2004	7,58E+06	1,37E+06	14,23	2,63E+06	27,40	2,76E+06	28,70
2005	1,66E+06	3,00E+05	3,11	5,77E+05	6,00	6,05E+05	6,29
2006	1,37E+06	2,47E+05	2,56	4,75E+05	4,94	4,99E+05	5,18
2007	3,68E+06	6,65E+05	6,91	1,28E+06	13,30	1,34E+06	13,90
2008	2,20E+06	3,97E+05	4,13	7,64E+05	7,95	8,02E+05	8,34
2009	3,10E+06	5,60E+05	5,81	1,08E+06	11,20	1,13E+06	11,70
2010	1,84E+06	3,33E+05	3,45	6,40E+05	6,65	6,71E+05	6,98
2011	2,60E+06	4,70E+05	4,88	9,04E+05	9,39	9,48E+05	9,85
2012	1,50E+06	2,71E+05	2,82	5,22E+05	5,43	5,48E+05	5,69

Tabela 11 – Valores de erosão a cada ano e de SDR

Pode-se notar que os valores estão superestimados, principalmente os de Roehl e Williams e Bernd e isso é evidenciado quando calculamos a estimativa do erro de cada equação, como é mostrado na Tabela 12.

	<i>Maner</i>	<i>Maner</i>	<i>Roehl</i>	<i>Roehl</i>	<i>W&B</i>	<i>W&B</i>
	(Mg)	(Mg)	(Mg/ha/ano)	(Mg)	(Mg/ha/ano)	(Mg)
	erosão bacia	prod sed	prod esp sed	prod sed	prod esp sed	prod sed
Valor total no período de 13 anos	3,26E+07	5,89E+06	(-)	1,13E+07	(-)	1,19E+07
Valor médio no período de 13 anos	2,51E+06	4,53E+05	4,709	8,71E+05	117,75	9,14E+05
Massa de sedimento assoreado no Açude Benguê nos 13 anos (Mg)		5,65E+06		1,09E+07		1,14E+07
Volume de sedimento assoreado no Açude Benguê nos 13 anos (hm ³)		4,49		8,63E+00		9,05E+00
Erro na estimativa do assoreamento no Açude Benguê nos 13 anos		124%		331%		353%

Tabela 12 – Massa e volume de sedimentos assoreados e erro na estimativa

É possível notar que a equação de Maner foi a que apresentou melhores resultados, como esperado, pois, Araújo (2003) obteve as mesmas prospecções. Roehl e Williams & Bernd superestimam quase que o dobro a realidade, o que só confirma o que foi descrito por Araújo (2003).

Possivelmente o elevado valor do erro na estimativa está ligado a declividade utilizada no presente trabalho, tendo em vista que Medeiros (2010) indicou que a Bacia Experimental de Aiuaba (BEA) possui declividade máxima de 20%, vale ressaltar que a BEA está localizada no divisor de águas de uma região muito acidentada, logo sendo um dos pontos com maior declividade e no presente trabalho, a declividade máxima foi estimada para 32%. Outro ponto a ser levantado é que as regiões localizadas na quadrícula 1 e 8 são platôs e na estimativa da sua declividade obtivemos 16,26% e 16,77% respectivamente, o que é uma declividade exagerada para regiões com tal relevo.

Isso pode ficar evidenciado no mapa (Figura 8) de Medeiros (2010) em que há uma simulação de chuva para 30 dias, em que todos os dias havia um evento com 20mm, para atestar a deposição de sedimentos da Bacia do Benguê. Note que as áreas que compreendem as quadrículas 1 e 8, mesmo após essa simulação de um evento de 600mm em um mês, há grandes deposições de sedimento, confirmando assim que a região quase não houve perdas de solo devido a erosão local.

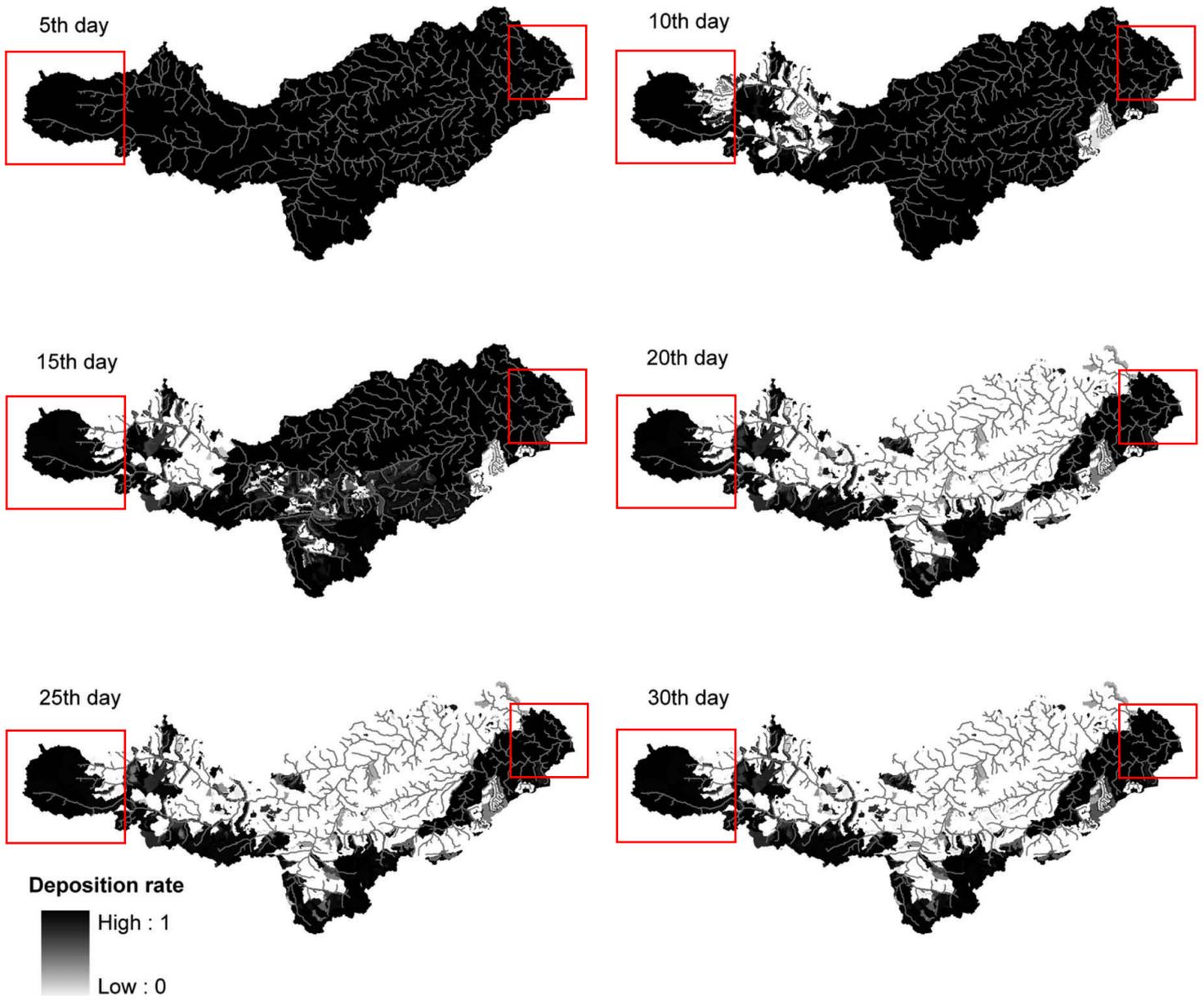


Figura 8 – Deposição de solo na bacia do Benguê após um evento pluviométrico de 20mm por dia por 30 dias.

5 CONCLUSÃO

(i) O modelo HIDROSED, para cálculo de erosão e produção de sedimentos em bacias semiáridas, foi corretamente codificado; (ii) A erosão bruta na bacia do Açude Benguê, no período de 2000 a 2012 (13 anos), foi, na média, de 2,51 milhões de toneladas por ano; (iii) A razão de aporte de sedimentos (SDR) segundo os métodos de Maner, de Roehl e de Williams & Berndt para a bacia do Açude Benguê são, respectivamente, 18%, 35% e 36%; (iv) A produção média de sedimentos segundo os métodos de Maner, de Roehl e de Williams & Berndt para a bacia do Açude Benguê foram, respectivamente, de 5,6; 10,9; e 11,4 milhões de toneladas no período de 2000 a 2012; (v) A eficiência de retenção de sedimentos segundo o modelo de Brune para o Açude Benguê é de 96%, considerando-se que o tempo de residência médio do reservatório é de 1,75 anos; (vi) O assoreamento modelado segundo os métodos de Maner, de Roehl e de Williams & Berndt para o Açude Benguê foram, respectivamente, de 4,49; 8,63; e 9,05 hm³ no período de 2000 a 2012; (vii) O assoreamento medido no período de 2000 a 2012 foi de 2,00 hm³. Isso implica em um erro de 124% para o método de Maner; 331% para o método de Roehl; e 353% para o método de Williams & Berndt.

Nenhuma das simulações (que incluem a USLE, o cálculo de SDR e a estimativa de eficiência de retenção do reservatório) foi capaz de gerar resultado com erro inferior a 100%. Apesar disso, a simulação com o método de Maner foi a que gerou resultado mais confiável, confirmando outros resultados da Literatura.

Na análise de incertezas, o parâmetro que gerou maiores desvios foi o fator topográfico (LS) da USLE, tanto pela incerteza no comprimento efetivo de drenagem; quanto na declividade do terreno.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. C.; 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. **Assoreamento em reservatórios do semi-árido: Modelagem e Validação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, p. 39-56, 2003

CARVALHO, N. O. (1994). **Hidrossedimentologia prática**. CPRM, Rio de Janeiro.

CREUTZFELDT, B.N.A. **Remote sensing based characterisation of land cover and terrain properties for hydrological modelling in the semi-arid Northeast of Brazil**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geocologia, Universidade de Potsdam, Alemanha, 2006

CUNHA, L. K. da. 2004. **Sistemas avançados de previsão hidrológica e operação hidráulica em tempo real**. Dissertação. Universidade Federal do Paraná, 239p.

FAYAL, M. A. de A. 2008. **Previsão de vazão por redes neurais artificiais e transformada**. Dissertação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 158p.

HAAN, C. T. **Parametric uncertainty in hydrologic modeling**. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, v. 32, n. q, p. 137-45. 1989.

HORTON, R.E. 1945. **Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology**. Bulletin of the Geological Society of America 56: 275–370.

LIMA NETO, I. E., WIEGAND, M. C., ARAÚJO, J. C. **Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semi-arid Brazilian basin**. Hydrol. Sci. J., v. 56, p. 319–333, 2011

LOPES, J. W. B. **Disponibilidade hídrica em reservatórios no semiárido Brasileiro: interações entre assoreamento e escassez**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, 2016.

MAMEDE, G. L., ARAÚJO, N. A. M., SCHNEIDER, C. M., ARAÚJO, J. C., HERRMANN, H. J. **Overspill avalanching in a dense reservoir network**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v.109, n.19, p.7191- 7195, 2012.

MEDEIROS, P.H.A, **Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, 2009.

MEDEIROS P. H. A, Güntner A., Francke T., Mamede G. L. & Araújo J. C de (2010) **Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model**, Hydrological Sciences Journal, 55:4, 636-648, DOI: 10.1080/02626661003780409

MINELLA, J.P.G. & Merten, Gustavo & Reichert, Miguel & Cassol, Elemar. (2010). **Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica**.

MOREIRA, I. A. 2005. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Dissertação, Universidade Federal do Paraná, 81p

MORGAN, R. P. C. Soil erosion & conservation. Longman: Blackwell, 2005. Farres, P. 1978. **The role of time and aggregate size in the crusting process**. Earth Surface Processes 3: 243–54.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir Sedimentation Handbook**. 1. ed. New York: McGraw-Hill Book Co. 805p. 1998.

MULLER, M. B. **Análise da vulnerabilidade ambiental à erosão do município de Itaguaçu-ES: subsídios ao planejamento territorial e gestão de recursos naturais**. 2017. 72 f. TCC - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

RADAMBRASIL (1981). Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. **Levantamento de Recursos Naturais**, vol. 23. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro.

RAMOS, A. D. **Estudo da erodibilidade um solo litólico sem cobertura vegetal e sob duas condições de pastagens nativa da caatinga**. Embrapa: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Caprino. Sobral - Ce, p. 1-14. jan. 1980.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/8911375-Modelos-hidrologicos-para-gestao-ambiental.html>>.

Acesso em: 24/08/20

SÁ, M. A. C. de et al. **Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural**. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, Brasília - Df, v. 39, n. 7, p. 691-699, jul. 2004.

SILVA, V. C. da. **Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Paracatu**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.33, n.1, p.29-34, 2007

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos distribuídos**. Rhama, Porto Alegre, fev. 2010.

VERSTRAETEN, C. U. V.; POESEN, J. (2001) **Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchmentes in a temperature humid climate**. *Geomorphology* 40: 123-144

WISCHMEIER, W.H. & Smith, D.D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning**. Washington: U.S. Department of Agriculture, (Agriculture Handbook n. 537), 58p.

7 APÊNDICE A – Código do programa

Program Hidrosed

```

implicit none

real dt,R(10),K(10),LS(10),CP(10),AQ(10),ERE(10),ER(10),ERT,AB,PS
character titulo*60,arqent*40,arqsai*40

integer NQ

common                               /Dados1/
titulo,dt,NQ,R,K,LS,CP,AQ,ERE,ER,ERT,AB,PS,arqent,arqsai

character arqsdr*40

integer NSDR,NBRUNE

real LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA

common /Dados2/ arqsdr,NSDR,LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA,NBRUNE

call entrada

call calculo

call saida

End Program

subroutine entrada

real dt,R(10),K(10),LS(10),CP(10),AQ(10),ERE(10),ER(10),ERT,AB,PS
character titulo*60,arqent*40,arqsai*40

integer NQ

```

```
common /Dados1/  
titulo,dt,NQ,R,K,LS,CP,AQ,ERE,ER,ERT,AB,PS,arqent,arqsai
```

```
character arqsdr*40
```

```
integer NSDR,NBRUNE
```

```
real LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA
```

```
common /Dados2/ arqsdr,NSDR,LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA,NBRUNE
```

```
integer NC
```

```
write (*,*) 'Digite o nome do arquivo geral de entrada: '
```

```
read (*,'(a40)') arqent
```

```
open (11,file=arqent,status='old')
```

```
read (11,*) titulo,arqsai,dt,NQ,arqsdr
```

```
open (12,file=arqsdr,status='old')
```

```
read (12,*) NBRUNE,ETA
```

```
read (12,*) NSDR
```

```
NC=1
```

```
do while (NC.le.NQ)
```

```
    read (11,*) R(NC),K(NC),LS(NC),CP(NC),AQ(NC)
```

```
    NC=NC+1
```

```
end do
```

```
end subroutine
```

```
subroutine calculo
```

```

real dt,R(10),K(10),LS(10),CP(10),AQ(10),ERE(10),ER(10),ERT,AB,PS
character titulo*60,arqent*40,arqsai*40
integer NQ
common /Datos1/
titulo,dt,NQ,R,K,LS,CP,AQ,ERE,ER,ERT,AB,PS,arqent,arqsai

character arqsdr*40
integer NSDR,NBRUNE
real LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA
common /Datos2/ arqsdr,NSDR,LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA,NBRUNE

integer NC

NC=1
ERT=0
AB=0
do while (NC.le.NQ)
    ERE(NC) = R(NC)*K(NC)*LS(NC)*CP(NC)
    ER(NC) = ERE(NC)*AQ(NC)
    ERT=ERT+ER(NC)
    AB=AB+AQ(NC)
    NC=NC+1
end do

select case (NSDR)
case (1)
    call Maner
case (2)
    call Roehl

```

```

    case (3)
        call Williams
    end select
    PS = ERT*SDR/(AB*dt)

    select case (NBRUNE)
        case (1)
            ETA=100/(1+exp(-21.881*TR))
        case (2)
            ETA=100/(1+exp(-18.146*TR))
        case (3)
            ETA=92.07/(1+exp(-14.867*TR))
    end select
    write (*,*) 'ETA = ',ETA
end subroutine

subroutine Maner

    real dt,R(10),K(10),LS(10),CP(10),AQ(10),ERE(10),ER(10),ERT,AB,PS
    character titulo*60,arqent*40,arqsai*40
    integer NQ
    common
                                                    /Datos1/
    titulo,dt,NQ,R,K,LS,CP,AQ,ERE,ER,ERT,AB,PS,arqent,arqsai

    character arqsdr*40
    integer NSDR,NBRUNE
    real LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA
    common /Datos2/ arqsdr,NSDR,LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA,NBRUNE

```

```

real FR

read (12,*) LM,FR1,FR2
FR = FR1-FR2
if (FR.le.0) then
    write (*,*) 'Inconsistencia nos dados topograficos!'
    pause
    else
        SDR = (10**(2.943-0.824*Log10(Lm/FR)))/100.
endif

end subroutine

subroutine Roehl

real dt,R(10),K(10),LS(10),CP(10),AQ(10),ERE(10),ER(10),ERT,AB,PS
character titulo*60,arqent*40,arqsai*40
integer NQ
common /Dados1/
titulo,dt,NQ,R,K,LS,CP,AQ,ERE,ER,ERT,AB,PS,arqent,arqsai

character arqsdr*40
integer NSDR,NBRUNE
real LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA
common /Dados2/ arqsdr,NSDR,LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA,NBRUNE

real ABmi,FR

!0 fator 0.003861 converte ha para mi^2

```

```

ABmi = AB*0.003861
read (12,*) LM,FR1,FR2,RB

FR = FR1-FR2
if (FR.le.0) then
    write (*,*) 'Inconsistencia nos dados topograficos!'
    pause
else
    SDR = (10**(4.27-0.23*log10(ABmi)-0.51*log10(LM/FR)-
2.79*log10(RB)))/100.
endif

end subroutine

subroutine Williams

real dt,R(10),K(10),LS(10),CP(10),AQ(10),ERE(10),ER(10),ERT,AB,PS
character titulo*60,arqent*40,arqsai*40
integer NQ
common /Dados1/
titulo,dt,NQ,R,K,LS,CP,AQ,ERE,ER,ERT,AB,PS,arqent,arqsai

character arqsdr*40
integer NSDR,NBRUNE
real LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA
common /Dados2/ arqsdr,NSDR,LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA,NBRUNE

read (12,*) SM

```

```

SDR = (62.7*((SM)**0.403))/100.

end subroutine

subroutine saida

real dt,R(10),K(10),LS(10),CP(10),AQ(10),ERE(10),ER(10),ERT,AB,PS
character titulo*60,arqent*40,arqsai*40
integer NQ
common /Dados1/
titulo,dt,NQ,R,K,LS,CP,AQ,ERE,ER,ERT,AB,PS,arqent,arqsai

character arqsdr*40
integer NSDR,NBRUNE
real LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA
common /Dados2/ arqsdr,NSDR,LM,FR1,FR2,RB,SM,SDR,TR,ETA,NBRUNE

integer NC
real ASSOR

! open (13,file=arqsai)

write (*,*) '
Universidade Federal do Ceara'
write (*,*) '
Centro de Ciencias Agrarias'
write (*,*) '
Departamento de Engenharia Agricola'
write (*,*) '
Curso de Agronomia'
write (*,*) ' Programadores: Jessica Aragao e Jose Carlos de
Araujo'

```

```

write (*,*) '                               Programa Hidrosed'
write (*,*) '                               Fortaleza, 2020'
write (*,*) '   O programa Hidrosed vem com finalidade de calcular
o SDR utilizando'
write (*,*) '                               o método de Maner, Roehl e Williams'
write (*,*) '-----'
-----'

write (*,*) 'Titulo do projeto:',titulo
write (*,*) 'Nome do arquivo de saida:',arqsai
write (*,10)'Tempo da erosividade em anos:',dt
write (*,*) 'Numero de quadriculas:',NQ
write (*,*) '-----'
-----'

NC=1
do while (NC.le.NQ)
    write (*,*)'Quadricula numero: ',NC
!   write (13,10) 'Erosividade total em MJ.mm/ha/h: ',R(NC)
    write (*,10) 'Erosividade total em MJ.mm/ha/h: ',R(NC)
!   write (13,10) 'Erodibilidade do solo em Mg.h/MJ/mm: ',K(NC)
    write (*,10) 'Erodibilidade do solo em Mg.h/MJ/mm: ',K(NC)
!   write (13,10) 'Fator LS: ',LS(NC)
    write (*,10) 'Fator LS: ',LS(NC)
!   write (13,10) 'Fator CP: ',CP(NC)
    write (*,10) 'Fator CP: ',CP(NC)
!   write (13,10)'Area da quadricula em hectares: ',AQ(NC)
    write (*,10)'Area da quadricula em hectares: ',AQ(NC)

```

```

!   write (13,*) '-----'
-----'

   write (*,*) '-----'
----'

!   write (13,10) 'A erosao especifica total = ',ERE,'Mg/ha'
!   write (13,10) 'A erosao bruta total = ',ER,'Mg'
!   write (13,10) 'O valor do SDR calculado = ',SDR
!   write (13,10) 'A producao de sedimentos = ',PS,'Mg/ha/ano'
!   write (13,*) '-----'
-----'

!   write (13,*) 'Programa finalizado com sucesso!'

   NC=NC+1
end do

write (*,10) 'Area total da bacia = ',AB, 'ha'
write (*,10) 'A erosao bruta total = ',ERT,'Mg'
write (*,10) 'O valor do SDR calculado = ',SDR
write (*,10) 'A producao de sedimentos = ',PS,'Mg/ha/ano'
write (*,10) 'Eficiencia de retencao = ',ETA,'%

ASSOR = ERT*ETA/100

write (*,10) 'Assoreamento = ',ASSOR,' Mg'

write (*,*) '-----'
_

   write (*,*) 'Programa finalizado com sucesso!'

10 format (1x,A29,F10.3,1x,A9)

   pause

end subroutine

```