MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS

MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA NA SUB-BACIA DO RIACHO JACARÉ NO BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO

ENG.º AGRONÔMO FABRÍCIO LOPES DE MACEDO

2010

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS

FABRÍCIO LOPES DE MACEDO

MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA NA SUB-BACIA DO RIACHO JACARÉ NO BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, área de concentração Sustentabilidade em Agroecossistemas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Mello Júnior

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Macedo, Fabrício Lopes de
M141m Modelagem hidrossedimentológica na sub-bacia do Riacho Jacaré no baixo São Francisco sergipano / Fabrício Lopes de Macedo. – São Cristóvão, 2010.
122 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2010.

Orientador: Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Mello Júnior

1. Hidrologia. 2. Sedimentologia. 3. Baixo São Francisco. 4. Planejamento ambiental. 5. Desenvolvimento sustentável. 6. MUSLE. I. Título.

CDU 556:551.3.051

FABRÍCIO LOPES DE MACEDO

MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA NA SUB-BACIA DO RIACHO JACARÉ NO BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, área de concentração Sustentabilidade de Agroecossistemas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 23 de fevereiro de 2010.

Prof[a]. Dr[a]. Silvana Susko Marcellini

EPUSP

Prof. Dr. Alceu Pedrotii

UFS

Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Mello Júnior

(UFS)

Orientador

SÃO CRISTÓVÃO

SERGIPE – BRASIL

2010

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre ao meu lado, me guiando e oferecendo sempre força para superação de todas as dificuldades encontradas no dia a dia.

Aos meus pais Osmir e Nilda, pelos ensinamentos transmitidos diariamente.

Agradeço de uma maneira muito especial à minha namorada Wellma, por estar sempre ao meu lado, em todos os momentos bons ou ruins, me guiando, me orientando, sendo companheira, amiga, namorada, confidente. Wellma agradeço muito a Deus, por ter colocado você em minha vida, sabia que você é uma pessoa muito importante para mim, e a cada dia que passa "Te Amo mais e mais", jamais se esqueça disso, viu minha lindinha.

Aos meus irmãos Fabíola e Fabiano.

Ao orientador e amigo Arisvaldo Vieira de Méllo Júnior, por todos os ensinamentos transmitidos ao longo desses dois anos.

A todo o pessoal do LABSID (Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões) pela atenção transmitida no período que estive na USP. Em especial à Profª Drª Silvana Susko Marcellini e ao Cristiano de Pádua Milagres Oliveira, pela paciência e atenção para me ensinar os programas utilizados nessa dissertação, pois foram de fundamental importância para a realização desse estudo.

Aos colegas do LANS, José e Rogério.

À Universidade Federal de Sergipe e o Núcleo de Pós-Graduação em Recursos Naturais (NEREN) pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos

E por fim, mas não menos especial agradeço a todos os professores por todos os ensinamentos transmitidos ao longo desse curso de Mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS vii
LISTA DE TABELAS xi
RESUMO xiii
ABSTRACT xiv
CAPÍTULO 1 1
1. Introdução Geral 1
2. Referencial Teórico 3
2.1. Planejamento das Bacias 3
2.2. Bacias Hidrográficas 5
2.3. Sustentabilidade dos Agroecossistemas 7
2.4. Ferramentas modernas visando a sustentabilidade dos Agroecossistemas 10
3. Referências Bibliográficas 12
CAPÍTULO 2: Produção de Sedimentos na Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Jacaré 17
1. Resumo 17
2. Abstract 18
3. Introdução 19
4. Referencial Teórico 21
4.1. Sistema de Informação Geográfica Aplicado às Bacias Hidrográficas 21
4.2. Erosão do Solo 22
4.3. Hidrossedimentologia 24
4.4. Equação Universal de Perda de Solo - EUPS 27
4.4.1. Fator Erosividade da Chuva (R) 30
4.4.2. Fator Erodibilidade (K) 32
4.4.3. Fator Uso e Manejo do Solo (C) 34
4.4.4. Fator Comprimento e Grau de Declive (LS) 36
4.4.5. Fator Prática Conservacionista (P) 38
4.5. Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE 39
5. Material e Métodos 40
5.1. Caracterização da área de estudo 40
5.2. Clima 44
5.3. Solos 46
5.4. Uso e Ocupação do Solo 48
5.5. Hipsometria 50

5.6. Relevo 52
5.7. Base Cartográfica 54
5.7.1. Erodibilidade (K) 55
5.7.2. Fator Topográfico (LS) 56
5.7.3. Fator Uso e Manejo do Solo (C) 59
5.7.4. Fator Práticas Conservacionistas (P) 59
5.8. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo Modificada - MUSLE 60
5.9. Características encontradas na Sub-Bacia do Riacho Jacaré 66
6. Resultados e Discussões 67
6.1. Simulações das Precipitações Máximas 67
6.2. Simulações das Taxas de Infiltração x Precipitação 69
6.3. Geração dos Hidrogramas 73
6.4. Produção de Sedimentos obtidos pela MUSLE 75
7. Conclusões 78
8. Recomendações 78
9. Referências Bibliográficas 80
CAPÍTULO 3: Simulações para produção de sedimentos, analisando diferentes Cenários 90
1. Resumo 90
2. Abstract 91
3. Introdução 92
4. Referencial Teórico 94
4.1. Modelos Hidrológicos 94
5. Material e Métodos 97
5.1. Produção de sedimentos 97
6. Resultados e Discussões 101
6.1. Comparação do Uso e Ocupação do solo 101
6.2. Simulações de cenários 107
6.3. Hidrogramas obtidos das simulações 112
6.4. Simulação da produção de sedimentos 116
7. Conclusões 119
8. Referências Bibliográficas 120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Planejamento conservacionista dos solos de baixa aptidão em sistemas de produção (CASTRO FILHO; MUZILLI, 1999 *apud* FARIAS, 2006) 4

Figura 2 Diagrama da Equação Universal de Perda de Solo (Modificado de COSTA, 1988) 29

Figura 3 Nomograma para a determinação do fator de erodibilidade K. Adaptado por FOSTER et al., 1981 33

Figura 4 Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe (SERGIPE, 2004) 40

Figura 5 Municípios da Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004) 41

Figura 6 Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Jacaré, com destaque para o Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004) 42

Figura 7 Riacho Jacaré com seus principais afluentes (SERGIPE, 2004) 43

Figura 8 Precipitações médias da Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004) 45

Figura 9 Solos encontrados na Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004)..... 47

Figura 10 Uso e Ocupação dos solos na Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004) 49

Figura 11 Mapa hipsométrico da Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004) 51

Figura 12 Declividade da Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004) 53

Figura 13 Parâmetros necessários para o cálculo da produção de sedimentos pela MUSLE 54

Figura 14 Mapa dos tipos de solo, configurado para obtenção do Fator Erodibilidade (SERGIPE, 2004) 56

Figura 15 Mapa do Fator Topográfico (LS) (SERGIPE, 2004) 58

Figura 16 Estações Pluviométricas utilizadas (SERGIPE, 2004) 63

Figura 17 Valores médios de CN em função do uso, da cobertura e do tipo hidrológico do solo (OLIVEIRA et al., 2006) 65

Figura 18 Parâmetro precipitação de projeto do programa ABC-Bahia 67

Figura 19 Precipitações determinadas para chuvas com 6 horas de duração 68

Figura 20 Precipitações determinadas para chuvas com 12 horas de duração 68

Figura 21 Precipitações determinadas para chuvas com 24 horas de duração 69

Figura 22 Tela de determinação do CN pelo programa ABC-Bahia 70

Figura 23 Resultados das simulações obtida para o parâmetro infiltração x precipitação, para precipitações com 6 horas de duração..... 71

Figura 24 Resultados das simulações obtida para o parâmetro infiltração x precipitação, para precipitações com 12 horas de duração..... 71

Figura 25 Resultados das simulações obtida para o parâmetro infiltração x precipitação, para precipitações com 24 horas de duração..... 72

Figura 26 Hidrograma produzidos para precipitações com duração de 6 horas 73

Figura 27 Hidrograma produzidos para precipitações com duração de 12 horas 74

Figura 28 Hidrograma produzidos para precipitações com duração de 24 horas 74

Figura 29 Produção de sedimentos gerada com as precipitações simuladas no ABC-Bahia 75

Figura 30 Exemplo do Hidrograma produzido pelo ABC-Bahia 100

Figura 31 Mapa de uso e ocupação de solo ideal para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004) 103

Figura 32 Mapa de uso e ocupação de solo indesejável para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004) 106

Figura 33 Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 6 horas de duração (Cenário 1) 107

Figura 34 Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 12 horas de duração (Cenário 1)..... 108

Figura 35 Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 24 horas de duração (Cenário 1)..... 108

Figura 36 Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 6 horas de duração (Cenário 2) 109

Figura 37 Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 12 horas de duração (Cenário 2)..... 109

Figura 38 Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 24 horas de duração (Cenário 2)..... 110

Figura 39 Hidrograma produzido para precipitações com duração de 6 horas (Cenário 1)..... 113

Figura 40 Hidrograma produzido para precipitações com duração de 12 horas (Cenário 1) 113

Figura 41 Hidrograma produzido para precipitações com duração de 24 horas (Cenário 1) 114

Figura 42 Hidrograma produzido para precipitações com duração de 6 horas (Cenário 2) 114

Figura 43 Hidrograma produzido para precipitações com duração de 12 horas (Cenário 2) 115

Figura 44 Hidrograma produzido para precipitações com duração de 24 horas (Cenário 2) 115

Figura 45 Produção de sedimentos para o Cenário 1 (situação ideal e o Cenário 2 (situação indesejável) para o Período de Retorno de 5 anos 117

Figura 46 Produção de sedimentos para o Cenário 1 (situação ideal e o Cenário 2 (situação indesejável) para o Período de Retorno de 25 anos 117

Figura 47 Produção de sedimentos para o Cenário 1 (situação ideal e o Cenário 2 (situação indesejável) para o Período de Retorno de 50 anos 117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Indicação de magnitude geral do fator erodibilidade dos solos no sistema métrico de unidades (MITCHELL E BUBENZER apud SILVA et al. 2007) 34

Tabela 2 Fator C, com base nas fases de desenvolvimento das culturas. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985) 35

Tabela 3 Fator uso e manejo do solo, C, para florestas (LENCASTRE E FRANCO, 1984) 35

Tabela 4 Fator uso e manejo do solo (C), para pastagens. E – revestimento de ervas ou manta morta com pelo menos 5 cm de espessura; L – revestimento de plantas herbáceas de folha larga (LENCASTRE e FRANCO, 1984) 35

Tabela 5 Valores de P (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1985) 38

Tabela 6 Uso e Ocupação do Solo na Sub-Bacia do Riacho Jacaré 48

Tabela 7 Valores de erodibilidade para classes de solos (SILVA, 2007) 55

Tabela 8 Valores utilizados para o fator Uso e Manejo do Solo (C) 59

Tabela 9 Valores utilizados para o fator Práticas Conservacionistas (P) 59

Tabela 10 Caracterização utilizada pelo ABC-Bahia 66

Tabela 11 Caracterização básica utilizada pelo ABC-Bahia 101

Tabela 12 Uso e ocupação do solo ideal para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré (Cenário 1) 102

Tabela 13 Uso e ocupação indesejável para a Sub-Bacia para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré (Cenário 2) 104

Tabela 14 Taxa de infiltração e escoamento superficial das simulações para o Cenário 1 112

Tabela 15 Taxa de infiltração e escoamento superficial das simulações para o Cenário 2 112

Tabela 16 Vazão de pico e volume do hidrograma para o Cenário 1 116

Tabela 17 Vazão de pico e volume do hidrograma para o cenário 2 116

Tabela 18 Produção de sedimentos totais das duas situações simuladas 118

RESUMO

MACEDO, Fabrício Lopes de. **Modelagem Hidrossedimentológica na Sub-Bacia do Riacho Jacaré no Baixo São Francisco Sergipano.** 200. 123p. (Dissertação – Mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.

A quantificação da produção de sedimentos, lançados pelas bacias hidrográficas, auxilia na proposição de metodologias, que tem como finalidade principal, orientar os produtores rurais, para que venham a utilizar os recursos naturais, de uma maneira mais sustentável, visando o mínimo possível de degradação das áreas utilizadas. Visto que, a produção de alimentos, na maioria das vezes acontece de maneira não planejada, em que quase toda vegetação nativa, é retirada, pois teoricamente não possui nenhuma finalidade, na visão da maioria dos produtores rurais. No entanto, a vegetação é considerada por muitos pesquisadores como a principal barreira contra os processos de degradação do solo e principalmente no controle dos processos erosivos. O presente trabalho teve como objetivo, simular a produção de sedimentos na Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Jacaré, utilizando para isso a metodologia da MUSLE (Equação Universal de Perda do Solo Modificada).

Palavras-chave**:** MUSLE, Planejamento Ambiental, Simulações

---

Comitê Orientador: Arisvaldo Vieira Méllo Júnior – UFS (Orientador), Silvana Susko Marcellini – EPUSP, Alceu Pedrotti – UFS.

ABSTRACT

MACEDO, Fabrício Lopes de. **Modeling hydrosedimentological in Sub-Basin of Riacho Jacaré in the Baixo São Francisco Sergipano.** 2010. 123p. (Dissertation - Master Progran in Agroecosystems). Federal University of Sergipe, São Cristóvão, SE.

The quantification of sediment production, released by the basin, assists in proposing methods, whose main purpose is to guide farmers, that will use natural resources in a sustainable way, aiming at the least possible degradation the areas used. Since the production of food, most often happens in an unplanned way in which almost all native vegetation is removed, it theoretically has no purpose in view of most farmers. However, the vegetation is considered by many researchers as the main barrier against the processes of land degradation, particularly for the control of erosion. This study aimed to simulate the sediment yield in the Sub-Basin of Riacho Jacaré, using the methodology of this MUSLE (Universal Soil Loss Equation Soil Modified).

Keywords: MUSLE, Environmental Planning, Simulations

Guidance Committee: Arisvaldo Vieira Méllo Júnior – UFS (Orientador), Silvana Susko Marcellini – EPUSP, Alceu Pedrotti – UFS.

CAPÍTULO 1

1. Introdução Geral

A produção de alimentos descontrolada proporcionou ao longo do tempo graves problemas ambientais, visto que, na maioria dos casos, o crescimento dos setores produtivos aconteceu de maneira não planejada, ocasionando uma série de problemas ambientais, como, por exemplo, a erosão das terras agrícolas.

A agricultura denominada “moderna” tem como seu foco principal, o aumento da produção agrícola a todo o custo. No entanto esse aumento descontrolado da produção proporcionou muitas vezes a exaustão dos recursos naturais não renováveis, comprometendo a capacidade de resiliência dos ecossistemas.

O processo de exploração agrícola e a expansão urbana em áreas antes inexploradas ocorreram e ainda ocorrem na maioria das vezes sem nenhum planejamento ambiental. Um dos recursos naturais mais degradados ao longo do tempo foram as matas nativas, em que, grande parte dessa vegetação, que servia como proteção natural do solo, foi retirada a fim de liberar essas áreas para construção de casas ou para o plantio de alguma espécie agrícola, favorecendo então o desenvolvimento dos processos erosivos, principalmente nas épocas chuvosas.

Ao longo do tempo, o real papel das vegetações sobre o meio ambiente foi sendo descobertos pelos pesquisadores. Segundo Arcova e Cicco (1997) as florestas desempenham um papel fundamental para a captação e distribuição das águas das chuvas nas bacias hidrográficas, no processo de suprimento para a recarga dos aqüíferos, assim como na regulação do escoamento de água das microbacias.

Considerando a atividade agrícola propriamente dita, o uso de técnicas inadequadas para o preparo do solo e manejo da vegetação são os principais fatores de degradação dos recursos naturais, sendo a erosão do solo uma das conseqüências mais impactantes do manejo inadequado dessas áreas.

O processo erosivo, além de causar o desgaste e até mesmo o desaparecimento da camada mais fértil do solo, pode provocar a contaminação dos cursos d’água, pela introdução de partículas sólidas na forma de sedimentos e pelo transporte de contaminantes químicos, como resíduos de fertilizantes e pesticidas que, aplicados na

área agrícola, podem ser carreados durante os processos de produção e transporte de sedimentos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; FILIZOLA et al., 2003).

Apesar dos esforços realizados para tentar mitigar os impactos adversos da agricultura, uma investigação no sistema real, envolvendo medições de todas as variáveis que influenciam um processo em uma escala mais ampla é, na maioria das vezes, impossível de ser conduzida, devido ao curto prazo em projetos pilotos e altos custos em medição e monitoramento (PESSOA et al., 1997).

A utilização cada vez mais freqüente de técnicas de geoprocessamento tem contribuído para a análise unificada do meio ambiente. Alguns modelos que qualificam e/ou quantificam as degradações ambientais como, por exemplo, o modelo MUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Modificada) e EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) e os sistemas de aptidões agrícolas, fazem uso do geoprocessamento como meio de aquisição, entrada, manipulação e saída dos dados (ARAÚJO JÚNIOR, 2003).

Este trabalho tem como objetivo simular os processos hidrossedimentológicos importantes para produção de sedimentos, a fim de contribuir na formulação de métodos de controle e recuperação da Sub-Bacia hidrográfica do Riacho Jacaré. A Sub-Bacia é muito importante para a região norte do Estado de Sergipe, que abrange os municípios de Propriá e Cedro de São João, que se destacam na produção de arroz, e Aquidabã e Malhada dos Bois que produzem respectivamente milho e mandioca.

2. Referencial Teórico

2.1. Planejamento das Bacias

De acordo com Hidalgo (1992) o planejamento ambiental é considerado como um processo político, social, econômico e tecnológico, com caráter educativo e participativo, em que o homem, em conjunto com a sociedade, deve tentar encontrar as melhores alternativas para a conservação do meio ambiente, buscando com isso o desenvolvimento equilibrado e compatível com o conceito de meio ambiente.

Santos (2004a) relata que as informações iniciais de que se tem conhecimento sobre planejamento, datam das primeiras aldeias nas sociedades mais primitivas, esses povos estavam ligados com as práticas da pesca e da agricultura. Com relação às áreas urbanas, os gregos fizeram uso das idéias de planejamento, que perduram até a Revolução Industrial. Com a formação das novas cidades o conceito de planejamento foi sendo deixado de lado, pois cada espaço buscava crescimento e desenvolvimento de maneira isolada, sem compreender a interação do meio como um todo.

O planejamento relacionado com os sistemas de produção agrícola é extremamente importante, pois pode torná-lo muito mais eficiente e consequentemente aumentar sua produção final. Baseado nessa premissa, alguns princípios fundamentais buscam contemplar todo o esforço que envolve a investigação sobre o equilíbrio ecológico de uma área ou território, tais como: os recursos naturais, a capacidade de uso e o planejamento racional do uso e manejo face às necessidades de desenvolvimento e de proteção do ambiente (CHAVES 2004; BORTOLOTI; MOREIRA, 2004).

O planejamento pode ainda estar relacionado às bacias hidrográficas. De acordo com Santos (2004a), as idéias sobre planejamento, baseado nas bacias hidrográficas, tiveram início a partir das décadas de 1930 a 1940, porém, restringiram-se somente aos recursos hídricos. Até meados dos anos 50, a questão ambiental era considerada como um seguimento à parte e estava mais relacionado à sistematização do conhecimento da natureza. Somente a partir do começo dos anos 80, a conservação e a preservação dos recursos naturais, e a integração do meio ambiente, passaram a ter função importante na discussão da qualidade de vida da população.

Com relação aos recursos hídricos, a unidade de planejamento adotada no território brasileiro é a bacia hidrográfica. No ano de 1997 foi instituída a Lei Federal Nº 9.433, que determinou a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento (RIBEIRO, 2004).

Assad e Sano (1998) sugerem que a primeira etapa para o planejamento de uma bacia hidrográfica é o diagnóstico da mesma. Esses autores descrevem que esse tipo de diagnóstico pode ser obtido através de caracterizações fisiográficas e sócio-econômica das áreas de interesse, além da identificação dos problemas da comunidade e das práticas de manejo utilizadas nas localidades. A Figura 1 apresenta uma proposta de elaboração do diagnostico das bacias e de planejamento conservacionista do solo em sistemas de produção.

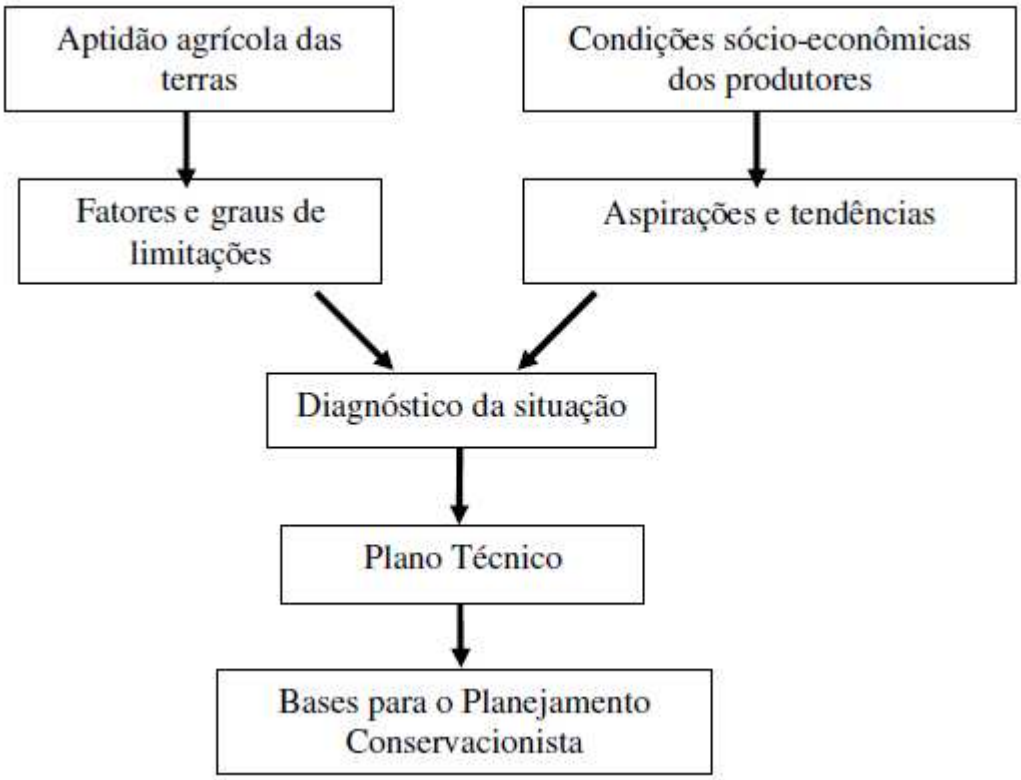


Figura 1: Planejamento conservacionista dos solos de baixa aptidão em sistemas de produção. (CASTRO FILHO; MUZILLI, 1999 *apud* FARIAS, 2006).

Brasil (1987) relata que as sub-bacias hidrográficas, são consideradas as unidades geográficas ideais para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais nos ecossistemas por ele composto. Attanaiso (2004) complementa relatando

que as Sub-Bacias apresentam características ecológicas, geomorfológicas e sociais integradoras, que proporciona uma abordagem holística e participativa, que poderão envolver estudos interdisciplinares para o estabelecimento de formas relacionadas ao desenvolvimento sustentável.

O planejamento ambiental em bacias hidrográficas pode minimizar o efeito dos impactos ambientais provenientes da ação antrópica, pois o conceito tende a levar em consideração a real necessidade da conservação do solo e da água.

2.2. Bacias Hidrográficas

Segundo Barrella (2001) bacias hidrográficas são definidas como sendo um conjugado de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, sendo formada nas partes mais elevadas do relevo por divisores de água, onde uma parte das águas provenientes das chuvas escoa de modo superficial, originando os riachos e os rios, e outra parte é infiltrada no perfil do solo dando origem a formação de nascentes e do lençol freático.

A idéia de bacia hidrográfica abrange naturalmente a presença de cabeceiras ou nascentes, divisores de águas, cursos d'água principais, afluentes, sub-afluentes, etc. (PALHARES, 2004).

Para Black (1996) uma bacia hidrográfica é considerada como "uma unidade de terra natural, ou perturbada, na qual toda a água que cai (ou emana de nascentes) é coletada por gravidade e a porção que não evapora escorre através de uma saída comum. A bacia é a unidade básica de suprimento de água".

Segundo Tucci (1997) a bacia tem como papel hidrológico a transformação de uma entrada de água, com volume concentrada no tempo (precipitação), eliminando essa entrada através de uma única saída (escoamento). O estudo em bacias hidrográficas permite a conexão dos fatores que condicionam a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos (HEIN, 2000).

De acordo com Teodoro et al. (2007) as referências de sub-bacia e microbacia hidrográfica estão atualmente agrupados na literatura técnico-científica, porém, não apresentam a mesma tendência conceitual apresentada para o conceito de bacia hidrográfica.

Sub-bacias são denominadas como sendo áreas de drenagem dos tributários de um rio principal. Existe uma grande divergência entre os autores para a definição ideal de sua área. Segundo Faustino (1996), as sub-bacias apresentam áreas com tamanhos maiores que 100 km² e menores que 700 km², no entanto para Rocha (1997, *apud* MARTINS et al., 2005), as áreas das sub-bacias estão entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km^2 a 300 km^2).

Já Cecílio e Reis (2006) definem a microbacia como sendo uma sub-bacia hidrográfica com uma área reduzida, onde não havendo consenso de qual seria a área máxima (máximo variando entre 10 a 20.000 ha ou 0,1 km^2 a 200 km^2).

Santana (2003) relata que as bacias hidrográficas podem ser divididas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Em que cada bacia hidrográfica se une com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Assim sendo, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos. O mesmo autor ainda comenta que o termo microbacia, ainda que muito difundido em âmbito nacional, estabelece uma denominação sem caráter científico, sugerindo então a sua substituição do termo por sub-bacia hidrográfica.

Microbacias podem ser classificadas ainda sob o ponto de vista ecológico:

> [...] microbacias são consideradas como sendo a menor unidade do ecossistema onde pode ser observada a delicada relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos, sendo que perturbações podem comprometer a dinâmica de seu funcionamento. Esse conceito visa à identificação e o monitoramento de forma orientada dos impactos ambientais (MOSCA, 2003; LEONARDO, 2003 *apud* TEODORO, 2007, p. 2)

A subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em seus componentes (sub-bacias) permite a pontualização de problemas difusos, tornando mais fácil a identificação de focos de degradação de recursos naturais, da natureza dos processos de degradação ambiental instalados e o grau de comprometimento da produção sustentada existente (FERNANDES & SILVA, 1994).

Segundo Attanasio (2007) estudos levando em consideração as sub-bacias hidrográficas, as mesmas fornecem novas metodologias que podem vir a contribuir com

um novo tipo de implementação do manejo agrícola, esse novo tipo de trabalho é conhecido como manejo ecossistêmico, que busca uma conexão entre as ciências agrárias atuando em conjunto com o planejamento ambiental. Para que essa integração venha a surtir bons resultados é importante que sejam identificados os impactos das ações humanas nos sistemas e nos processos ecológicos, feito isso, é necessária a redefinição do manejo e do uso da terra a fim de minimizar os impactos indesejáveis (MONTGOMERY et al., 1995).

Alguns objetivos gerais são descritos a seguir, buscando orientar um melhor manejo das sub-bacias hidrográficas:

> Reabilitação ou restauração de áreas alteradas, degradadas ou abandonadas, que produzem excesso de sedimentos, materiais poluente, enxurradas, etc;
> Proteção de áreas sensíveis, o que pode significar a combinação de práticas de preservação com práticas de exploração buscando o desenvolvimento sustentável;
> Melhoramento das características dos recursos hídricos da sub-bacia hidrográfica através do manejo de uma ou mais elementos da sub-bacia que podem influenciar as funções hidrológicas ou de qualidade da água (BLACK, 1996 *apud* ATTANASIO, 2004, p. 30).

Os impactos ambientais de origem antrópicas podem ser avaliados em estudos realizados nas próprias bacias hidrográficas, em que, através de monitoramentos periódicos é possível observar se o ecossistema está ou não sendo degradado (FERNANDES e SILVA, 1994; BARUQUI e FERNANDES, 1985).

Os três objetivos citados funcionam como meios de classificação das metas desejadas no manejo.

2.3. Sustentabilidade dos Agroecossistemas

Segundo Hart (1980) agroecossistema é denominado como sendo, todo ecossistema modificado pela ação antrópica, que apresenta pelo menos uma população agrícola. Resende (2002) afirma que os agroecossistemas são mais complexos do que os ecossistemas naturais, pois incluem o ser humano como componente essencial. O autor

complementa que os agroecossistemas são considerados como um tipo de sistema, em desequilíbrio por ser influenciado, marcadamente, por fatores externos.

A modificação dos ecossistemas, para que se tornassem agroecossistemas produtivos, ocasionou uma série de problemas de ordem ambiental nessas áreas. Gliessman (2001) discute que, devido à utilização do chamado “pacote tecnológico”, implementando a partir da década de 70; a agricultura a nível mundial teve seu maior desenvolvimento, no entanto, a partir de estudo relacionados com o meio ambiente, foram verificados, que as técnicas utilizadas, desse novo modelo agrícola como: o uso intensivo do solo, monocultura, aplicação de fertilizantes sintéticos, controle químico de pragas, causaram uma série de danos no longo prazo e desconsideraram por completo a dinâmica ecológica dos agroecossistemas.

Baseado na premissa, de que a agricultura convencional vem prejudicando cada vez mais o meio ambiente, novas pesquisas propuseram um novo tipo de agricultura (denominada agroecológica) e novas formas de utilização dos meios provenientes da natureza, o foco produtividade a qualquer preço, foi sendo deixado de lado, e uma maior preocupação com o meio ambiente foi sendo incorporada a uma série de novos conceitos, que tiveram como finalidade obter o chamado desenvolvimento sustentável.

De acordo Ehlers (1999) o conceito de desenvolvimento sustentável, tem como seu fundamento básico atender as necessidades das atuais das populações, sem que haja um comprometimento da capacidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades e deve ainda tentar conciliar, por longos períodos, o crescimento econômico e juntamente com conservação dos recursos naturais.

Outros autores como Chambers e Conway (1992), focando mais o conceito de sustentabilidade, afirmam que dois focos devem ser levados em consideração, a fim de conseguir obter sucesso: o primeiro seria a dimensão ambiental, mais relacionada com a preservação ou refinamento da base de recursos produtivos, com o foco principalmente para suprir as gerações futuras; e o outro seria a dimensão social, que não estaria apenas relacionada com os ganhos dos indivíduos, mas à maneira como pode ser mantida decentemente sua qualidade de vida.

A busca de uma agricultura sustentável deve conter princípios que busquem por uma “maior eficiência dos sistemas de produção agrícola deve ser compatível e coerente com cada realidade ecológica” (COSTA, 1993).

Para Altieri et al. (2003) os agroecossistemas são constituídos de comunidades espécies vegetais e animais, que interagem com o meio físico e químico modificados pelo homem para produção de alimentos. Partindo dessas idéias, os autores asseguraram que o entendimento dos processos de interações e dos processos ecológicos existentes nesses sistemas, é a chave para que se obtenha o manejo sustentável de uma localidade, visto que o objetivo principal seria o aumento da produção com uma menor carga de insumos externos, tornado assim menos prejudicial os impactos negativos de caráter sociais e ambientais.

Alguns autores, com a finalidade de proporcionar o reconhecimento das práticas agrícolas, sugerem uma série de características, que podem servir na verificação das práticas utilizadas são ou não sustentável, esses conceitos foram sugeridas por Gliessman (2001):

a) Efeitos negativos mínimos sobre o ambiente, não liberando substâncias tóxicas ou nocivas na atmosfera, águas superficiais e subterrâneas;

b) Preservação e recomposição da fertilidade do solo;

c) Prevenção da erosão e manutenção da saúde ecológica do solo;

d) Racionalização no uso da água, permitindo a recarga dos aqüíferos e satisfação das necessidades humanas e do ambiente;

e) Dependência dos recursos de dentro do próprio agroecossistema;

f) Valorização e conservação da diversidade biológica;

g) Igualdade de acesso às práticas, tecnologias agrícolas e conhecimentos adequados possibilitando o controle local dos recursos agrícolas.

A avaliação da sustentabilidade de um agroecossistema pode ser obtida com a identificação de algumas características específicas dos agroecossistemas, que constituam peças-chave em seu funcionamento e determinam em que nível ou condição esses parâmetros devem ser mantidos para que o funcionamento sustentável possa ocorrer (GLIESSMAN, 2001).

Agroecossistemas sustentáveis ou não, podem também ser avaliados por meio das propriedades formuladas por Conway (1987; 1993) e Conway e McCracken (1990), que propuseram quatro propriedades referentes aos agroecossistemas: *produtividade* – que é o resultado do produto valorizado em relação ao ingresso de recursos; *estabilidade* - é a

constância da produtividade diante das pequenas forças perturbadoras que surgem das flutuações e dos ciclos normais no ambiente circundante; *sustentabilidade* - capacidade de manutenção da produtividade, através do tempo, diante de uma distorção; e *equidade* - grau de igualdade de distribuição da produtividade do sistema agrícola entre os beneficiários humanos.

A outra propriedade proposta por Fernández (1995) é a *autonomia* - permite o conhecimento do nível de controle interno sobre o funcionamento dos agroecossistemas.

2.4. Ferramentas modernas visando a sustentabilidade dos Agroecossistemas

Com o real entendimento a respeito da importância relacionada a uma utilização dos recursos naturais de uma maneira mais sustentável, vários pesquisadores mudaram o foco de seus trabalhos, deixando de lado o aspecto relacionado apenas com a produção, e começaram a desenvolver novas metodologias com a finalidade de detectar e caracterizar áreas que apresentassem impactos ambientais decorrentes das intervenções antrópicas.

Dentre os impactos promovidos pela ação antrópica, a erosão dos solos, tem merecido cada vez mais destaque nas pesquisas. Essas pesquisas têm como finalidade principal à quantificação e consequentemente a diminuição das perdas de solos em áreas agrícolas e urbanas (OLIVEIRA et al., 2007).

Com relação aos tipos de erosão, a hídrica é a que mais danos proporcionam nos solos agrícolas, ocasionando muitas vezes a perda total de grandes áreas produtivas. O processo de erosão hídrica é considerado como responsável por cerca de 80% dos problemas de alteração da qualidade da água em sub-bacias (RANZINE e LIMA, 2002). Do total de sedimentos produzidos nesse processo, cerca de 30% chegam aos mananciais, podendo ocasionar o comprometimento da qualidade da água e favorecer o processo de assoreamento (HERNANI et al., 2002).

A informação e o monitoramento relacionado aos fatores que influenciam o processo da erosão hídrica, através da utilização de modelos preditivos, apresentam uma real importância na busca de uma utilização mais sustentável dos recursos naturais (MARTINS, 2005). Dentre os processos preditivos a Equação Universal de Perda de

Solo Modificada (MUSLE), tem sido utilizada em uma série de estudos, relacionados com a produção de sedimentos em bacias hidrográficas.

A utilização de modelos como a MUSLE ou a EUPS, associados com instrumentos como o Sensoriamento Remoto e SIG, facilitam o entendimento de processos complexos relacionados ao meio ambiente. Isso se torna possível, uma vez que as uniões dessas ferramentas proporcionam a obtenção, análise e a integração dos dados, gerando informações que conduzem ao entendimento e conexão dos fragmentos da realidade (OLIVEIRA et al., 2007). Com base nos resultados obtidos dessa união, novos cenários relacionados com a utilização do solo e da cobertura vegetal, de uma forma mais planejada e menos prejudicial pode ser propostos, visando à sustentabilidade futura da bacia hidrográfica.

3. Referências Bibliográficas

ARCOVA, F. C. S; CICCO, V. **Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal**. Walter Emmerich, Cunha – SP. *Revista Instituto Florestal de São Paulo,* v.9, n.2, p.153-170, 1997.

ARAÚJO JÚNIOR, G. J. L. D. **Aplicação dos Modelos EUPS e MEUPS na Bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.** 2003. 124p. Dissertação (Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto). INPE, São José dos Campos, 2003

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura.** –2. ed. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-CPAD, 1998. 434 p.

ATTANASIO, C. M. **Planos de Manejo Integrado de Microbacias Hidrográficas com uso agrícola: Uma Abordagem hidrológica na busca da Sustentabilidade.** 2004. 206p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO; H. F. (Ed.) **Matas ciliares:** conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BARUQUI, A. M.; FERNANDES, M. R. **Práticas de conservação do solo**. Belo Horizonte. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte. v. 11, n. 128. p. 55-69, ago. 1985.

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

BLACK, P. E. **Watershed hidrology.** New York, 1996.

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Programa nacional de microbacias hidrográficas**: manual operativo. Brasília, 1987. 60p.

CHAVES, M. R. **Diagnóstico do Uso e Ocupação do Solo e Monitoramento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ouvidor (GO)**. Catalão: UFG/CAC/Geografia, (Relatório Final PROINPE – CNPq / SECTEC – GO). 63 p., dez. 2004.

BORTOLOTI, A. MOREIRA**,** V. S. **Análise Físico-Ambiental da Bacia Hidrográfica Fazenda do Coqueiro.** 2004. UFSM, Goiana. Disponível em: <http:// www.meioambiente.site-oficial.ws> acesso em: 20 de dezembro de 2009.

CASTRO FILHO, C.; e MUZILLI, O. **Uso e manejo dos solos de baixa aptição**. Secretaria de Estado da Agricultura e do abastecimento Instituto Agronômico do Paraná. Londrina: IAPAR, 1999. p. 100-123 (IAPAR. Circular Técnica, 108).

CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. **Apostila didática**: manejo de bacias hidrográficas. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. 10p.

FARIAS, L. C. **Diagnóstico Físico-Conservacionista das Terras e a Percepção Comunitária – Bacia Hidrográfica da Barragem Vaca Brava – Areia, PB.** 2006. 130p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e da Água). Universidade Federal da Paraíba. Areia, PB. 2006.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas.** Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FERNANDES, M. R. e SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub- Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias** - Belo Horizonte: EMATERMG. 1994. 24p.

FILIZOLA, H. F.; BOULET, R.; GOMES, M. A. F. Processos erosivos lineares em áreas de recarga do Aqüífero Guarani. In: HAMADA, E. (Ed.). **Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo:** avanços e desafios**.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. cap. II, 1 CD-ROM.

HEIN, M. **Espacialização de duas microbacias hidrográficas do rio Piracicaba para modelagem hidrológica**. 2000. 291p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Feagri, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; De MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C. & LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E. & PERES, J. R. R., eds. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, Embrapa, 2002, p.47-60.

HIDALGO, P. **Diagnostico sócio-econômico**. João Pessoa: PRM/METROPLAN/ AGP-RS. 1992. 98p. Curso sobre Manejo Conservacionista de Bacias Hidrográficas.

LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo CUE, região oeste do Estado do Paraná.** 2003. 121p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MARTINS, F. B. et al. **Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena**, Santa Maria (RS). Estudo de caso. *Cerne*, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, ES.** 2005. 117p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, 2005.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas.** 2003. 96p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MONTGOMERY, R. D.; GRANT, G. E.; SULLIVAN, K. **Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management**. *Water Resources Bulletin*, v. 31, n.3, p.369 – 386, june 1995.

OLIVEIRA, A. M. M. de; PINTO, S. dos A. F.; LOMBARDI NETO, F. **Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo.** *Estudos Geográficos*, Rio Claro, vol. 5(1), p.63-86, 2007.

PALHARES, J. C. P. **Definições Técnicas - Água - Versão - 1.0**. Comunicado Técnico. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Concórdia-SC. 2004.

PESSOA, M. C. P. Y.; LUCHIARI, A. J.; FERNANDES, E. N., LIMA, M. A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas.** Jaguariúna: EMBRAPA, CNPMA, 1997. 83p. (EMBRAPA. CNPMA. Documentos, 8).

RANZINE, M.; LIMA, W. P. **Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e prdas de solo em duas microbacias reflorestadas com Eucalyptus, no Vale do Paraíba, SP**. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 61, p. 144-159, jun. 2002.

RIBEIRO, C. B. **Contexto histórico da gestão de recursos hídricos no Brasil**. UnB. In: Congresso Nacional de Geografia. 2004, 6, Goiana. Anais. Goiana: AGB, 2004.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de projetos ambientais**. Brasília: MMA, 1997. 446 p.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. ed. Oficina Textos. São Paulo: 2004 (a), 184p.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância na caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** *Revista Uniara*, n.20, 2007. 11p.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4).

CAPÍTULO 2

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO JACARÉ

1. Resumo

MACEDO, Fabrício Lopes de. **Produção de Sedimentos na Sub-Bacia do Riacho Jacaré.** 2010. 123p. (Dissertação – Mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.

O presente trabalho teve como objetivo determinar os parâmetros da MUSLE - Equação Universal de Perda de Solo Modificada, e avaliar a produção de sedimentos na Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Jacaré, localizada na margem direita do Rio São Francisco, ocupando uma área total de 324,81km^2. Para a determinação dos fatores Erodibilidade (K), Fator Topográfico (LS), Uso e Manejo (C) e Práticas Conservacionista, foram utilizados mapas produzidos pela SEPLAN/SRH no ano de 2003. Os demais dados necessários pela MUSLE, foram obtidos através do programa ABC-Bahia, desenvolvido pela Escola Politécnica de São Paulo – EPUSP, em que, foram utilizados 50 anos de precipitações máximas das localidades, obtidos através do site HIDROWEB da ANA. Através da obtenção de todos os fatores necessários para o cálculo da produção de sedimentos o valor maior total anual para o período de retorno de 5 anos, produzido pela bacia avaliada foi de 12.419,609 ton.km^{-2}.ano^{-1}, valor considerado baixo.

Palavras-chave: Erosão, MUSLE, ABC-Bahia

2. Abstract

MACEDO, Fabrício Lopes de. **Sediment Production in Sub-Basin of Riacho Jacaré**. 2010. 123p. (Dissertation – Master Progran in Agroecosystems). Federal University of Sergipe, São Cristóvão, SE.

This study aimed to determine the parameters of MUSLE - Equation Universal Soil Loss modified, and assess the sediment production in Sub-Basin of Riacho Jacaré, located on the right bank of Rio São Francisco, occupying a total area of 324 ,81km^2. To determine the factors Erodibility (K), Topographic Factor (LS), Use and Management (C), and conservation practices were used maps produced by SEPLAN / SRH in 2003. Other data required by the small watershed was obtained by ABC-Bahia program, developed by the Polytechnic School of Sao Paulo - EPUSP, which were used 50 years of maximum rainfall of Cities, obtained through the site HIDROWEB the ANA. By obtaining all the necessary factors for the calculation of sediment yield greater value for the total annual return period of 5 years, produced by the basin was assessed 12,419.609 ton.km^{-2}.an^{-1}, which is considered low.

Keywords: Erosion, MUSLE, ABC-Bahia

3. Introdução

O desenvolvimento populacional em nível mundial, esta relacionado com o aumento na utilização dos recursos naturais. As ações de origem antrópicas têm ocasionado uma série de desequilíbrios ambientais, e devido ao aumento crescente das populações, essas ações destrutivas vêm se tornando irreversíveis.

Em todo o globo terrestre, as principais causas relacionadas à degradação ambiental dizem respeito aos desmatamentos, queimadas, uso inadequado do solo, avanço das áreas urbanas. Todas essas formas de degradação afetam duas partes principais o homem e os recursos hídricos.

Os danos relacionados para o homem aparecem no longo prazo, como por exemplo, a perda de áreas agricultáveis, aparecimento de doenças, etc. Já os problemas relacionados aos recursos hídricos, são mais imediatos, e o principal deles esta relacionado com a diminuição da quantidade hídrica e a contaminação da mesma. Já que os cursos d'água são extremamente afetados com as derrubadas das matas ciliares, assoreamento dos leitos dos rios e o transporte de uma série de agentes poluentes, tais como esgoto urbano, produtos químicos, lixo e sedimentos com resíduos químicos.

Dentre todos os impactos ambientais ocasionados pelo homem, à erosão dos solos vem ganhando cada vez mais destaque nos debates e estudos científicos, devido as suas implicações diretas e indiretas que o processo erosivo ocasiona ao desenvolvimento sustentável das áreas rurais.

O processo de erosão dos solos é considerado um dos grandes problemas brasileiro, em que, a cada ano, uma média de 822,7 milhões de toneladas de solo agrícola é perdida de acordo com Hernani et al. (2002).

Os processos erosivos e sedimentológicos acarretam uma série de problemas tanto nas áreas em que o material foi retirado, como também nas áreas de deposição dos sedimentos.

O solo é o principal recurso afetado pelo processo erosivo, que ocasiona na maioria das vezes a perda da camada agricultável, fazendo então, com que novas áreas ainda com a presença de mata, sejam devastadas, com a finalidade de se obter novas terras para produção de alimentos.

Uma das maiores dificuldades de quantificar a perda de solos nas áreas, esta relacionado ao grande custo e ao tempo exigido dos projetos. Já que na maioria dos

casos, é necessário um acompanhamento mensal ou até mesmo diário dos experimentos, então para que essas avaliações aconteçam de uma maneira correta grandes quantias de dinheiro são necessárias.

Por essas razões, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) vem sendo empregado em uma série de estudos de ordem ambiental, devido a sua simplicidade para o tratamento, seu custo reduzido e por possibilitar uma melhor avaliação dos dados necessários para os estudos realizados.

Os SIG's trabalham com análises sucessivas de dados de origem espacial, que dividem ou não áreas heterogêneas em pequenas unidades homogêneas, a fim de facilitar o entendimento e gerar melhores resultados (TIM, 1994).

O presente trabalho tem como objetivo, aplicar a MUSLE na Sub-Bacia hidrográfica do Riacho Jacaré e com auxilio do SIG gerar os dados necessários para calcular a produção de sedimentos na área estudada.

4. Referencial Teórico

4.1. Sistema de Informação Geográfica Aplicado às Bacias Hidrográficas

Atualmente o geoprocessamento é considerado uma ferramenta fundamental para a realização da maioria dos projetos relacionados à área de meio ambiente, fato esse, ocasionado pelo grande número de variáveis presentes nesses projetos e ao tamanho da área abrangida por eles (PRADO, 2005).

Segundo Burrough (1986 *apud* PRADO, 2005) "SIG é definido como um conjunto de ferramentas capaz de coletar, armazenar, recuperar e exibir informações espaciais sobre o meio ambiente, objetivando as mais diferentes aplicações".

O SIG possui com sua função básica a extração de informações, proporcionando simultaneamente a visualização de imagens das áreas a serem analisadas. É considerado um processo interativo, já que permite uma série de possibilidades de realce sobre as informações de maior interesse (REIS, 2004).

Assim sendo, os sistemas de informações geográficas são utilizados tanto na geração de mapas temáticos, como para a análise e tomadas de decisões. O sistema também colabora para uma série de pesquisa como, por exemplo: Manejo de dados espaciais; Pesquisa sobre os recursos naturais; Manejo e planejamento da terra para irrigação; Mapeamentos temáticos; Controle ambiental (FARIAS, 2006).

O uso crescente dos SIGs em trabalhos de planejamento ou em trabalhos que se baseiam na previsão de impactos ambientais, como a quantificação do processo erosivo, vem ganhando cada vez mais destaque. Esse aumento da utilização dos sistemas se deve a rapidez no processo de manipulação dos dados, e um diagnóstico mais criterioso das situações das áreas avaliadas. Nos processos erosivos, a posição geográfica das áreas, que apresentam uma maior perda ou acúmulo de terra, é uma informação de fundamental importância para apoiar decisões de intervenção na área (RANIERI, 2000).

MENDES (1998 *apud* PRADO, 2005), relata que a utilização de técnicas de geoprocessamento apresenta-se como um instrumento de grande potencial para a elaboração de planos integrados de conservação do solo e da água. Baseado nesse contexto, os SIG's inserem-se como um instrumento que possui a capacidade de manejar as funções que representam os processos ambientais em regiões diversas, de uma forma simples e hábil, permitindo economia de recurso e tempo. Os resultados

obtidos destas manipulações geralmente são apresentados sob a forma de mapas temáticos, que apresentam as informações desejadas (GROSSI, 2003).

4.2. Erosão do solo

A estrutura dos solos tem sido modificada desde períodos pré-históricos, proporcionados por uma série de modificações, ocasionados primeiramente devido ao uso do fogo, que servia como ferramenta de manejo local, sendo amplamente utilizado pelas populações originais da maioria dos continentes (CORRELL, 1997). Os processos de queimadas expuseram o solo ao processo de erosão mecânica, além de favorecer a liberação de sais solúveis contendo nutrientes, contribuindo então para o processo de redução da fertilidade natural dos solos (DIEMBLEBY, 1974 *apud* MOMOLI, 2006).

O processo de degradação do solo pode ser ocasionado de maneira natural ou através das atividades antropogênicas, devido a uma utilização inadequada dos recursos naturais (LAL, 1998a).

Jianping (1999) relata através de seus estudos, que o processo erosivo é um dos principais problemas ambientais presentes no mundo, causando grandes prejuízos econômicos anualmente e ameaçando o desenvolvimento sustentável.

Autores como Oldeman et al. (1990); Biot e Lu, (1995) e Bruce et al. (1995), comentam que aproximadamente 85% da economia mundial está relacionada ao processo de degradação das terras, sendo que a maior parte desse processo de degradação teve origem após a Segunda Guerra Mundial, devido ao desenvolvimento de implementos agrícolas, que utilizados de forma inadequada proporcionaram a degradação do solo. Ainda segundo esses autores a utilização de implementos agrícolas acarretou uma redução de 17% na produtividade das culturas, além do esperado.

Zachar (1982) apresenta a origem do termo erosão, que segundo o autor sua origem vem do latim, exatamente do verbo “erodere”, que significa escavar.

O processo erosivo ocorre basicamente de duas maneiras:

> Erosão geológica ou geomorfológica – é aquela processada normalmente, sendo também chamada de erosão natural ou erosão normal, envolvendo o arranque das partículas ou materiais (solos, formações superficiais e pedras) e

> o seu transporte, ou deslocamento, sem intervenção humana, atuando paulatinamente em todos os meios. Nesse processo geomorfológico natural, pode-se dizer que todas as formações que nos rodeiam têm sido modeladas por erosão geológica.
>
> Erosão acelerada ou erosão antrópica – é aquela provocada pela ação humana. A erosão provocada por catástrofes, como terremotos, grandes enchentes e erupções vulcânicas poderia ser incluída nesse grupo apesar de não ser antrópica (CARVALHO, 2008, p.35).

Alguns fatores determinam se um tipo de solo é mais ou menos propenso ao processo erosivo, esse conjunto de fatores, quando integrados regulam a infiltração da água e a resistência do solo a desagregação e o transporte de partículas (LAL, 1998b). O processo erosivo é determinado basicamente pelo regime hídrico, topografia do terreno, pelas práticas agrícolas adotadas e o efeito dessas práticas nas características físicas e químicas do solo (EDWARDS e OWENS, 1991).

Das formas existentes de perda de solo, o processo de erosão hídrica é considerado um dos fatores fundamentais do processo de degradação dos solos, e é associado conseqüentemente com a diminuição da produtividade das áreas agrícolas (YOUNG et al., 1986; FULLEN et al., 1996), chegando a ser mencionada com o evento crucial na escassez de alimentos em algumas partes do mundo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Relação essa que é pautada devido à perda de solo, água e nutrientes provocada pela erosão.

O processo de erosão hídrica é constituído de 4 fases distintas: impacto, desagregação, transporte e deposição. A primeira fase consiste no impacto ocasionado pela gota de chuva, em um solo descoberto ou não. A fase de desagregação envolve o processo de quebra e individualização das partículas agregadas do solo, ocasionada pelo impacto das gotas de chuva; essas partículas desagregadas salpicam com as gotículas de água e retornam a superfície, selando-a e reduzindo o poder de infiltração do solo. O inicio da segunda fase do processo erosivo é conhecida como transporte, ocorre quando a energia do fluxo superficial, que depende do volume e velocidade da água, não é suficiente para transportar o material sólido, este se deposita, caracterizando a terceira fase do processo denominada como deposição (LAGROTTI, 2001 *apud* PRADO 2005).

O processo de deposição de sedimentos é considerado instantâneo e contínuo segundo Ritter e Shirmohammadi (2001), a maior quantidade de acúmulos de

sedimentos ocorrerá nas localidades em que o fluxo de enxurrada adquirir velocidades menores, isto é, nas áreas que apresentarem baixa declividade ou ainda quando o escoamento superficial for retido pelas plantas ou qualquer outro tipo de obstáculo (DOUGLAS, 1990).

Os problemas mais comuns ocasionado pelo processo erosivo, diz respeito ao transporte de sedimentos e nutrientes pelo escoamento das áreas agrícolas, mineração, construção civil e outras atividades, muitas vezes esse material é transportado diretamente nos leitos dos rios, ocasionando o processo de poluição difusa numa determinada área. A complexidade do manejo da poluição difusa em bacias hidrográficas esta associada à natureza dos processos envolvidos e à dificuldade de se desenvolver procedimentos para a eliminação ou mitigação dos seus impactos. Por atingirem extensas áreas e agirem de forma intermitente, as fontes difusas são difíceis de serem identificadas e quantificadas (BROOKS et al., 1991).

4.3. Hidrossedimentologia

De acordo Paiva et al. (2001) a informação sobre o aporte de sedimentos em bacias hidrográficas é de fundamental importância para que seja realizado um bom planejamento e gestão dos recursos hídricos satisfatória. Essas informações também são imprescindíveis para o dimensionamento e operação de obras hidráulicas, pois interferem decisivamente nos custos de implantação e manutenção de tais sistemas.

Garde e Ranga Raju (1985) definem sedimento ou aluvião como todo material fragmentado conduzido em suspensão ou arrastamento pela água, pelo ar ou ainda sedimentados nos leitos dos cursos d’água pela ação de agentes naturais.

Os processos de produção e deposição de sedimentos em uma bacia hidrográfica dependem fundamentalmente de suas características naturais como chuvas, tipos de solo, topografia, densidade de drenagem, cobertura vegetal, área de drenagem e de influência antrópicas como o uso e ocupação do solo, o uso da água, as alterações no curso d’água entre outros (LIMA et al., 2001).

Em relação ao gradiente granulométrico existente nos cursos d’água de uma bacia hidrográfica, é possível observar que as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de tamanhos maiores, como pedras, pedregulhos e seixo. À medida que são transportados, esses materiais vão se fracionando, transformando-se em sedimentos de

granulometria menor, passando à areia grossa, media e fina gradativamente a jusante, para o baixo curso (CARVALHO, 2008).

A classificação do transporte de sedimentos é realizada de diferentes formas:

> Carga sólida do leito ou de arrasto: são as partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água. As partículas estão em contato com o leito praticamente o tempo todo
> Carga sólida saltitante: são as partículas que pulam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou pelo impacto de outras partículas. O impulso inicial que arremessa uma partícula na correnteza pode se dever ao impacto de uma na outra, o rolamento de uma por sobre a outra ou o fluxo de água sobre a superfície curva de uma partícula, criando assim pressão negativa
> Carga sólida em suspensão: são as partículas suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, sendo suficientemente pequenas para permanecerem em suspensão, subindo e descendo na corrente acima do leito. Conforme Christofoletti (1981) *apud* Silva (2007), geralmente esse grupo de sedimento representa a maior quantidade de carga sólida do curso d'água, podendo corresponder a 99% de toda a carga sólida (SILVA, 2007, p. 120).

O transporte de sedimentos em um rio principal possui uma carga de material em suspensão é maior que a do fundo (90% a 95%) em seu alto curso, essa carga de fundo vai aumentando à medida que a erosão da bacia vai diminuindo e a declividade do curso d'água também (65% a 90% de sedimento em suspensão). A porcentagem de sedimentos em suspensão e do leito é muito dependente da granulometria do sedimento transportado. Então quando existe uma grande quantidade de areia, a porcentagem de sedimentos transportados no leito pode ser maior que os sedimentos em suspensão (CARVALHO, 2008).

O processo erosivo é altamente seletivo, em que, a maior parte dos sedimentos é erodido e transportado sob a forma de agregados, especialmente a fração argila do sedimento, a deposição preferencial afeta seriamente a estrutura e a fertilidade do solo (FULLEN et al., 1996). O transporte de argila carrega consigo, adsorvidos à sua superfície, importantes cátions como: P, Ca, Fe, Mg e Mn. A fração argila que é

transportada como partículas primárias e como agregados responde pelo problema potencial de contaminação física e química dos corpos d'água à jusante, sendo a forma particulada aquela que atinge mais rapidamente os cursos de água (RITTER e SHIRMOHAMMADI, 2001 e YOUNG, 1996).

De acordo com Lima et al. (2001), os sedimentos podem gerar os seguintes impactos: Redução da disponibilidade hídrica; Problemas para captação e distribuição de água; Impactos no ambiente aquático; Custos para a navegação; Poluição; Aumento das enchentes.

Graves problemas sócio-ambientais são originados devido ao transporte de sedimentos, podendo ser relacionado a possibilidade de ocorrência de 3 processos altamente impactantes: a poluição pontual e difusa, a eutrofização e o assoreamento.

Adreoli et al. (2003), denomina:

- Poluição pontual: são os poluentes que atingem o corpo hídrico de forma concentrada, através do lançamento de esgotos coletados, lançamentos industriais, chorume de aterros, entre outros.
- Poluição difusa: originada através de poluentes que adentram o corpo hídrico, distribuídos ao longo de sua extensão e são de difícil avaliação, incluem nessa categoria: resíduos sólidos espalhados sobre terrenos baldios, ruas e calçadas; os poluentes atmosféricos sedimentados sobre o solo; dejetos animais e biocidas presentes nas áreas agrícolas, os sedimentos gerados pela erosão, entre outros.

O processo de eutrofização ocorre devido ao aumento da carga dos nutrientes nitrogênio e fósforo presente nos fertilizantes, que chegam aos cursos hídricos e nos reservatórios através do escoamento superficial ou carreado juntamente com os sedimentos removidos em uma encosta. Os nutrientes estimulam a reprodução de algas cianofíceas e outros microorganismos, causando posteriormente uma diminuição de oxigênio na água ocasionando a morte de peixes e outros organismos aeróbicos. Nesse processo morrem também diversas plantas aquáticas, visto que microorganismos anaeróbicos, que se alimentam de material em decomposição, formam uma camada na superfície da água que impede o contato das plantas com a luz solar (PEREIRA, 2007).

O processo de assoreamento dos rios é ocasionado pelo escoamento superficial e sub-superficial causados pelas águas das chuvas, que juntamente aos particulados de

solo, são carreados. Em condições que apresentem uma elevada presença de partículas de solo na água ocorre o aumento de sua turbidez. O espalhamento de luz na lâmina d'água é diretamente proporcional à quantidade de sedimentos (OSMOND et al., 1995). Além disso, com o passar dos anos, areia e detritos se acumulam no leito do rio, deixando-os cada vez mais rasos e, portanto, com menor vazão, e, no caso de reservatórios, diminuindo sua vida útil.

4.4. Equação Universal de Perda de Solo – EUPS

Para tentar exprimir, as ações dos principais fatores que exercem influência nas perdas de solo pela erosão hídrica, alguns modelos, baseados em descrições matemáticas, foram elaborados para prever o quanto de solo é perdido através dos processos erosivos (MACHADO, 2002).

A EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) foi originalmente desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), para estimar a erosão laminar do solo em parcelas ou vertentes em áreas cultivadas ao leste das Montanhas Rochosas (EUA). Essa equação foi formulada, com base em estudos desenvolvidos em mais de 10.000 lotes, que apresentavam características distintas de clima, solo, relevo e cultivo, de dimensões reduzidas e, portanto, submetidos, exclusivamente, a processos de erosão hídrica superficial do tipo laminar. A equação foi em seguida adaptada para ser utilizada em outras áreas cultivadas nos EUA, Europa e para a região oeste da África tropical (MILLER e GARDINER, 2001; CARVALHO, 2008).

Segundo Cochrane e Flanagan (1999) o monitoramento do processo erosivo é muito dispendioso e impraticável em toda a bacia hidrográfica, devido a isso existe a necessidade de predizer a erosão com o uso de modelagem. De acordo com Lane et al. (1992), a estimativa da erosão, é essencial para a conservação do solo e o controle de sua perda, é útil para prever impactos antes mesmo de uma determinada cultura ou prática agrícola a ser adotada.

O modelo construído, que trata o assunto de modo mais dinâmico é a "Equação Universal de Perda de Solo" - EUPS (WISCHMEIER e SMITH, 1978). O objetivo básico da EUPS consiste em fazer uma previsão de médio e longo prazo do processo erosivo do solo, com base em séries de longos períodos de coleta de dados, e então

promover o planejamento de práticas conservacionistas, para minimizar as perdas de solo em níveis aceitáveis (LARSON et al., 1997).

A EUPS é a equação de estimativa de erosão mais conhecida e aplicada até hoje. Todos os modelos desenvolvidos após a EUPS foram elaborados a partir dela, ou contêm parâmetros dessa equação (RENARD e MAUSBACH, 1990).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1995), a equação desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) possui a seguinte forma:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \qquad \textbf{(1)}$$

em que:

A – perda de solo calculada, em $t.ha^{-1}$;

R – fator erosividade, índice de erosão pela chuva, $(MJ.ha^{-1}.mm.ha^{-1})^3$;

K – fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão de chuva, para um solo específico que é mantido continuadamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 m, $t.ha^{-1}$ $(MJ.ha^{-1}.mm.ha^{-1})$;

L – fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 m para o mesmo solo e grau de declive;

S – fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C – fator uso e manejo: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuadamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P – fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

A figura abaixo ilustra o diagrama da Equação Universal de Perda de Solo, modificado de Costa (1988).

Figura 2 – Diagrama da Equação Universal de Perda de Solo (Modificado de COSTA, 1988).

A EUPS é utilizada com dois objetivos principais: dar suporte ao planejamento conservacionista de terras agrícolas, devido a possibilidade da simulação de sistemas produtivos com culturas alternativos, manejos e práticas distintas, e para a predição da perda total de solo com dados representativos das condições locais (WISCHMEIER e SMITH, 1978; ÖZHAN et al., 2005).

Essa equação é considerada, como um dos instrumentos analíticos mais bem sucedidos para estudos prospectivos de processos de erosão superficial. É um modelo extremamente útil em iniciativas voltadas ao zoneamento ambiental em escalas e procedimentos menos detalhados e, ainda, como instrumento de simulação. Sua utilização em conjunto com sistemas digitais é cada vez mais freqüente, embora ainda persistam entraves e lacunas, em especial quanto à adequacidade de utilização em diferentes escalas e contextos ambientais (CASTRO e VALÉRIO FILHO, 1997).

No entanto a EUPS limita-se a fornecer estimativa somente de perdas de solo anuais médias, não estima nem o processo de deposição em vertentes côncavas,

tampouco o transporte de sedimentos para fora de uma determinada área, o que dificulta a sua aplicação na escala de bacias hidrográficas, pois estas com freqüência possuem relevo complexo, áreas de perda e deposição de sedimentos e erosão em sulcos (RENARD et al., 1991; KRESNOR et al., 1992).

Segundo Chaves (1991) as crescentes preocupações com problemas de assoreamento e poluição de cursos d'água e de reservatórios contribuíram para o desenvolvimento de novos modelos matemáticos, que previssem o aporte de sedimentos em pontos específicos da bacia hidrográfica. Um desses modelos, a Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE).

Williams (1975) desenvolveu o modelo MUSLE (Equação Universal de Perdas de Solo Modificada) para prever a produção de sedimentos em pequenas e médias bacias hidrográficas, por meio das análises de chuvas individuais. Esse modelo será descrito em detalhes mais a frente.

4.4.1. Fator Erosividade da Chuva (R)

Esse parâmetro possui a característica de expressar a capacidade da chuva de erodir o solo, sem cobertura vegetal, esse parâmetro é também conhecido como "Índice de Wischmeier". Geralmente é definido como o produto da energia cinética de uma chuva pela sua máxima intensidade em 30 minutos (ZARONI, 2006).

O potencial da chuva em causar erosão pode ser avaliado por meio de índices de erosividade que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região (CARVALHO et al., 2005). A determinação dos valores de erosividade, ao longo do ano, também permite identificar os meses em que os riscos de perdas de solo são mais elevados, razão por que exerce relevante papel no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Segundo Wischmeier e Smith (1958), para regiões de clima temperado a melhor variável para avaliar a erosão é o produto da energia cinética (E) e sua intensidade máxima em 30 min (I_{30}), expressa como índice EI_{30}, o esse índice representa o produto da energia cinética total da chuva (MJ ha^{-1}) pela intensidade máxima (mm h^{-1}) com base em período contínuo de 30 min de chuva (MORAIS et al., 1988). Esse índice vem sendo usado praticamente em todo o Brasil como parâmetro para avaliar a erodibilidade

dos solos e a determinação das linhas isoerosivas (CARVALHO et al., 2005). Para determinação do fator "R" da EUPS, períodos de chuvas de 20 a 30 anos devem ser analisados, sendo que a erosividade é determinada pelo índice EI_{30} de cada chuva (CASSOL et al., 2007).

A soma dos valores mensais de EI_{30} é o fator "R" da Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, expresso em unidades de MJ mm ha^{-1} h^{-1}. Com a EUPS pode-se estimar a perda média anual de solo, sendo a chuva o agente ativo no processo de erosão hídrica, pois provoca a desagregação das partículas do solo (CARVALHO et al., 2005).

A fórmula desenvolvida para o cálculo do índice de erosão (EI_{30}) obtido pelo produto entre a energia cinética (Ec) e a intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}), é descrita pela equação 2 (WISCHMEIER e SMITH, 1958).

$$R = \sum_{j=1}^{N} (E \cdot I_{30})\, j \qquad \textbf{(2)}$$

em que:

E = energia cinética da chuva, $t.mha^{-1}$. mm;

I_{30} = máxima intensidade da chuva em 30 minutos, em $mm.h^{-1}$.

A energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em trinta minutos, I_{30}, são obtidas segundo o método de Wischmeier e Smith (1978), ajustada ao Sistema Internacional de Unidades por Foster et al. (1981), dada pela equação 3.

$$E = 0{,}119 + 0{,}0873 \cdot Log(i) \qquad \textbf{(3)}$$

em que:

E = energia cinética da chuva no segmento (MJ $(ha\ mm)^{-1}$);

I = intensidade da chuva ($mm.h^{-1}$); e,

Log = logaritmo decimal

A intensidade máxima em trinta minutos é obtida conforme a equação 4 proposta por Carvalho (1987):

$$I_{30} = \frac{Li}{0,5} \quad \textbf{(4)}$$

em que:

I_{30} = é a intensidade máxima da chuva em 30 min, ($mm.h^{-1}$)

Li = a lâmina máxima precipitada durante um intervalo de tempo de 30 minutos consecutivos, no decorrer da chuva.

Quando a duração total da chuva foi menor que 30 minutos, I_{30} foi considerado igual ao dobro da lâmina total precipitada (Wischmeier e Smith, 1978).

Para I > 76 $mm.h^{-1}$ o valor de E é de 0,283 MJ $(ha\ mm)^{-1}$ (Foster et al., 1981). Os valores obtidos para o fator R têm uma variação de fraco a muito forte, conforme a escala abaixo (CARVALHO, 2008):

R < 250 – Erosividade Baixa

250 < R < 500 – Erosividade Moderada

500 < R < 750 – Erosividade Moderada a Forte

750 < R < 1000 – Erosividade Forte

R > 1000 – Erosividade Muito Forte

4.4.2. Fator Erodibilidade (K)

O termo erodibilidade refere-se à habilidade potencial do solo em resistir à erosão hídrica, governada pelas características e propriedades do solo (LAL, 1988b).

De acordo com Silva et al. (2007), a quantificação desse parâmetro, requer muito dinheiro e tempo para obtenção dos dados de uma determinada localidade. Alguns trabalhos classificaram alguns tipos de solo presentes no Brasil, como por exemplo, trabalhos realizados por Margolis et al. (1985) e Távora et al. (1985), que classificaram os solos da região nordeste.

Os métodos mais utilizados, para avaliar a erodibilidade dos solos dividem-se em: indiretos, que se baseiam num grupo de propriedades do solo, e diretos, determinados por experimentos, onde o solo é submetido à chuvas de erosividade conhecida e, deste modo é, medida a quantidade de material perdido.

O fator K pode ser determinado experimentalmente, no entanto todo o material erodido deve ser recolhido, geralmente utilizam-se tanques coletores de enxurrada. A área avaliada deve possuir declives de 9% com comprimento de rampa de 25 m, sendo as áreas preparadas no sentido do aclive e sem cobertura vegetal (CASAGRANDE, 2004).

Esse fator ainda pode ser classificado, se baseando nas características químicas e físicas de um determinado solo, que se baseia na utilização do nomograma de Wischmeier (SILVA, 2007).

O Nomograma de erodibilidade do solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978), pode obter o valor da erodibilidade que combina o efeito das seguintes propriedades do solo: porcentagem de silte mais porcentagem de areia muito fina; porcentagem de matéria orgânica, porcentagem de areia entre 0,1 e 2 mm; tipo de estrutura e grau de permeabilidade (Figura 3).

Outro método para obtenção do fator K baseia-se na combinação da classe textural de um solo e do teor de matéria orgânica, expresso na Tabela 1.

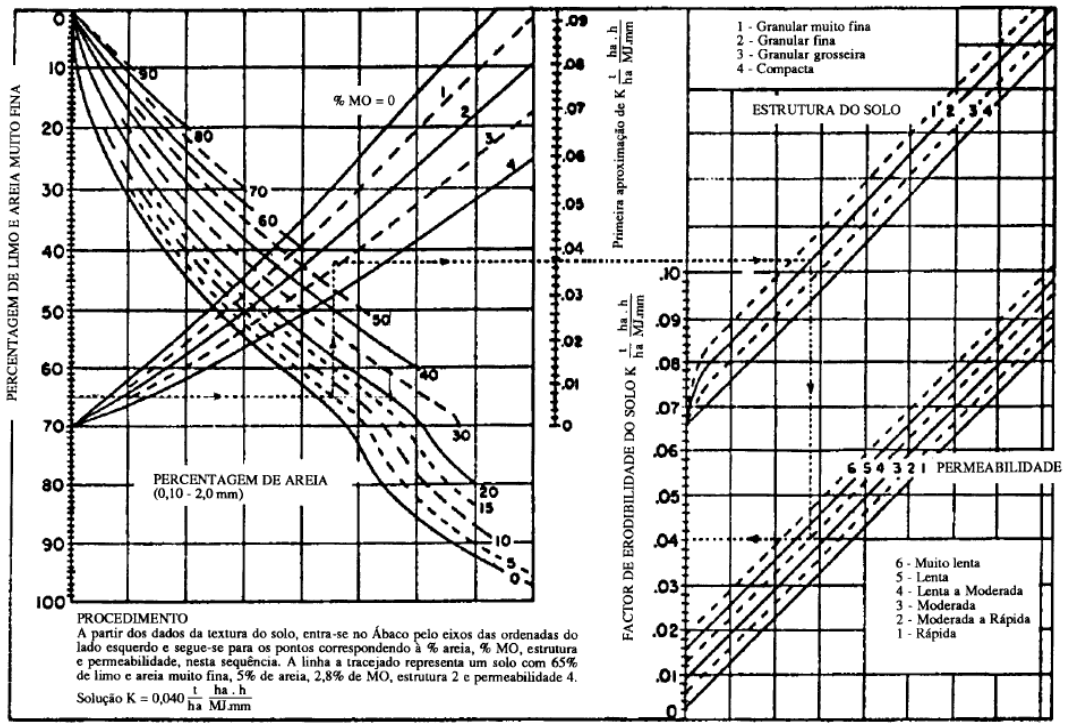


Figura 3 - Nomograma para a determinação do fator de erodibilidade K. Adaptado por FOSTER et al. (1981).

Tabela 1 - Indicação de magnitude geral do fator erodibilidade dos solos no sistema métrico de unidades (MITCHELL e BUBENZER apud SILVA et al., 2007).

Classe Textural	Conteúdo de matéria orgânica (%)		
	< 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 4,0
	K	K	K
Areia	0,05	0,03	0,02
Areia-franca	0,12	0,10	0,08
Silte	0,60	0,52	0,42
Franco-arenosa	0,27	0,24	0,19
Franco-siltosa	0,48	0,42	0,33
Franco-argiloarenosa	0,27	0,25	0,21
Franca-argilossiltosa	0,37	0,32	0,26
Franco-argilosa	0,28	0,25	0,21
Argilossiltosa	0,25	0,23	0,19
Argila		0,13 – 0,29	

Os valores de K variam de franco a elevado, conforme a escala abaixo (CARVALHO, 2008):

K < 0,15 – Erodibilidade Fraca

0,15 < K < 0,30 – Erodibilidade Média

K > 0,30 – Erodibilidade Elevada

4.4.3. Fator Uso e Manejo do Solo (C)

De acordo com Paiva (2001), o fator C relaciona as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições com a perda correspondente de um terreno mantido continuamente descoberto.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) dividiram o ano agrícola em cinco períodos de desenvolvimento das culturas, definidos de tal modo que os efeitos de cobertura e manejo possam ser considerados, aproximadamente, uniformes dentro de cada período: Do preparo ao plantio (D); Do plantio até o primeiro mês (1); De um mês a dois meses após o plantio (2); De dois meses até a colheita (3); Da colheita ao preparo do solo (4).

A Tabela 2 mostra o exemplo de várias culturas, seus fatores variam de acordo com o desenvolvimento da planta. Para cada estágio das culturas, são calculadas as intensidades de perdas de solo conforme as Tabelas 3 e 4.

Tabela 2 - Fator C, com base nas fases de desenvolvimento das culturas. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Cobertura, seqüência e manejo	Produti-vidade	C% no período de estágio da cultura				
		D	1	2	3	4
Milho, contínuo, palha queimada	*Média*	*37*	*30*	*21*	*6*	*1*
Milho, contínuo, palha enterrada	*Média*	*23*	*19*	*17*	*4*	*2*
Milho, contínuo, palha superfície	*Média*	*-*	*5*	*2*	*1*	*1*
Algodão, contínuo, convencional	*Média*	*40*	*60*	*40*	*50*	*20*
Soja, contínuo, convencional	*Média*	*35*	*30*	*20*	*20*	*5*
Pasto, 1º ano, rotação	*-*	*-*	*-*	*40*	*-*	*-*
Pasto, 2º ano, rotação	*-*	*-*	*-*	*0,4*	*-*	*-*
Milho, rotação após pasto	*Média*	*10*	*11*	*8*	*4*	*1*
Milho, rotação plantio direto após pasto	*Média*	*-*	*8*	*5*	*3*	*1*
Soja, rotação após milho	*Média*	*15*	*12*	*20*	*4*	*3*
Soja, rotação, plantio direto após milho	*Média*	*-*	*8*	*10*	*4*	*3*
Algodão, rotação após soja	*Média*	*20*	*20*	*30*	*15*	*13*
Cana de açúcar, 1º ano, convencional	*Média*	*-*	*-*	*15*	*-*	*-*
Cana de açúcar, 2º ano	*Média*	*-*	*-*	*0,15*	*-*	*-*

Tabela 3 - Fator uso e manejo do solo, C, para florestas (LENCASTRE e FRANCO, 1984).

Copas das árvores (% de área)	% área com manta morta de mais de 5 cm	Solo coberto	C
100 – 75	*100 – 90*	*Moderadamente pastado e queimado*	*0,001*
		Intensamente pastado e queimado	*0,003 – 0,011*
70 – 40	*80 – 75*	*Moderadamente pastado e queimado*	*0,002 – 0,004*
		Intensamente pastado e queimado	*0,01 – 0,04*
35 - 20	*70 - 40*	*Moderadamente pastado e queimado*	*0,003 – 0,009*
		Intensamente pastado e queimado	*0,02 – 0,09*

Tabela 4 - Fator uso e manejo do solo (C), para pastagens. E – revestimento de ervas ou manta morta com pelo menos 5 cm de espessura; L – revestimento de plantas herbáceas de folha larga (LENCASTRE e FRANCO, 1984).

Tipo de cobertura	% área coberta	Cobertura (*)	% de solo revestido					
			0	20	40	60	80	95 - 100
Sem cobertura apreciável		*E*	*0,45*	*0,20*	*0,10*	*0,042*	*0,013*	*0,003*
		L	*0,45*	*0,24*	*0,15*	*0,090*	*0,043*	*0,011*
Coberto de ervas altas ou mato rasteiro (média de 0,5 m)	*25*	*E*	*0,36*	*0,17*	*0,09*	*0,038*	*0,012*	*0,003*
		L	*0,36*	*0,20*	*0,13*	*0,082*	*0,041*	*0,011*
	50	*E*	*0,26*	*0,13*	*0,07*	*0,035*	*0,012*	*0,003*
		L	*0,26*	*0,16*	*0,11*	*0,075*	*0,039*	*0,011*
	75	*E*	*0,17*	*0,10*	*0,06*	*0,031*	*0,011*	*0,003*
Mato denso (média de 2 m)	*25*	*E*	*0,40*	*0,18*	*0,09*	*0,040*	*0,013*	*0,003*
		L	*0,40*	*0,22*	*0,14*	*0,085*	*0,042*	*0,011*
	50	*E*	*0,34*	*0,16*	*0,085*	*0,038*	*0,012*	*0,003*
		L	*0,34*	*0,19*	*0,13*	*0,081*	*0,041*	*0,011*
	75	*E*	*0,28*	*0,14*	*0,08*	*0,036*	*0,012*	*0,003*
		L	*0,28*	*0,17*	*0,12*	*0,077*	*0,040*	*0,011*
Árvores com pouco mato rasteiro (média de 4 m)	*25*	*E*	*0,42*	*0,19*	*0,10*	*0,041*	*0,013*	*0,003*
		L	*0,42*	*0,23*	*0,14*	*0,087*	*0,042*	*0,011*
	50	*E*	*0,39*	*0,18*	*0,09*	*0,040*	*0,013*	*0,003*
		L	*0,39*	*0,21*	*0,14*	*0,085*	*0,042*	*0,011*
	75	*E*	*0,36*	*0,17*	*0,09*	*0,039*	*0,012*	*0,003*
		L	*0,36*	*0,20*	*0,13*	*0,083*	*0,041*	*0,011*

Segundo Varella et al. (2002), a cobertura vegetal é composta pelo dossel e pelos resíduos vegetais, o processo de decomposição e o crescimento das culturas oferecem contínuas modificações nesse parâmetro, a quantificação desse fator exerce grande influência para as pesquisas que estudam a infiltração e a erosão dos solos.

4.4.4. Fator Comprimento e Grau de Declividade (LS)

Os efeitos da topografia no processo erosivo estão relacionados ao comprimento da encosta (L) e ao gradiente de declividade (S). O comprimento da vertente L representa a distância entre o ponto onde se origina o escoamento superficial até o ponto onde a declividade decresce o suficiente para que ocorra a deposição de sedimentos ou onde a água entra no sistema de canais de drenagem naturais ou artificiais. O gradiente de declividade (S) refere-se à variação de declividade em intervalos de vertentes, sendo expresso em porcentagem (ZARONI, 2006). Para aplicação prática da equação, os fatores são unidos, recebendo uma nova nomenclatura: “Fator topográfico LS”.

O fator LS representa a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer, comparada às perdas de solo correspondentes em uma parcela unitária padrão de 25 metros de comprimento com 9% de declividade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A equação para o cálculo do fator LS, foi formulada através de experimentos formulados por Wischmeier e Smith, (1978), a Equação 5 descreve o cálculo.

$$L = \left(\frac{x}{22{,}13} \right)^{m} \qquad \textbf{(5)}$$

em que:

L é o fator de comprimento da vertente;

x é o comprimento da vertente;

m é um expoente calculado como definido por Wischmeier e Smith (1978) para intervalos de declividade, ou seja, para declividade > 5%, m igual a 0,5; para declividade < 5% e > 3%, m igual a 0,4; para declividade < 3% e > 1%, m igual 0,3 e para declividade < 1%, m igual a 0,2.

$$S = \frac{0{,}43 + 0{,}30s + 0{,}04s^2}{6{,}613} \quad \textbf{(6)}$$

em que:

S é o fator de declividade,

s é o gradiente em porcentagem (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

O fator LS é originado da combinação das Equações (5) e (6):

$$LS = \left(\frac{x}{22{,}13}\right)^m \cdot \left(0{,}065 + 0{,}045s + 0{,}0065s^2\right) \quad \textbf{(7)}$$

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o processo erosivo não ocorre de maneira uniforme por toda a encosta, e a taxa de perda de solo por unidade de área aumenta com o comprimento de rampa. Esses autores buscaram incorporar as relações entre comprimento de rampa e o aumento do processo erosivo através do expoente “m”, onde m é o expoente aplicável ao comprimento de rampa.

Estudo desenvolvido por Bertoni e Lombardi Neto (1985) no Brasil, a partir de dados obtidos em dez anos de pesquisa, foi formulado uma nova metodologia para o calculo do fator LS. Essa nova equação que permitiam calcular as perdas médias de solo para variados graus de declive e de comprimento de rampa, conforme as Equações 8 e 9.

$$T = 0{,}145 \cdot D^{1{,}18} \quad \textbf{(8)}$$

em que:

T = perda de solo em kg;

D = grau de declividade em percentagem

$$T = 0{,}166 \cdot C^{1{,}63} \quad \textbf{(9)}$$

em que:

T = perda de solo, em Tonelada por unidade de largura;

C = comprimento de rampa do terreno em metros.

A combinação das Equações 8 e 9, resultam em uma fórmula final para obtenção do cálculo do fator LS (Equação 10).

$$LS = 0{,}00984 \cdot C^{0{,}63} \cdot D^{1{,}18} \qquad \textbf{(10)}$$

Outra forma de se obter o fator LS, está relacionada com a geração de mapas de declividade e de comprimento de rampa, elaborados por meio de sistemas de informações geográficas (SIG). Mapas de declividade são gerados facilmente com auxilio dos SIG's, a partir de modelos digitais de elevação (MDE), no entanto mapas de comprimento de rampa exigem operações diferenciadas para serem obtidos (ROCHA et al., 1996).

4.4.5. Fator Prática Conservacionista (P)

O fator P representa a razão entre a perda de solo, proporcionada com certa prática conservacionista e aquela que ocorre em cultivos no sentido do declive máximo do terreno ou, mais conhecidos como, plantio morro abaixo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Os valores de P, para as principais práticas conservacionistas, são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de P (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Práticas Conservacionistas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2
Terraço	0,1

4.5. Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE

A MUSLE foi criada a partir da EUPS, sendo os fatores utilizados pelo modelo os mesmos da EUPS, com exceção do fator R (erosividade das chuvas), o qual foi substituído por fatores que contemplam os processos hidrológicos na bacia. A equação prevê o aporte de sedimentos oriundos de pequenas e médias bacias hidrográficas, em determinado exutório da bacia (CHAVES, 1991). Este pode ser um talvegue, um córrego, ou um reservatório (WILLIAMS, 1975). Ao contrario da EUPS, a MUSLE dispensa a utilização de relações empíricas adicionais de aporte de sedimentos, e é aplicável a eventos isolados, tornando sua previsão mais precisa (WILLIAMS e BERNDT, 1977).

No entanto para se trabalhar com a MUSLE, os fatores hidrológicos necessários à estimativa do aporte de sedimentos nem sempre são de simples obtenção, uma vez que para se chegar aos valores finais de cada um destes fatores, é necessário ter-se em mãos informações de outros fatores necessários para aplicação no cálculo do volume de runoff (Q) e da vazão de pico (qp), tais como informações sobre o manejo, permeabilidade e umidade do solo, tempo de pico do hidrograma, entre outros, além daquelas necessárias que são de uso comum na EUPS e na MUSLE (CHAVES, 1995).

5. Material e Métodos

5.1. Caracterização da área de estudo

A Sub-Bacia hidrográfica do Riacho Jacaré está localizada ao norte do Estado de Sergipe, sendo um afluente da margem direita do Rio São Francisco, ocupa uma área aproximada de 324,81 km^2 e compreende a região dos municípios de Cedro de São João, Malhada dos Bois em toda a sua expansão, e parte dos municípios de Propriá, Telha, Aquidabã, Muribeca e São Francisco (AGUIAR NETTO et al., 2008). A Figura 4 apresenta um esquema da localização da Sub-Bacia do Riacho Jacaré no Estado de Sergipe e a Figura 5 apresenta os municípios existentes na Sub-Bacia.

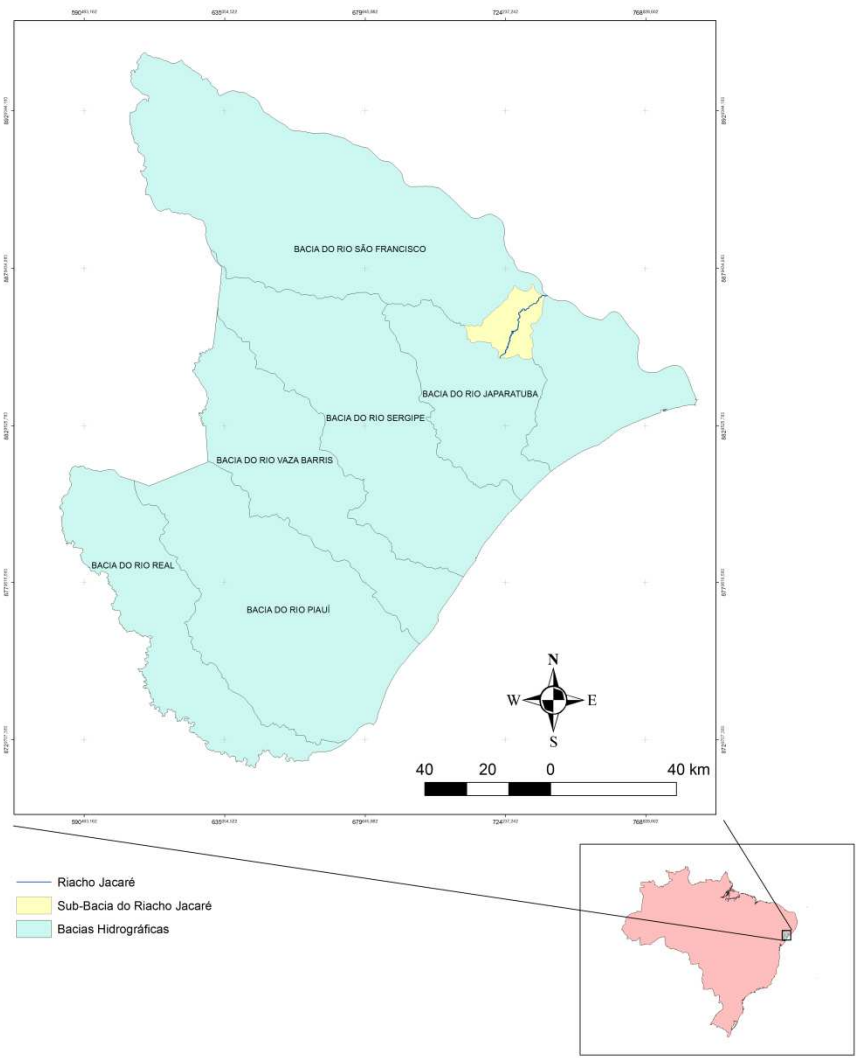


Figura 4 – Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe (SERGIPE, 2004).

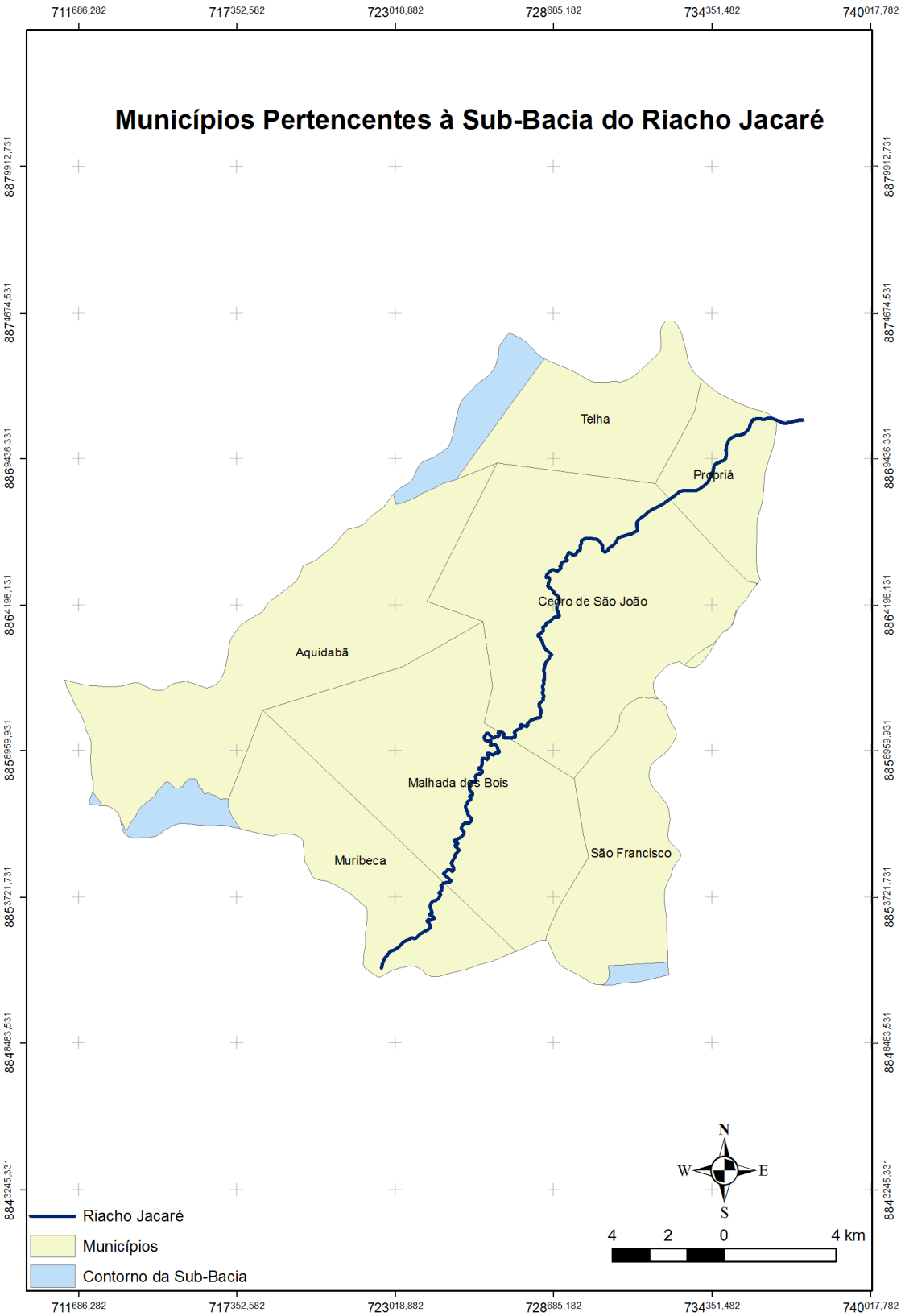


Figura 5 – Municípios da Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

O Riacho Jacaré possui uma extensão de 44 km. Este rio nasce próximo ao povoado de Lagoa Seca perto da cidade de Aquidabã, a uma altitude de 220 m. O sentido do escoamento do riacho é nordeste de sua nascente até a confluência com o rio São Francisco. As declividades são mais acentuadas, 60 m de desnível em 5 km, ocorrendo no seu trecho inicial. A Figura 6 demonstra a posição real da Sub-Bacia Hidrográfica através de imagens do Google Earth.

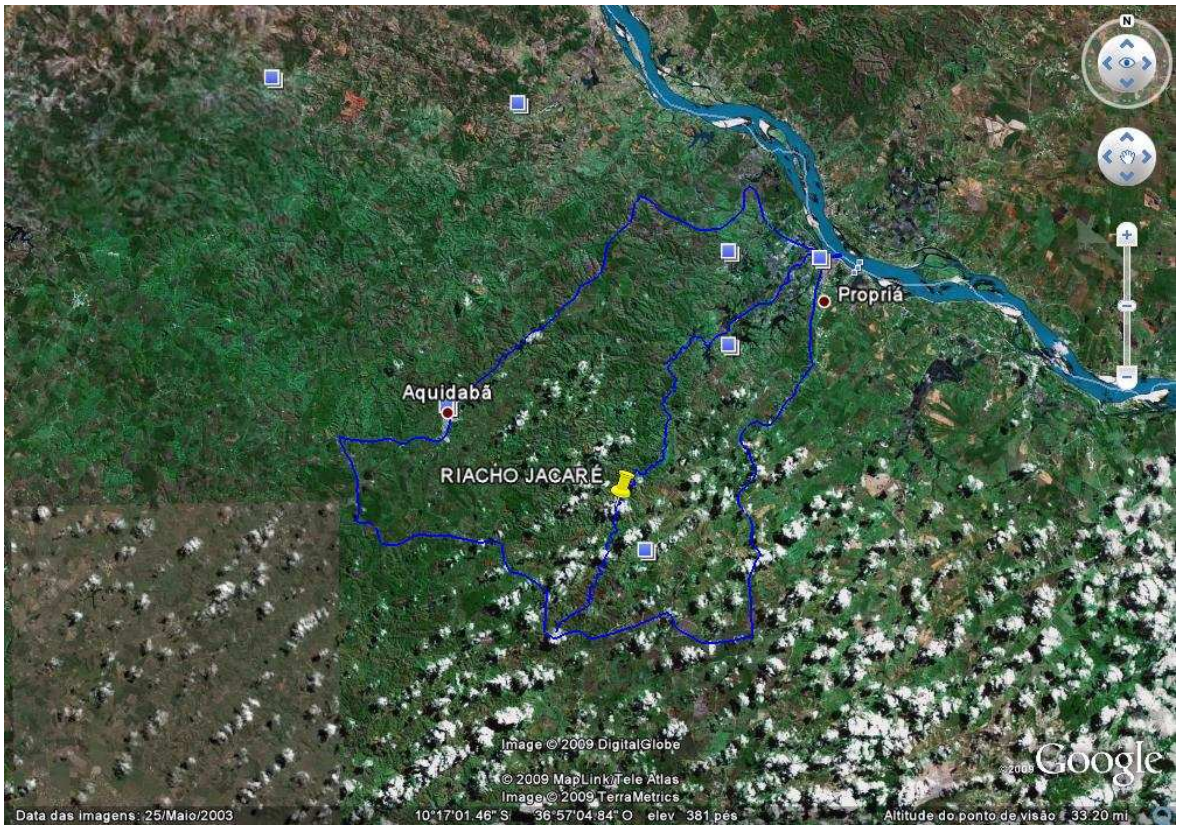


Figura 6 – Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Jacaré, com destaque para o Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

As nascentes do Riacho Jacaré apresentam pequenos poços com a presença de água corrente durante o todo ano, ainda que seu fluxo seja interrompido por causa de alguns barramentos nas propriedades adjacentes as nascentes. O Riacho Buri, é um contribuinte presente na margem direita do Riacho Jacaré, apresenta uma pequena extensão, no entanto oferece uma vazão constante em praticamente o ano todo. O afluente da margem esquerda do Riacho Jacaré é conhecido como Riacho Campo Grande, que apresenta alguns minadouros perenes, e algumas árvores de grande porte (AGUIAR NETTO et al., 2008). A Figura 7 apresenta os principais afluentes na Sub-Bacia.

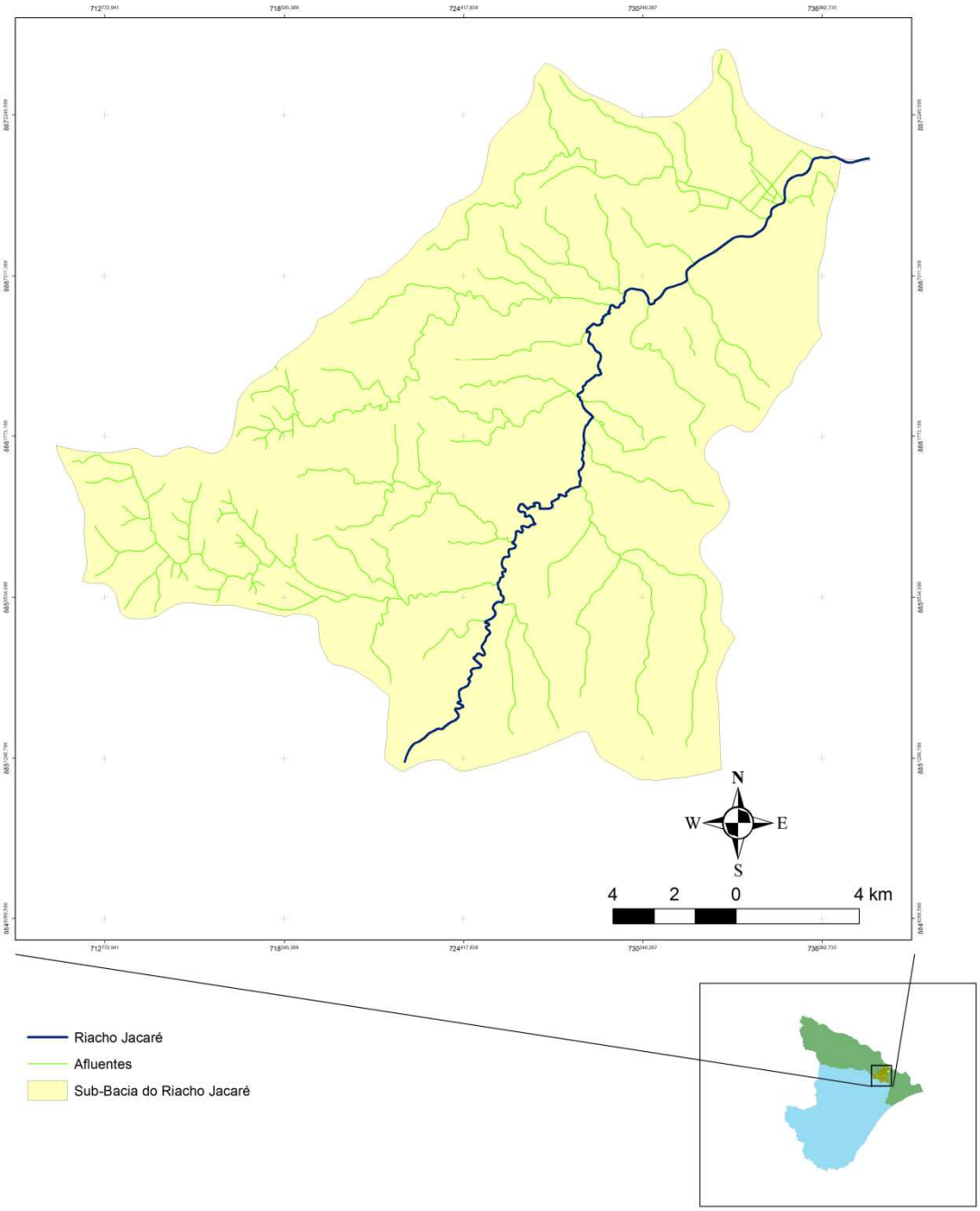


Figura 7 – Riacho Jacaré com seus principais afluentes (SERGIPE, 2004).

5.2. Clima

Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático presente da Sub-Bacia hidrográfica do Riacho Jacaré é denominado como Semi-Árido (BShi), isto é, apresenta estação seca no verão, possui uma evapotranspiração potencial média anual superior à sua precipitação média anual (Brasil. 1998). A precipitação da sub-bacia possui uma distribuição média anual que varia de 900 a 1100 mm (Figura 8).

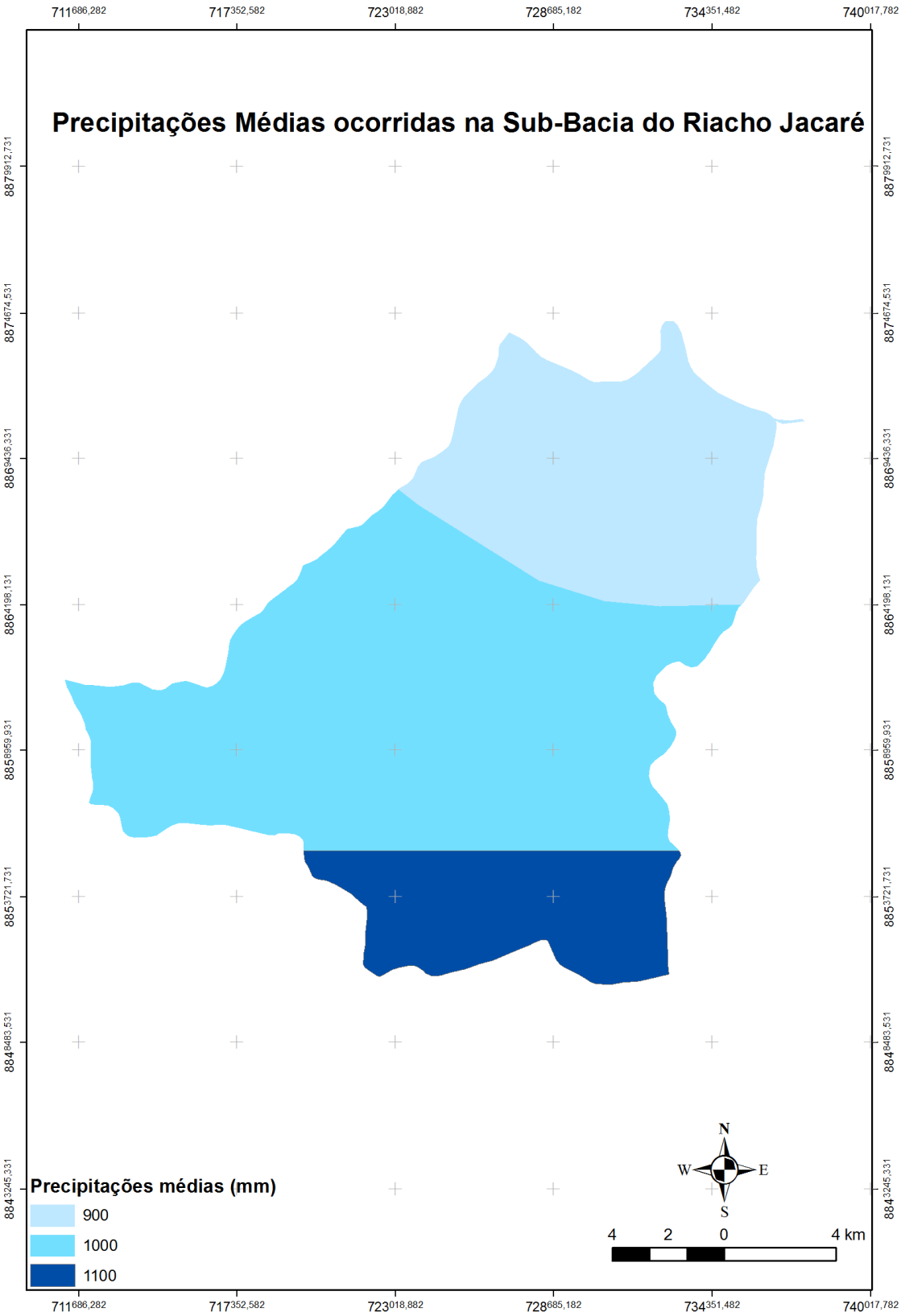


Figura 8 – Precipitações médias da Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

5.3. Solos

Na Sub-Bacia hidrográfica do Riacho Jacaré predominam os solos denominados Neossolos com suas variações com os Neossolos Litólicos, Neossolos Regolítico e os Neossolos Flúvicos, existem ainda solos da classe Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (Figura 9).

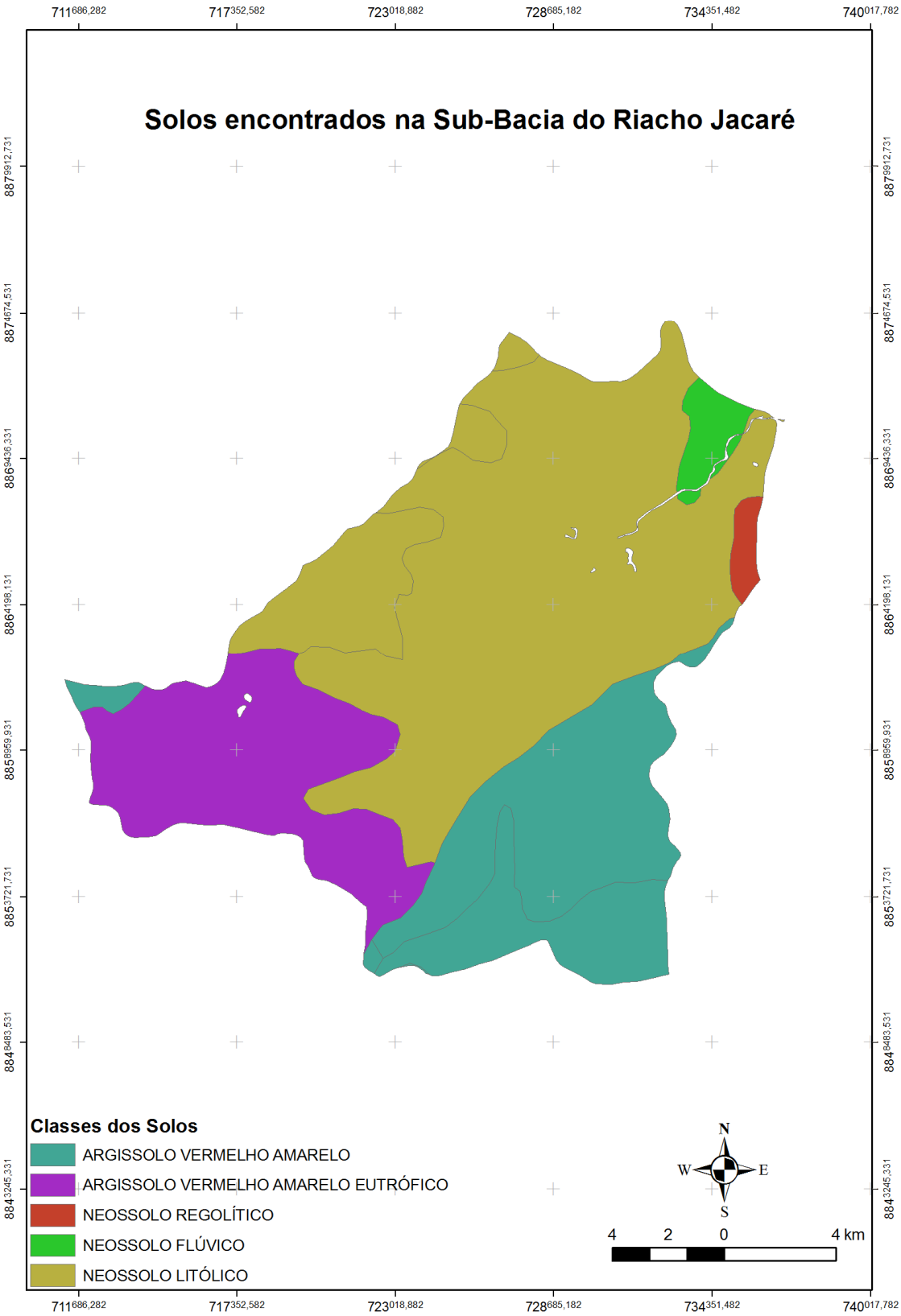


Figura 9 – Tipos de solos encontrados na Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

5.4 - Uso e Ocupação do Solo

O uso predominante do solo na Sub-Bacia, esta focado nas pastagens, que representam uma área de 187,83 km^2 (57,82% da área total), seguido pela presença de matas secundárias que ocupam uma área de 101,98 km^2 (31,47% da área total), conforme dados da Tabela 6 (SERGIPE, 2004).

Tabela 6 – Uso e Ocupação do Solo na Sub-Bacia do Riacho Jacaré.

Tipos de Uso e Ocupação	Área	
	km^2	%
Pastagem	**187,83**	**57,82**
Mata Secundária	**101,98**	**31,40**
Área Cultivada	**26,76**	**8,23**
Florestas	**7,21**	**2,22**
Cidades	**0,91**	**0,23**
Solo exposto	**0,12**	**0,03**
Total	**324,81**	**100**

A principal exploração agrícola na sub-bacia é o cultivo do arroz, abrangendo uma área de 1934 ha, em que os principais municípios produtores são: Propriá e Cedro de São João. As outras culturas produzidas na área são: milho (850 ha) e mandioca (200 ha). Abaixo é apresentado o mapa de uso e ocupação de solo (Figura 10) (SRH, 2002a,b).

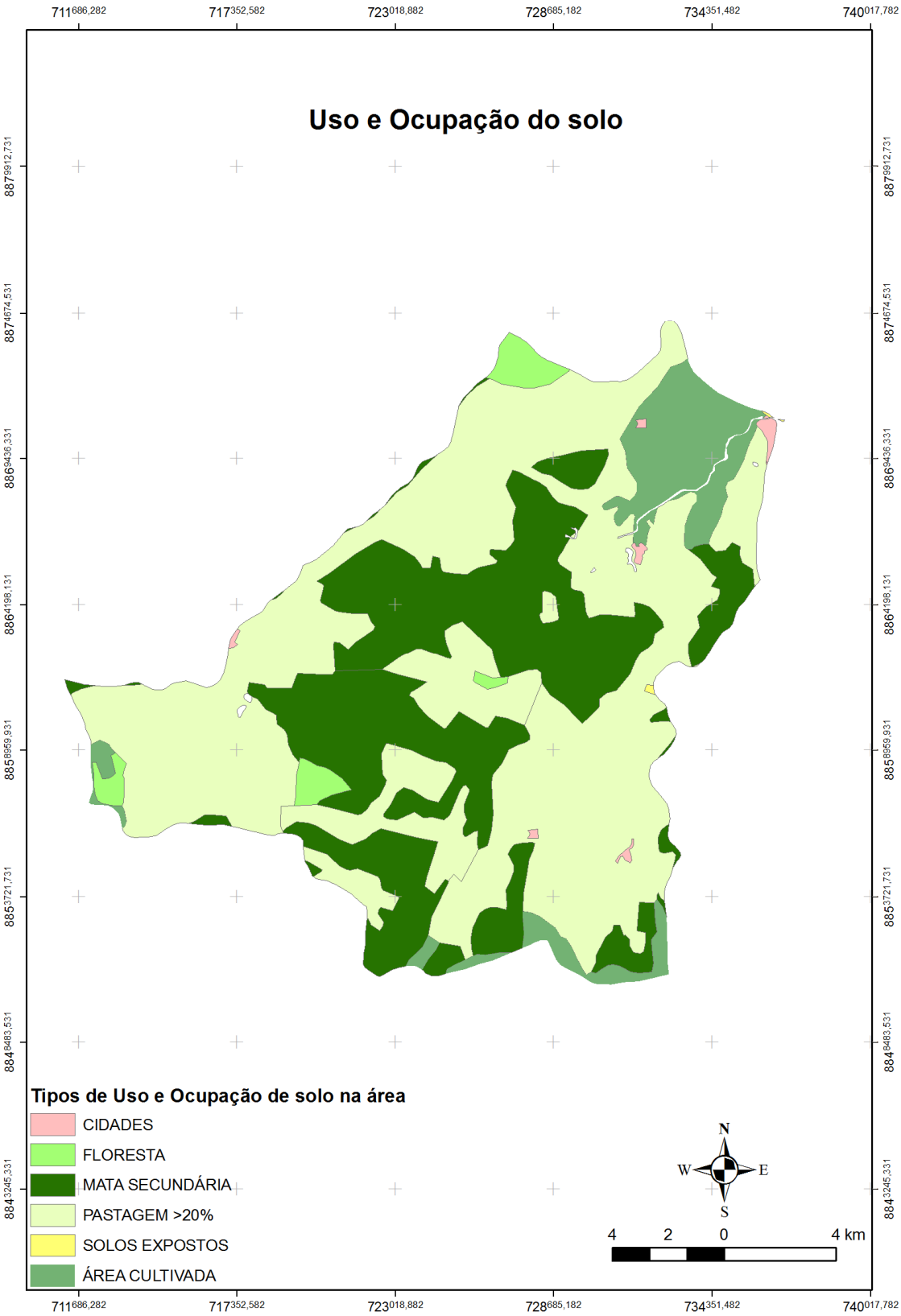


Figura 10 – Uso e Ocupação dos solos na Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

5.5. Hipsometria

O estudo da hipsometria busca avaliar as inter-relações existentes em determinadas unidades horizontais de espaço no tocante à sua distribuição em relação às cotas altitudinais, buscando indicar a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoípsa base. Os estudos hipsométricos permitem um melhor conhecimento do relevo, que por sua vez interfere decisivamente no processo erosivo, principalmente através do escoamento superficial da água (ROSA, 2003).

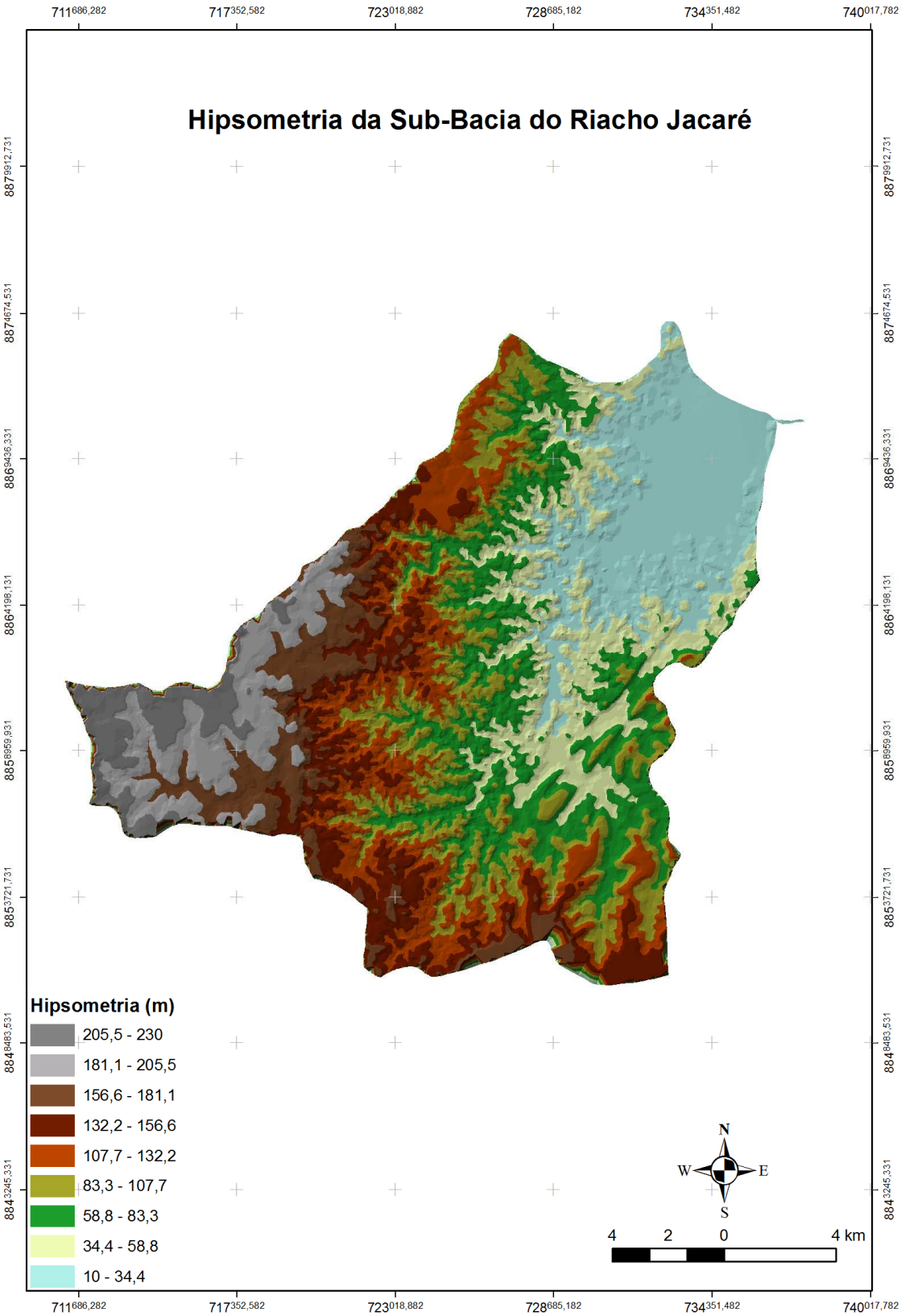


Figura 11 – Mapa hipsométrico da Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

Através da Figura 11 é possível concluir que as maiores variações altimétricas, ocorrem da esquerda para direita, isto é, no município de Aquidabã para o município de Propriá onde se encontra a foz do Riacho Jacaré, desembocando no Rio São Francisco.

5.6. Relevo

A Sub-Bacia hidrográfica do Riacho Jacaré é composta de três formas distintas de relevo. As formas colinosas apresentam características dominantes entre os municípios de Aquidabã, Muribeca e Malhada dos Bois, essas formas resultam-se das estruturas cristalina presentes na região. Já nos arredores da foz, as terras são consideradas mais baixas, apresentando vertentes suaves, isto é, possuem declividades amenas, os municípios que apresentam essas características são Propriá, Cedro e Telha, e na região leste, podem ser encontradas formas sedimentares caracterizadas pelos tabuleiros costeiros com propriedades sedimentares (AGUIAR NETTO et al., 2008).

O estudo relacionado com a declividade das bacias tem como principal finalidade, o entendimento relacionado com o controle das velocidades com que ocorre o escoamento superficial, afetando o tempo que a água proveniente das precipitações, leva pra concentrar-se nos leitos dos rios, formando a rede de drenagem da bacia. Em análises, zoneamentos e demais estudos de caráter ambiental, a referência ligada com a declividade, torna-se cada vez mais presente, devido a sua forte indicação das estruturas físicas dos terrenos com o ciclo hidrológico e os processos modeladores da terra (AGUIAR NETTO et al., 2008) (Figura 12).

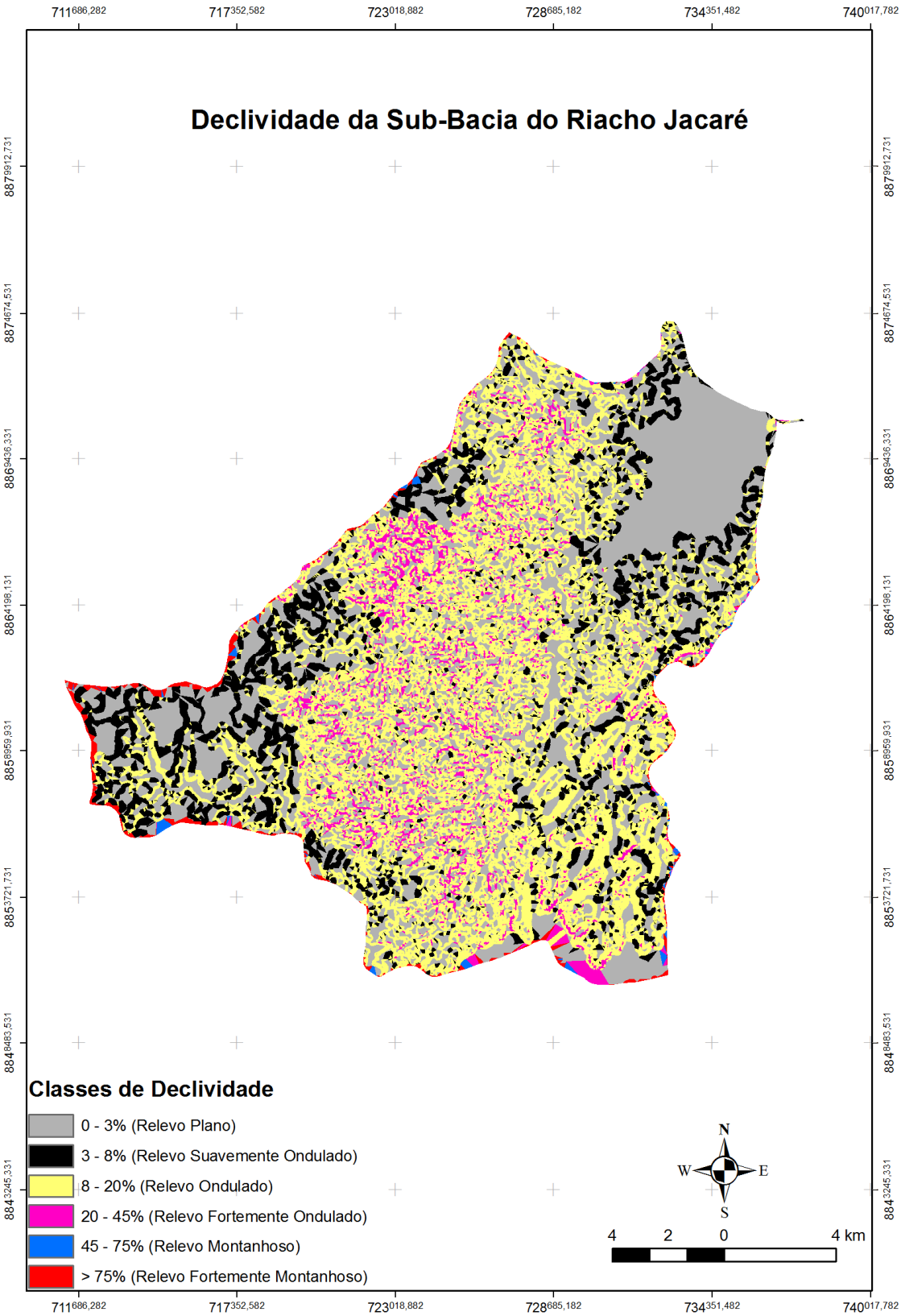


Figura 12 - Declividade da Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

5.7. Base Cartográfica

A base cartográfica utilizada no estudo, foi proveniente do Atlas Digital Sobre os Recursos Hídricos de Sergipe, elaborado no ano de 2004, com uma escala de 1:100.000, através da utilização da base cartográfica. O esquema abaixo (Figura 13) demonstra os parâmetros necessários para utilização da MUSLE, em que alguns desses fatores foram obtidos com o auxilio do SIG e os demais fatores foram obtidos com auxilio do programa ABC-Bahia.

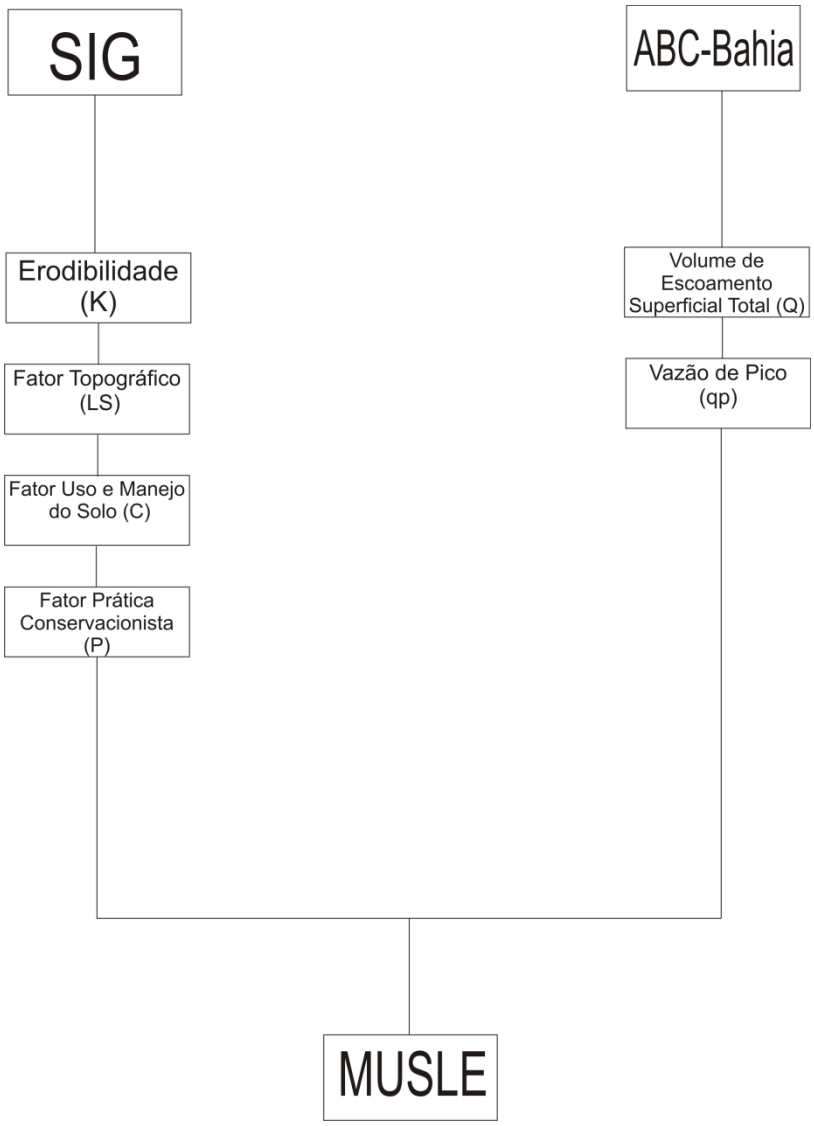


Figura 13 – Parâmetros necessários para o cálculo da produção de sedimentos pela MUSLE.

5.7.1 Erodibilidade (K)

Anteriormente foram descritos algumas maneiras para se determinar o Fator Erodibilidade (K), no entanto neste trabalho este fator não foi determinando em campo, e sim obtido através de resultados obtidos por Silva et. al. (2007), que determinou os índices de K através das classes de solos. A Tabela 7 mostra os valores encontrados pelo autor e utilizados no trabalho. A Figura 13 mostra os valores de K utilizados para a área de estudo.

Tabela 7 - Valores de erodibilidade para classes de solos (SILVA, 2007).

Classes de Solos	Fator K
Latossolo Vermelho	0,014
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,032
Hidromórfico indiscriminado	0,038
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,040
Argissolo Vermelho	0,040
Neossolo Litólico	0,040
Neossolo Regolítico	0,041
Neossolo Flúvico	0,042
Cambissolo	0,048

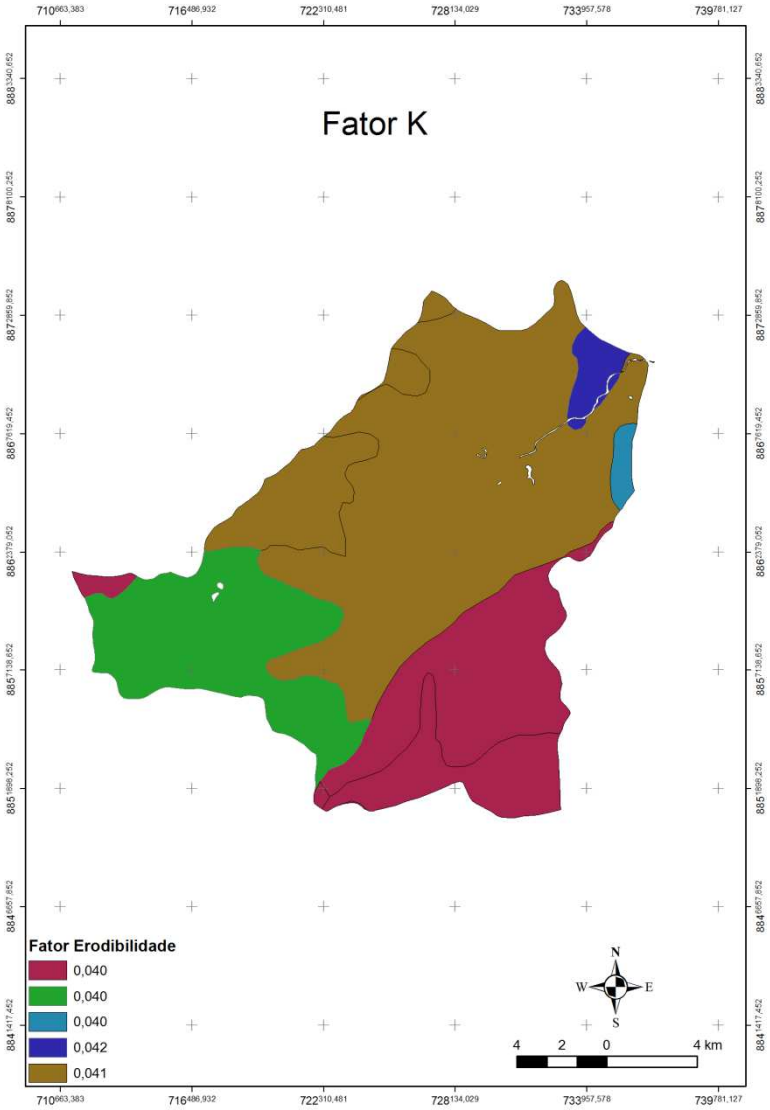


Figura 14 – Mapa dos tipos de solo, configurado para obtenção do Fator Erodibilidade (SERGIPE, 2004).

5.7.2. Fator Topográfico (LS)

Um dos fatores que apresentam maiores dificuldades de obtenção relaciona-se com o Fator Topográfico (LS), devido à falta de metodologias práticas que possibilitem a aquisição do mesmo. No entanto Zhang et al. (2008), formularam um plugin para o ArcGis, que teve como objetivo, possibilitar a obtenção desse fator, de uma maneira rápida e prática. Esse plugin foi denominado de ArcMusle, que tem como finalidade a obtenção do fator LS, e ainda possibilita o cálculo da produção de sedimentos formula pela equação da MUSLE, no entanto essa propriedade não foi utilizada.

Para obtenção do LS foi necessário foi utilizado o MDE da área de estudo e através do plugin foi obtido o mapa apresentado na Figura 15.

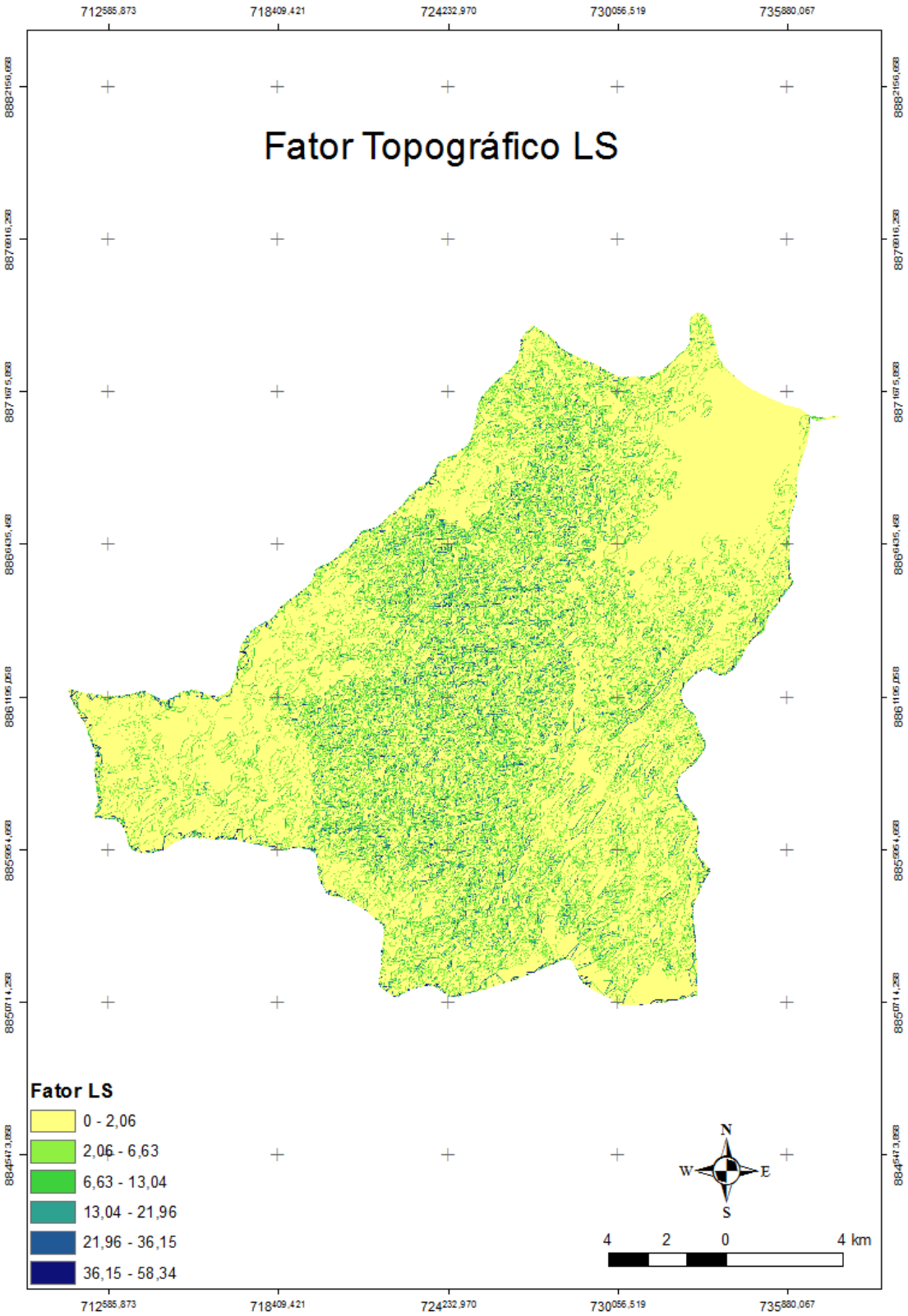


Figura 15 – Mapa do Fator Topográfico (LS) (SERGIPE, 2004).

5.7.3. Fator Uso e Manejo do Solo (C)

A obtenção desse fator baseou-se de forma semelhante ao fator K, em que foram utilizados dados de literatura para formulação desses índices. Na Tabela 8 são apresentados os índices e seus respectivos autores.

Tabela 8 – Valores utilizados para o fator Uso e Manejo do Solo (C).

Uso e Manejo do Solo (C)	Índices	Autores
Mata secundaria	0,03241	Silva (2007)
Solo exposto	1,000	Farinasso et al (2006)
Cidades	0,001	Farinasso et al (2006)
Área cultivada – cultura anual	0,20	Brito et al (1998)
Área cultivada - milho	0,025 a 0,156	De Maria e Lombardi Neto (1997) citado por Cecílio
Floresta	0,001	Gonçalves & Stape (2002)
Pastagem	0,01	Tomazoni et al (2005)

5.7.4. Práticas conservacionistas (P)

A obtenção desses índices baseou-se nas revisões de literatura realizadas. Na Tabela 9 são descritos os índices que foram baseados nos tipos de uso e ocupação do solo na área de estudo e os autores que propuseram os valores:

Tabela 9 – Valores utilizados para o fator Práticas Conservacionistas (P).

Práticas Conservacionistas (P)	Índices	Autores
Mata secundaria	0,5	Pellizzetti et al., 2009
Solo exposto	1,0	Chaves et al. (2004)
Cidades	1	Gonçalves e Stape (2002)
Área cultivada – cultura anual	0,62	Chaves et al. (2004)
Área cultivada - milho	0,25	Chaves et al. (2004)
Floresta	0,001	Gonçalves e Stape (2002)
Pastagem	0,02	Gonçalves e Stape (2002)

5.8. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE.

A Equação 11 descreve o modelo MUSLE segundo Williams (1975).

$$Y = 89{,}6 \cdot (Q \cdot qp)^{0{,}56} \cdot K \cdot C \cdot LS \cdot P \qquad \textbf{(11)}$$

em que:

Y é o aporte de sedimentos em um determinado exutório da bacia, após um evento de precipitação, em $ton.km^{-2}.a^{-1}$;

Q é o volume de escoamento superficial total (m^3);

qp é a vazão pico do hidrograma resultante ($m^3.s^{-1}$);

K é a erodibilidade do solo, (ton.h) $(Mj.mm)^{-1}$;

C é o fator uso e manejo das culturas;

LS é o fator topográfico (declividade e comprimento de vertente);

P é o fator prática conservacionista;

O volume de escoamento superficial é feito através do método da abstração conforme Equação 12 (USDA-SCS, 1973):

$$Q = \frac{(I - 0{,}2Sa)^2}{I + 0{,}8Sa} \qquad \textbf{(12)}$$

em que:

Q é o volume de escoamento superficial de um evento de precipitação (mm);

I é o volume de precipitação (mm);

Sa é a diferença potencial máxima entre a precipitação e o escoamento, a partir do início da precipitação.

O parâmetro Sa pode ser estimado empiricamente segundo Schwab et al. (1981), como:

$$Sa = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad \textbf{(13)}$$

em que:

CN é uma curva número entre 0 e 100 (quanto maior for o número, maior será o escoamento superficial). Esta curva é estimada de acordo com padrões de manejo, permeabilidade e umidade do solo.

O parâmetro vazão de pico (qp) pode ser estimado através do método do hidrograma unitário triangular hipotético (SCHWAB et al., 1981), conforme a Equação 12.

$$qp = 0{,}0021 \cdot Q \cdot \frac{A}{Tp} \qquad \textbf{(14)}$$

em que:

Q é o volume de escoamento superficial (mm);

A é área da bacia hidrográfica (ha);

Tp é o tempo de pico do hidrograma (hora);

O tempo de pico (Tp) pode ser estimado (SCHWAB et al., 1981) pela Equação 15.

$$Tp = \frac{D}{2} + \left(\frac{L}{3{,}28}\right)^{0{,}8} \cdot \frac{(Sa+1)^{0{,}7}}{1900} \cdot \sqrt{Y} \qquad \textbf{(15)}$$

em que:

D é a duração da precipitação excedente (hora);

L é o comprimento medido ao longo do talvegue da bacia (m);

Sa é o parâmetro de diferença do potencial máximo estimado pelo método da abstração;

Y é a declividade média do talvegue (%);

O tempo de concentração (t_c) é estimado pela fórmula de Kirpich, Equação 16 (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985):

$$tc = 0{,}002 \cdot L^{0,77} \cdot S^{0,385} \quad \textbf{(16)}$$

em que:

tc - tempo de concentração, em minutos;

L - comprimento medido ao longo do talvegue da bacia, em metros;

S - declividade média do talvegue da bacia, adimensional.

Viessman et al. (1975) citados por Genovez (1993), apresentam o método do SCS para se obter o hidrograma unitário sintético e citam que a duração da chuva para se obter o hidrograma unitário é dada pela Equação 17.

$$D = 0{,}133 \cdot t_c \quad \textbf{(17)}$$

em que:

D - duração da precipitação excedente, em horas;

t_c - tempo de concentração, em horas.

Existe ainda outra forma de obtenção dos fatores Q e qp, que é possível de ser obtido de maneira mais rápida e prática graças a ferramenta ABC-Bahia (OLIVEIRA et al. 2006), elaborada pela Escola Politécnica da USP. Esse programa foi a ferramenta utilizada neste trabalho.

Para calibração do programa foi utilizada uma série de 71 anos de precipitações máximas das localidades de Propriá e Aquidabã (Período de 1913-1984), esses postos foram utilizados, pois eram os únicos que possuíam uma série histórica longa e completa. A localização das estações pluviométricas está representada na Figura 17. Essa série foi utilizada no ABC-Bahia para gerar chuvas máximas com períodos distintos de duração e tempo de retorno.

Os dados referentes às estações pluviométricas no Estado de Sergipe são muito precários, não possuem uma série histórica longa para a maioria dos municípios e na maioria das vezes são incompletos, dificultando o estudo de determinadas situações.

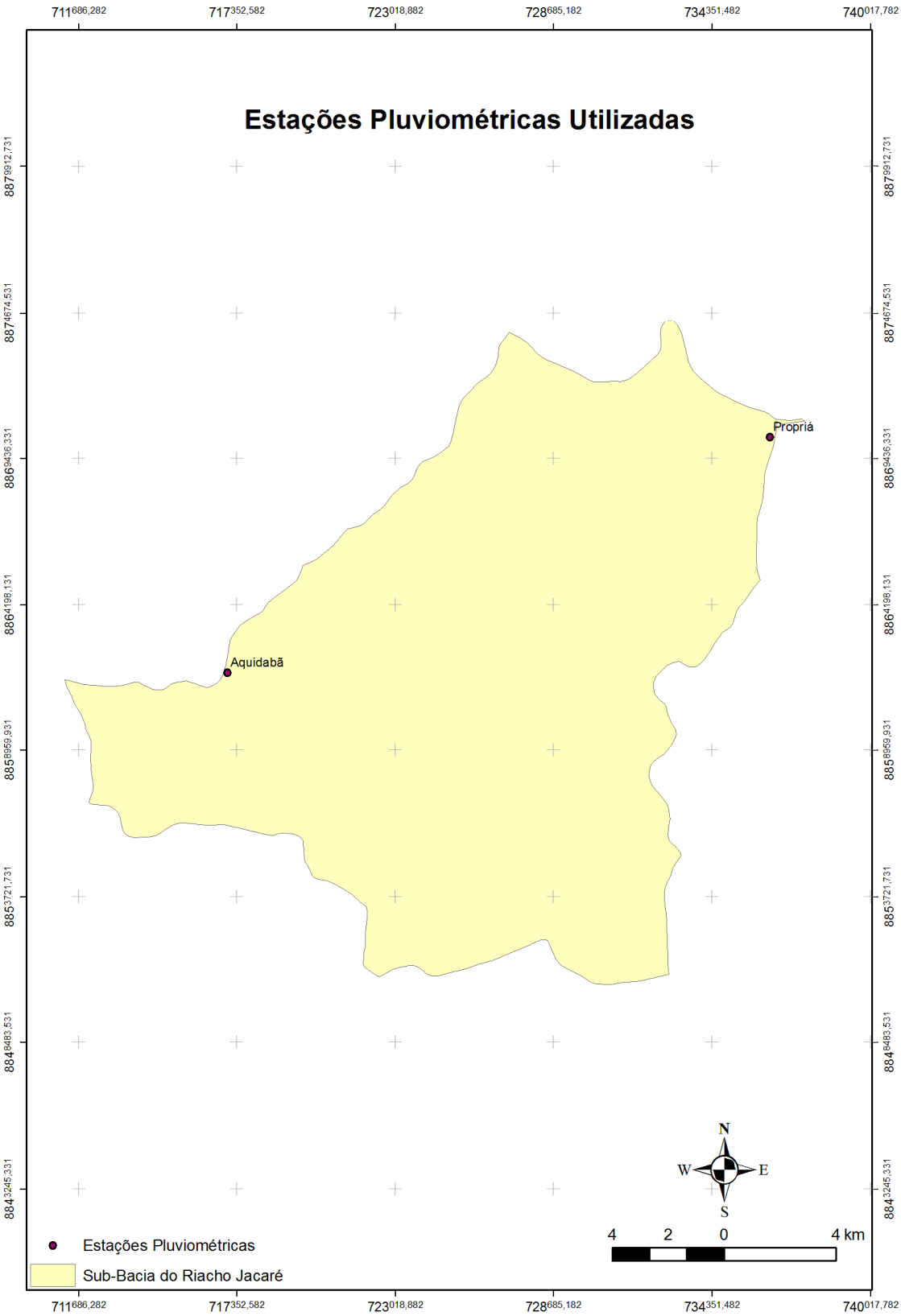


Figura 16- Estações Pluviométricas utilizadas (SERGIPE, 2004).

O Programa ABC-Bahia possibilita a obtenção de dados sobre a relação IDF das precipitações para localidades que não possuem esses resultados. É utilizado o Método de Chow-Gumbel para obtenção desses resultados, onde os dados de entradas para aquisição desses efeitos podem ser obtidos em postos pluviométricos da região analisada ou próximos da mesma.

Para obtenção do calculo da infiltração e consequentemente os resultados referentes ao escoamento superficial direto, o ABC-Bahia faz uso da metodologia proposta pelo USDA-SCS (1986) (United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service), esse modelo utilizado relaciona um conjunto de curvas referentes à precipitação total associada com a precipitação excedente.

Foram sugeridos pelo SCS *apud* Oliveira et al. (2006) 4 grupos hidrológicos para os tipos de solos, levando em consideração seu aspecto físico:

> Solo A: Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,0 m. O teor de húmus, muito baixo, não atingindo 1%.
>
> Solo B: Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir respectivamente a 1,2% e 1,5%. Não podem haver pedras e nem camadas argilosas até 1,0 m mas é quase sempre presente camada mais densificada do que a camada superficial.
>
> Solo C: Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30% mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas estes dois limites máximos podem ser 40% e 1,0 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.
>
> Solo D: Solos argilosos (de 30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade ou solos arenosos como o Grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

O CN possui alguns valores tabelados para a condição de umidade do solo (Condição II), no entanto dependendo de outras condições (I e III) é necessário que seja feita a correção do parâmetro. A seguir serão descritos as condições de umidade do solo sugeridas pelo SCS *apud* Oliveira et al. (2006):

> Condição I: Solos Secos – As chuvas nos últimos dias não ultrapassam 1 mm;
>
> Condição II: Solos Médios – Situação muito freqüente em épocas chuvosas, as chuvas nos últimos 5 dias totalizam entre 1 mm e 40 mm;
>
> Condição III: Solo Úmido (próximo da saturação) – As chuvas nos últimos dias foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

A Figura 17 apresenta os valores de CN em função da associação dos tipos de solo com o uso e ocupação do solo nas áreas analisadas.

Bacia	Uso Do Solo	Superfície	Solo A	Solo B	Solo C	Solo D
Urbana	Residencial	Lote até 500m² (65% impermeável)	77	85	90	92
		Lote até 1000m² (38% imperveável)	61	75	83	87
		Lote até 1500m² (30% impermeável)	57	72	81	86
	Estacionamentos	Pavimentados	98	98	98	98
		Cobertos (telhados)	98	98	98	98
	Ruas e Estradas	Pavimentadas, com guias e drenagens	98	98	98	98
		Com cascalho	76	85	89	91
		De terra	72	82	87	89
	Áreas comerciais	85% de impermeabilização	89	92	94	95
	Distritos industriais	72% de impermeabilização	81	88	91	93
	Espaços abertos, parques e jardins	Boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	80
		Condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	84
Rural	Terreno preparado para plantio (descoberto)	Plantio em linha reta	77	86	91	94
		Em fileiras retas	70	80	87	90
	Cultura em fileiras	Linha reta, condições ruins	72	81	88	91
		Linha reta, condições boas	67	78	85	89
		Curva de nível, condições ruins	70	79	84	88
		Curva de nível, condições boas	65	75	82	86
	Cultura de grãos	Linha reta, condições ruins	65	76	84	88
		Linha reta, condições boas	63	75	83	87
		Curva de nível, condições ruins	63	74	82	85
		Curva de nível, condições boas	61	73	81	84
	Plantações de legumes	Em curvas de nível	60	72	81	88
		Terraceado em nível	57	70	78	89
		Pobres	68	79	86	89
		Normais	49	69	79	94
		Boas	39	61	74	80
	Pastagens	Linha reta, pobres	68	79	86	89
		Linha reta, normais	49	69	79	84
		Linha reta, densos	39	61	74	80
		Curvas de nível, pobres	47	67	81	88
		Curvas de nível, normais	25	59	75	83
		Curvas de nível, densos	6	35	70	79
	Campos	Normais	30	58	71	78
		Esparsos, baixa transpiração	45	66	77	83
		Densos, alta transpiração	25	55	70	77
	Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
		Más	72	82	87	89
		Superfície dura	74	84	90	92
	Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
		Esparsas	46	68	78	84
		Densas, alta transpiração	26	52	62	69
		Normais	36	60	70	76
Conectada	Água	Lago, rio, represa	100	100	100	100

Figura 17 - Valores médios de CN em função do uso, da cobertura e do tipo hidrológico do solo (OLIVEIRA et al., 2006).

5.9. Características encontradas na Sub-Bacia do Riacho Jacaré

O programa ABC-Bahia necessita de alguns parâmetros relacionados com os tipos de solo, e o uso e ocupação dos mesmos para conseguir determinar o fator CN, escoamento superficial e a taxa de infiltração da bacia.

A Tabela 10 detalha a caracterização dos grupos hidrológicos e uso e ocupação encontrada na Sub-Bacia do Riacho Jacaré, esses parâmetros são essenciais para utilização do ABC-Bahia.

Tabela 10: Caracterização utilizada pelo ABC-Bahia.

Grupo Hidrológico	Uso e Ocupação do solo	Área total (km^2)	Porcentagem utilizada no ABC-Bahia
B	Mata secundária	1,15	11,92%
	Pastagem	2,15	22,30%
	Área cultivada	6,34	65,78%
C	Mata secundária	33,39	24,31%
	Solo exposto	0,08	0,05
	Cidades	0,27	0,20
	Área cultivada	6,58	4,80
	Pastagem	94,29	68,67%
	Florestas	2,69	1,97%
D	Mata secundária	67,71	37,78%
	Solo exposto	0,04	0,02%
	Cidades	0,64	0,35%
	Área cultivada	13,84	7,78%
	Pastagem	91,66	51,53%
	Floresta	4,52	2,54%

6. Resultados e Discussões

6.1. Simulação das Precipitações Máximas

O programa ABC-Bahia determina pluviogramas de diferentes durações (6, 12 e 24 h) com base na precipitação diária obtida do posto pluviométrico. A precipitação máxima (precipitação de projeto) pode ser calculada para determinados períodos de retornos. A Figura 18 apresenta a tela de entrada de dados e de resultados da análise da precipitação.

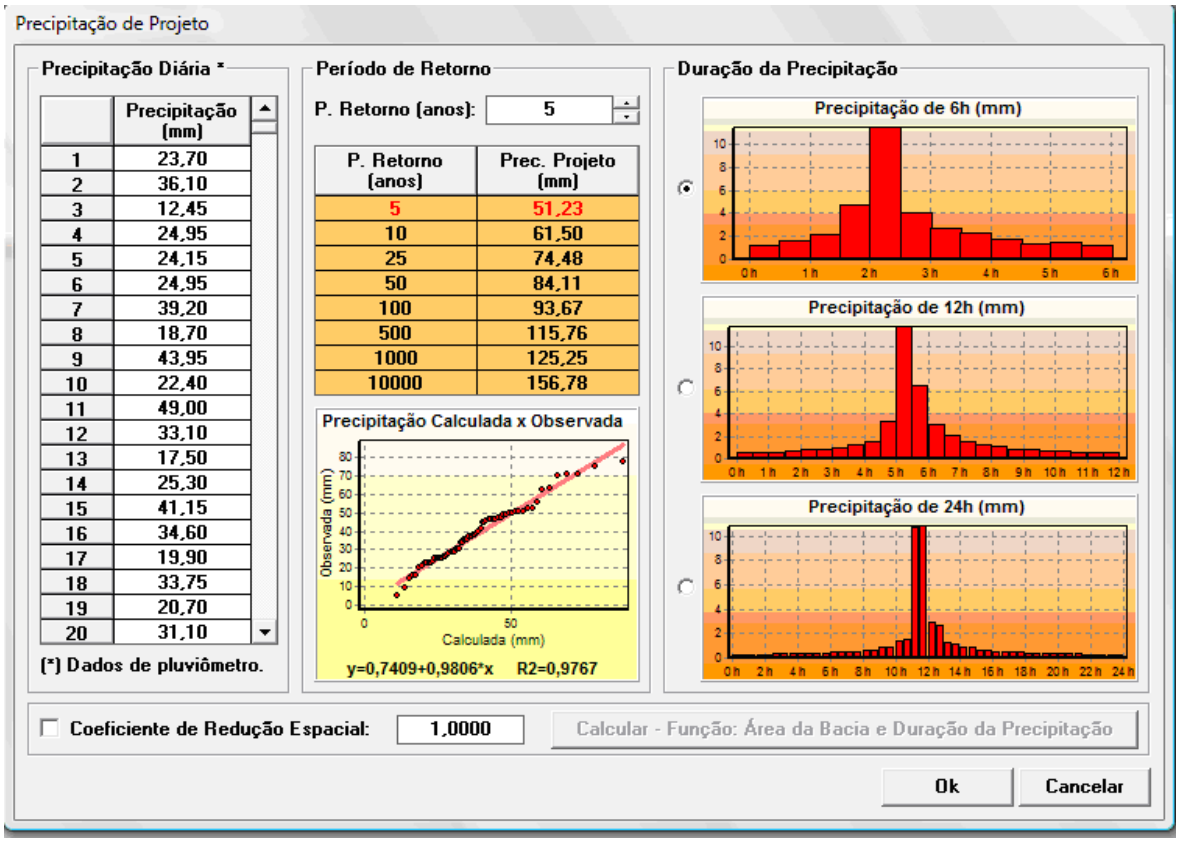


Figura 18 – Parâmetro precipitação de projeto do programa ABC-Bahia.

O estudo realizou simulações para diferentes tempos de duração das chuvas, obtendo com isso três gráficos distintos, com base nos tempos de distribuição das precipitações conforme as Figuras 19, 20 e 21.

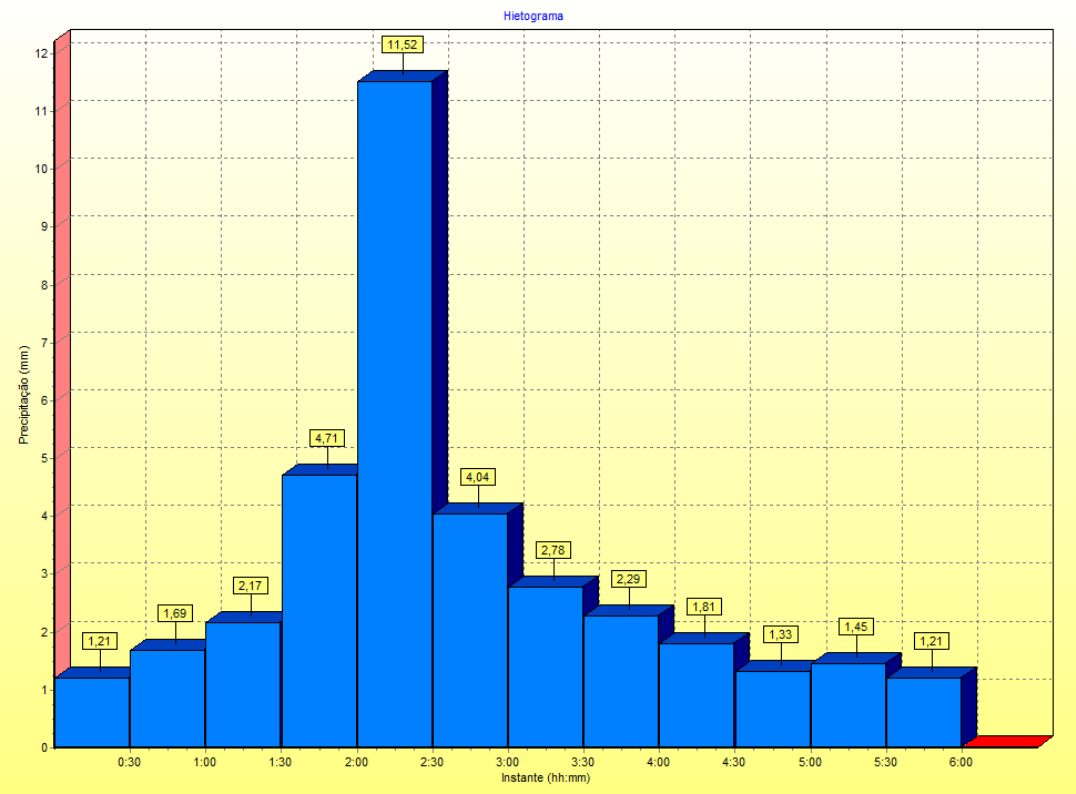


Figura 19 – Precipitações determinadas para chuvas com 6 horas de duração na Sub-Bacia do Riacho Jacaré.

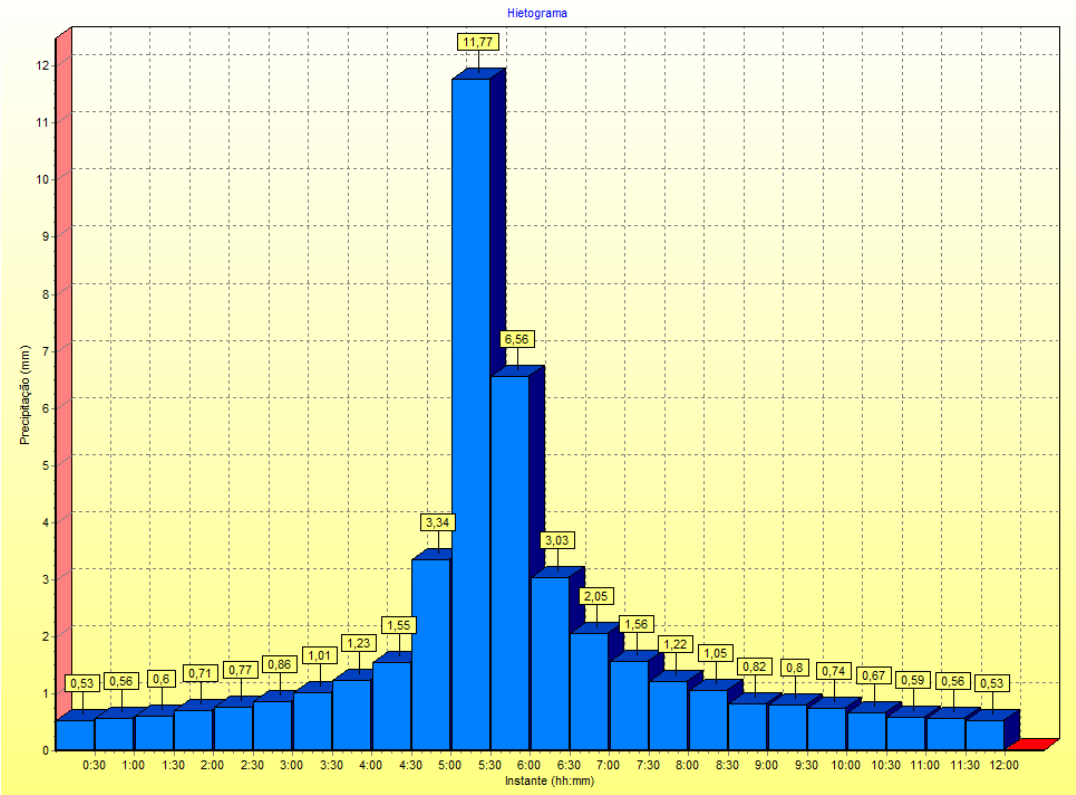


Figura 20 – Precipitações determinadas para chuvas com 12 horas de duração na Sub-Bacia do Riacho Jacaré.

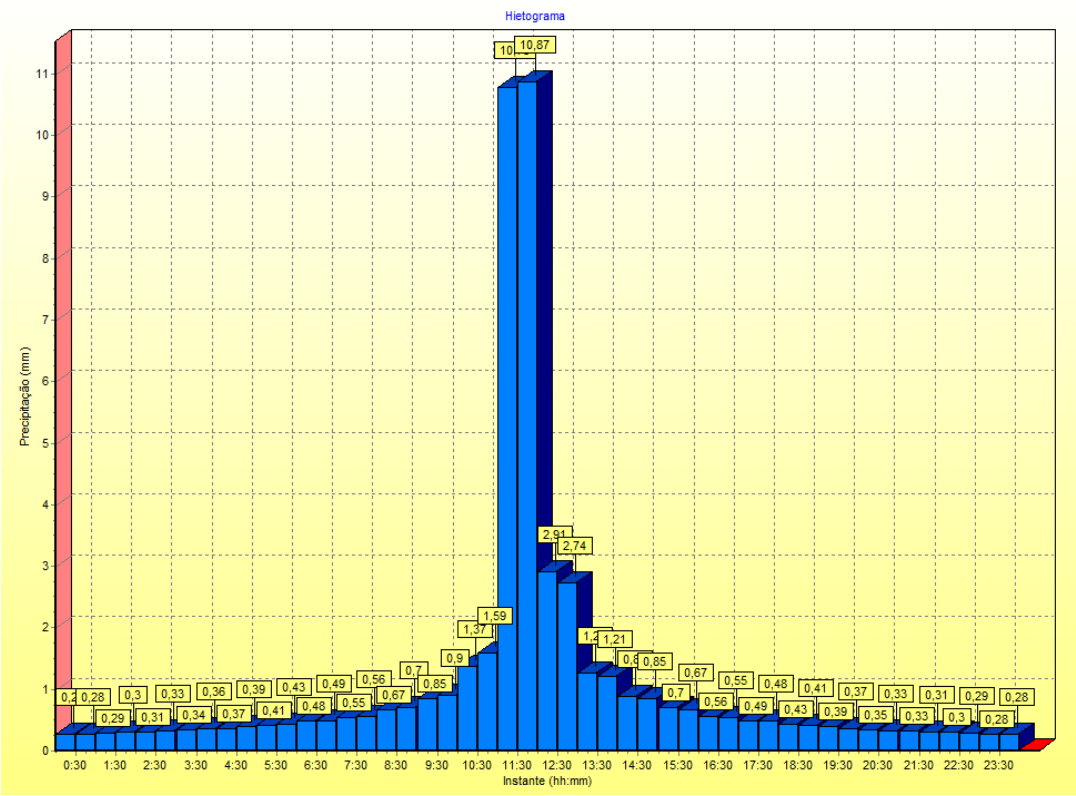


Figura 21 – Precipitações determinadas para chuvas com 24 horas de duração na Sub-Bacia do Riacho Jacaré.

As chuvas simuladas tiveram sua distribuição variando, de acordo, com o tempo de duração que foram pedidos, observando os gráficos, pode-se notar que as chuvas com menor duração são as que apresentam os maiores índices precipitados, sendo consideradas as mais graves sob o ponto de vista apenas deste aspecto.

6.2. Simulações das taxas de Infiltração x Precipitação

Para determinação do cálculo da infiltração e, conseqüentemente, do escoamento superficial direto, o modelo utilizado pelo ABC-Bahia baseou-se nos princípios desenvolvidos pelo USDA-SCS (*United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service*), devido à simplicidade, facilidade de aplicação e qualidade dos resultados fornecidos. Em que são geradas uma série de curvas associando a precipitação total com a precipitação excendente, obtendo com isso de maneira indireta as taxas de infiltrações (OLIVEIRA et al., 2006).

Através das associações das curvas associadas foi determinado o CN da localidade e após isso foram gerados gráficos que demonstram os resultados da infiltração das chuvas para as durações de 6,12 e 24 horas, e as taxas relacionadas ao escoamento superficial.

A Figura 19 mostra a tela do ABC-Bahia, em que são fornecidos os dados referentes aos grupos e uso e ocupação do solo presentes na região analisada. Com base nas associações das curvas propostas pelo SCS é determinado o fator adimensional CN juntamente com os valores das taxas de infiltração e escoamento superficial direto (Figuras 22, 23 e 24).

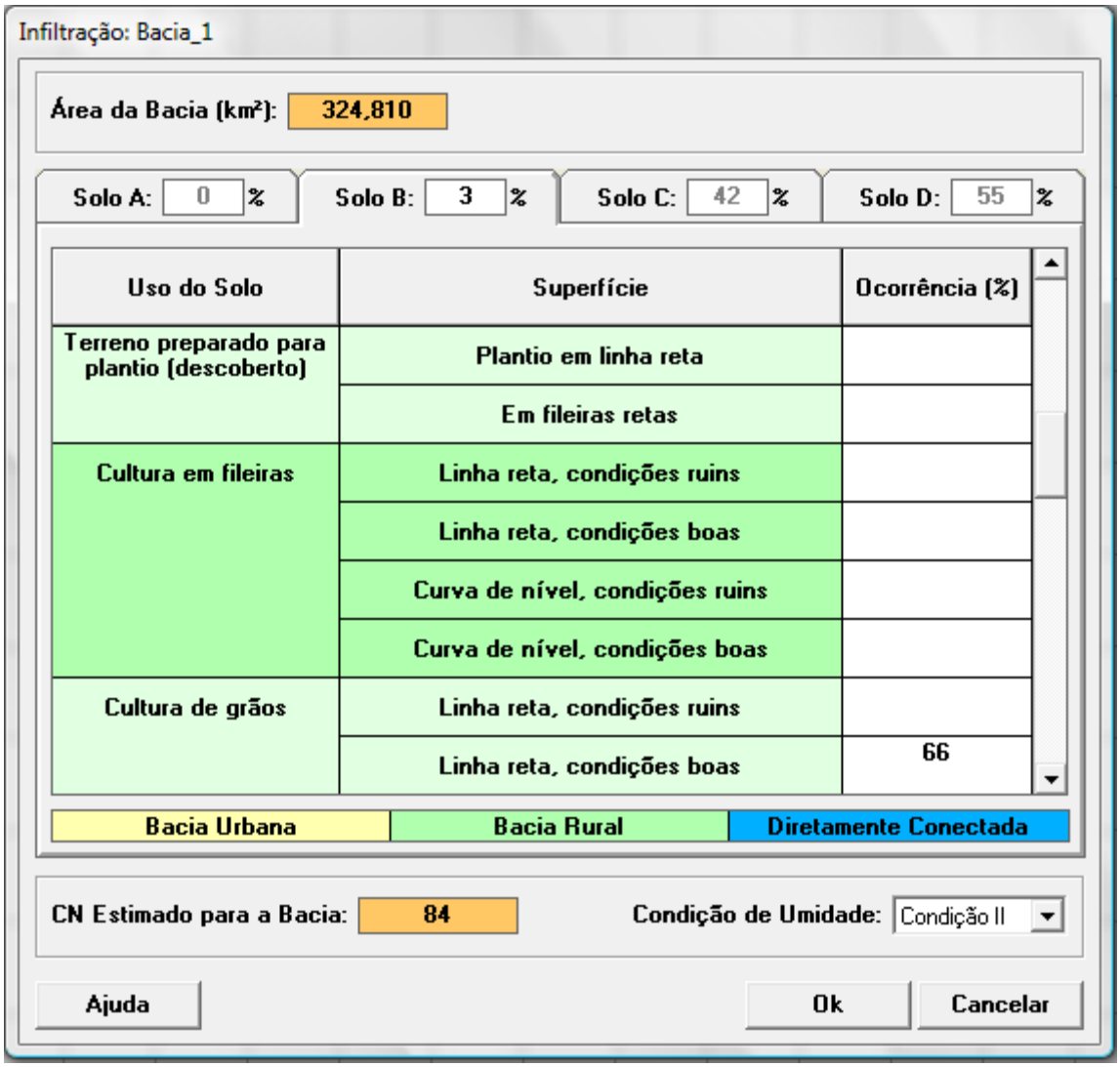
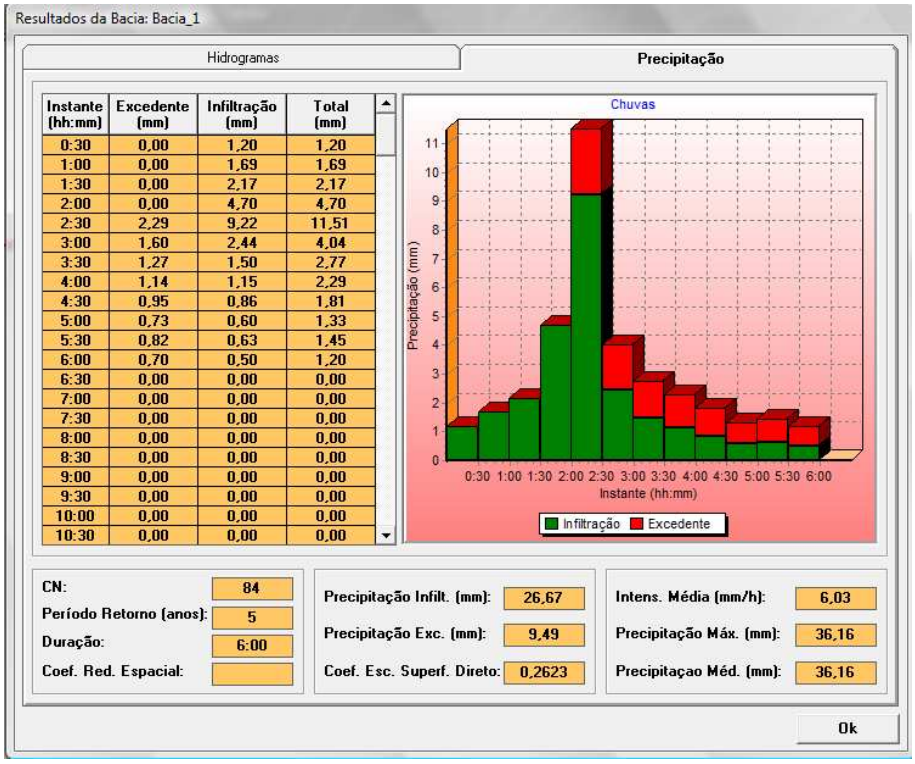
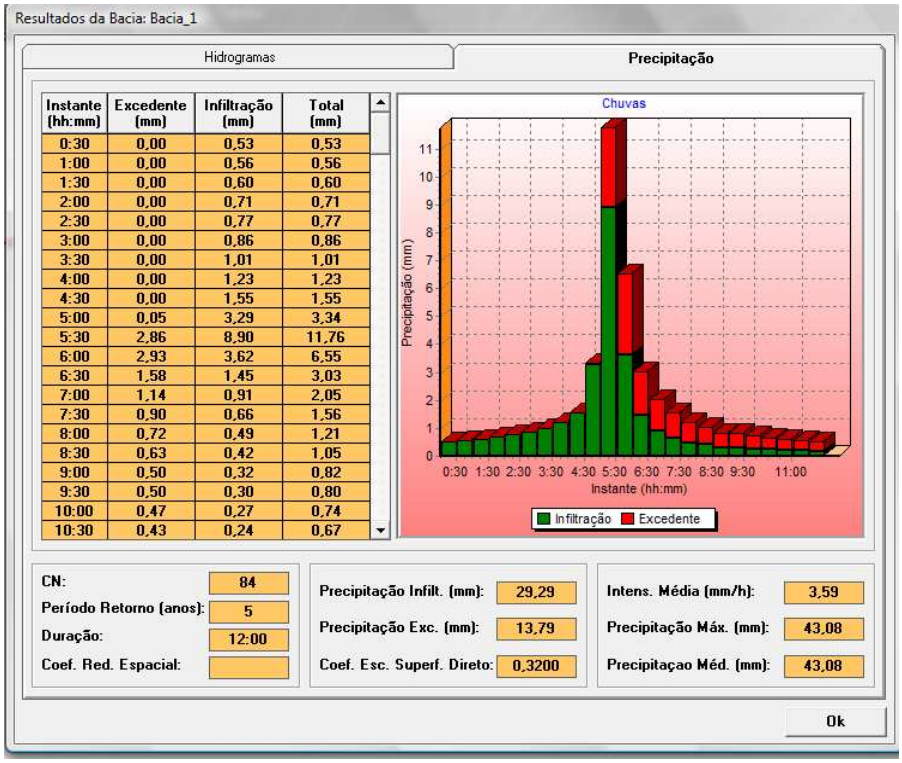


Figura 22 – Tela de determinação do CN pelo programa ABC-Bahia.



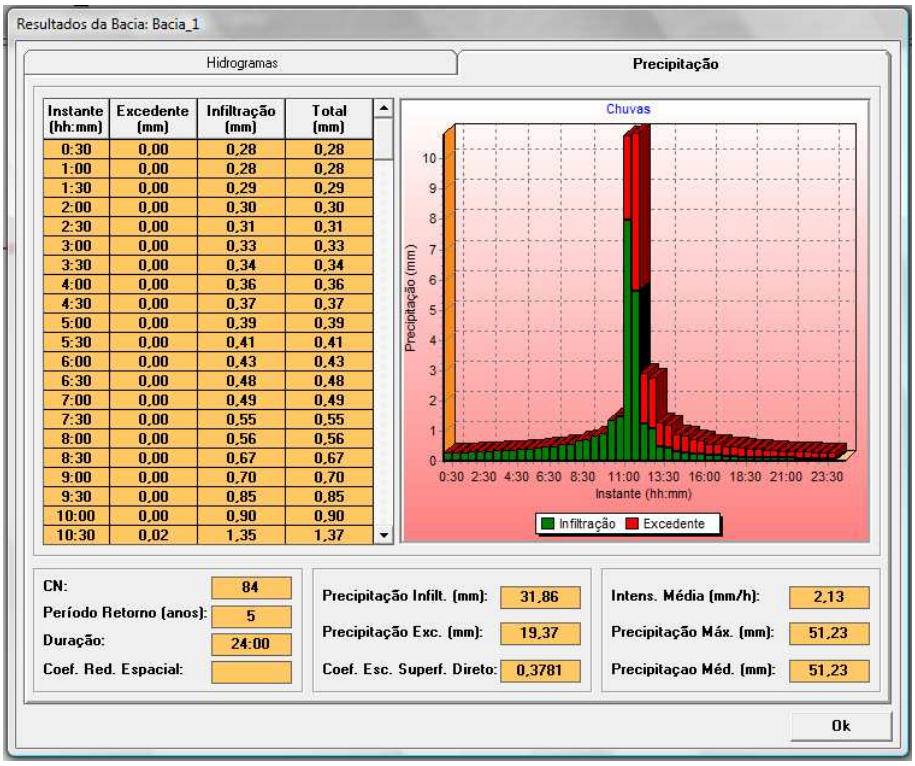
Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	1,20	1,20
1:00	0,00	1,69	1,69
1:30	0,00	2,17	2,17
2:00	0,00	4,70	4,70
2:30	2,29	9,22	11,51
3:00	1,60	2,44	4,04
3:30	1,27	1,50	2,77
4:00	1,14	1,15	2,29
4:30	0,95	0,86	1,81
5:00	0,73	0,60	1,33
5:30	0,82	0,63	1,45
6:00	0,70	0,50	1,20
6:30	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00

Figura 23 – Resultados das simulações obtida para o parâmetro infiltração x precipitação, para precipitações com 6 horas de duração.



Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	0,53	0,53
1:00	0,00	0,56	0,56
1:30	0,00	0,60	0,60
2:00	0,00	0,71	0,71
2:30	0,00	0,77	0,77
3:00	0,00	0,86	0,86
3:30	0,00	1,01	1,01
4:00	0,00	1,23	1,23
4:30	0,00	1,55	1,55
5:00	0,05	3,29	3,34
5:30	2,86	8,90	11,76
6:00	2,93	3,62	6,55
6:30	1,58	1,45	3,03
7:00	1,14	0,91	2,05
7:30	0,90	0,66	1,56
8:00	0,72	0,49	1,21
8:30	0,63	0,42	1,05
9:00	0,50	0,32	0,82
9:30	0,50	0,30	0,80
10:00	0,47	0,27	0,74
10:30	0,43	0,24	0,67

Figura 24 – Resultados das simulações obtida para o parâmetro infiltração x precipitação, para precipitações com 12 horas de duração.



Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	0,28	0,28
1:00	0,00	0,28	0,28
1:30	0,00	0,29	0,29
2:00	0,00	0,30	0,30
2:30	0,00	0,31	0,31
3:00	0,00	0,33	0,33
3:30	0,00	0,34	0,34
4:00	0,00	0,36	0,36
4:30	0,00	0,37	0,37
5:00	0,00	0,39	0,39
5:30	0,00	0,41	0,41
6:00	0,00	0,43	0,43
6:30	0,00	0,48	0,48
7:00	0,00	0,49	0,49
7:30	0,00	0,55	0,55
8:00	0,00	0,56	0,56
8:30	0,00	0,67	0,67
9:00	0,00	0,70	0,70
9:30	0,00	0,85	0,85
10:00	0,00	0,90	0,90
10:30	0,02	1,35	1,37

Figura 25 – Resultados das simulações obtida para o parâmetro infiltração x precipitação, para precipitações com 24 horas de duração.

Através da associação foi obtido um CN de 84, para as três durações de chuvas, visto que as durações não interferem no tipo e no uso e ocupação dos solos. Observando os três gráficos, pode-se notar que tanto as taxas de infiltração quanto as de precipitações excedentes, tendem a crescer com as diferentes durações das chuvas, visto que a distribuição ocorre de uma maneira mais homogênea, de acordo com o aumento das durações.

Os resultados da associação precipitação x infiltração (Figuras 22, 23 e 24), demonstram que os coeficientes de escoamento superficial direto, aumentaram de acordo com a duração das precipitações simuladas. Chuvas calculadas de maior duração geram maiores volumes de precipitação excedente, de infiltração, e de precipitação máxima, pois a menor intensidade média da precipitação satura paulatinamente o solo de modo que o mesmo consiga absorver maiores quantidades de água e formar maiores escoamentos superficiais.

6.3. Geração dos Hidrogramas

O resultado final da simulação das precipitações pelo programa ABC-Bahia, é a geração dos hidrogramas obtidos das chuvas simuladas, levando em consideração as características da bacia, são obtidas as vazões de pico e o volume de escoamento superficial total conforme as Figuras 26, 27 e 28.

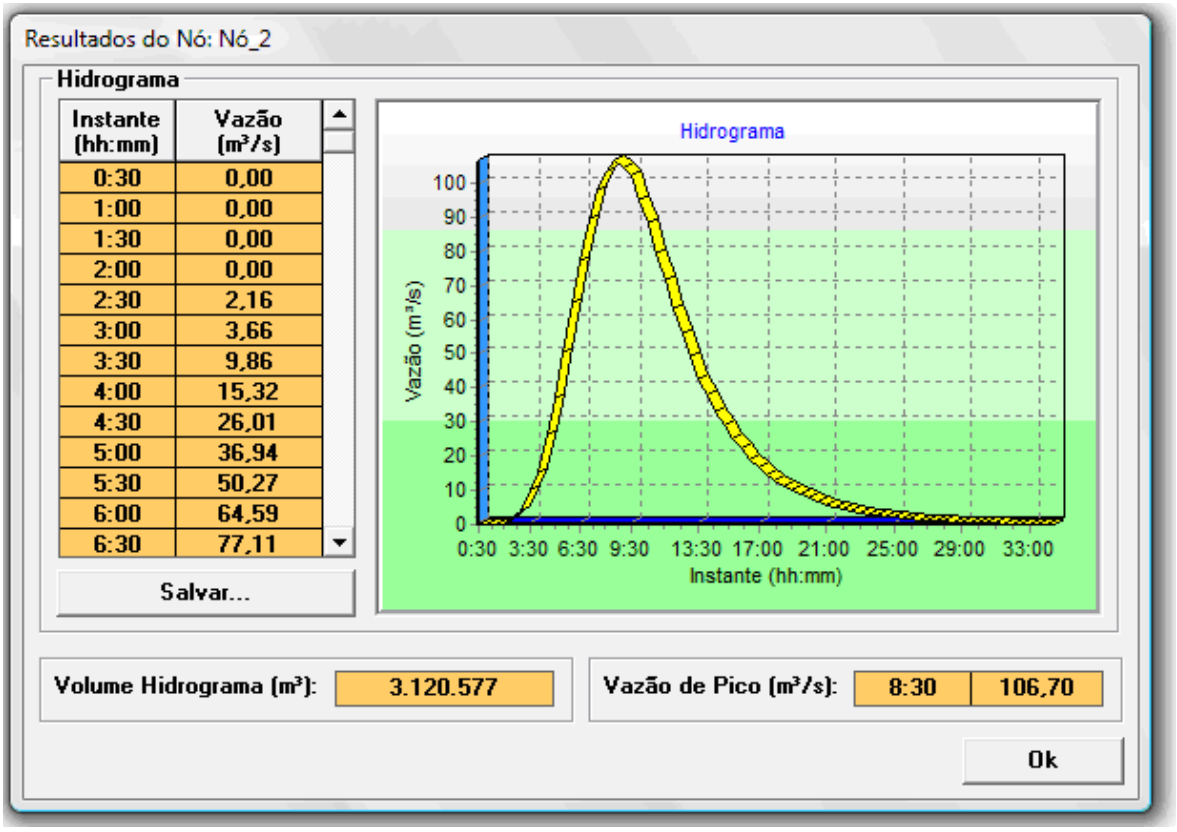


Figura 26 – Hidrograma produzidos para precipitações com duração de 6 horas.

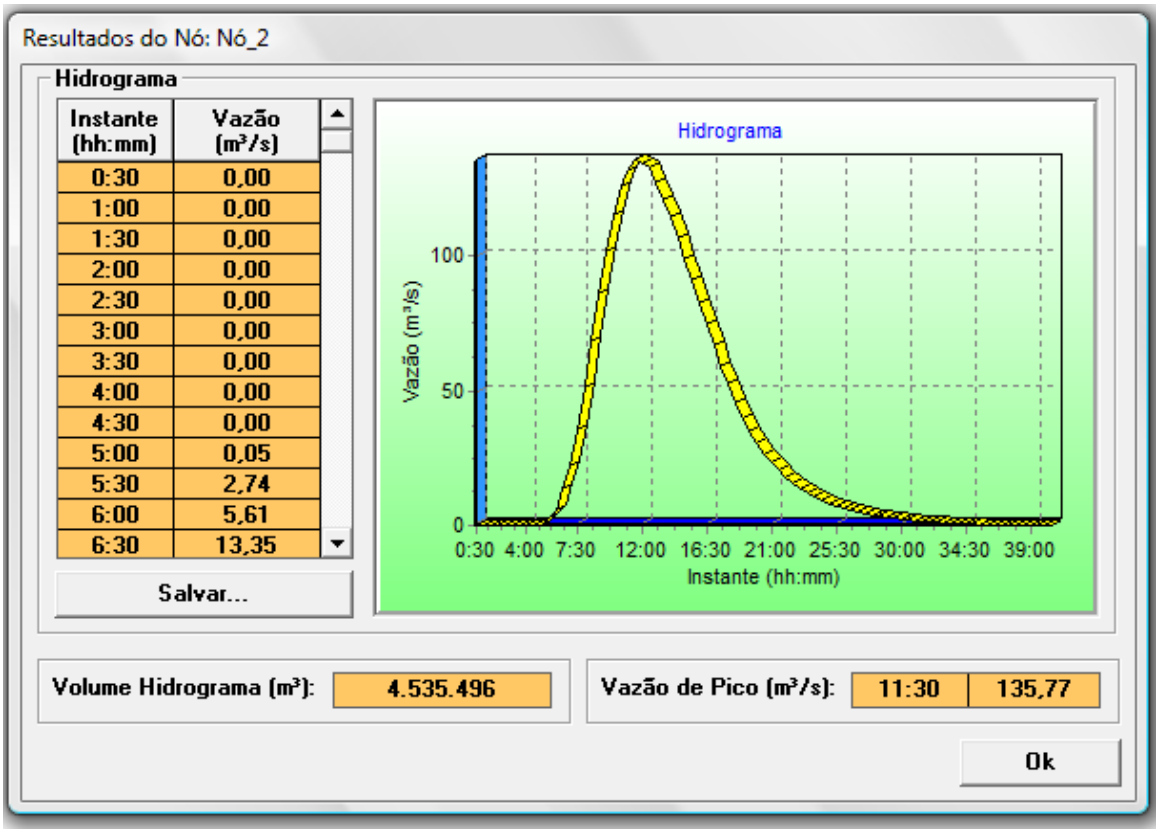


Figura 27 – Hidrograma produzidos para precipitações com duração de 12 horas.

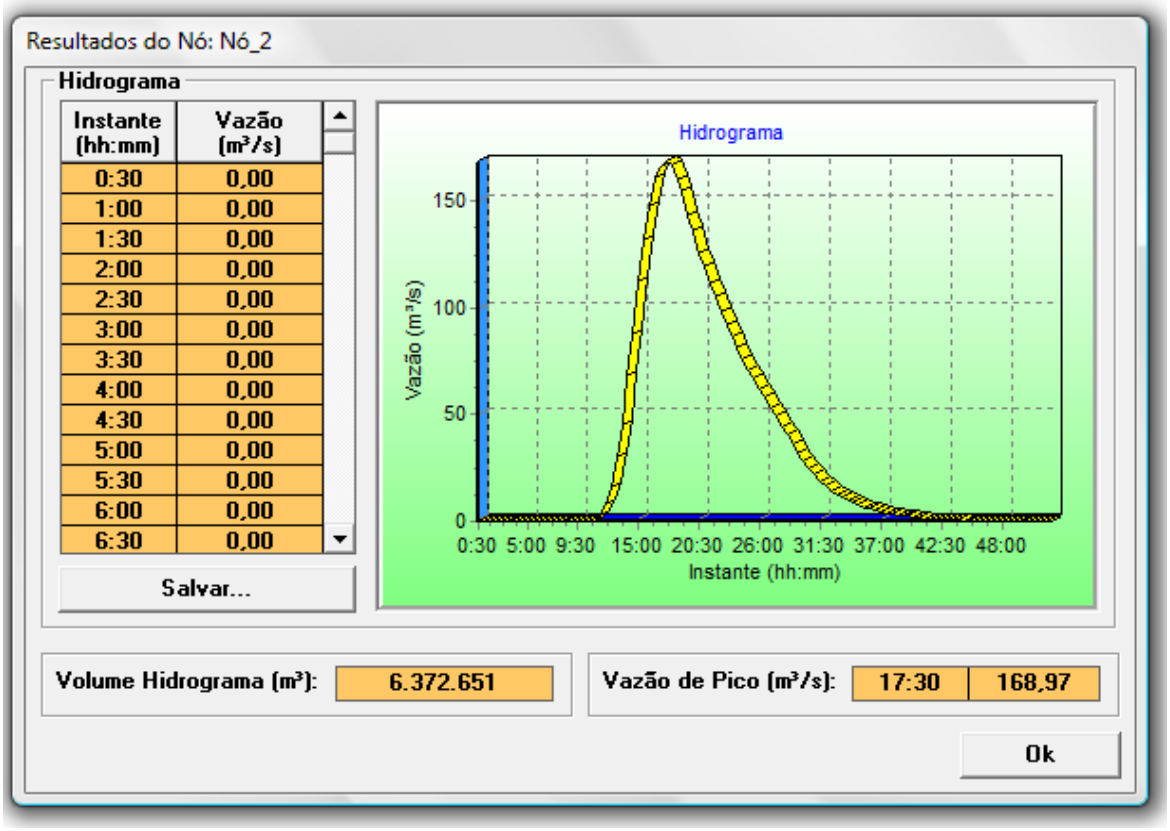


Figura 28 – Hidrograma produzidos para precipitações com duração de 24 horas.

Através da obtenção dos dados alcançados através do módulo de precipitação, no módulo solo e, com os dados do comprimento do canal principal, velocidade do canal, porcentagem da área impermeável da bacia e porcentagem da área diretamente conectada ao canal, obtém-se o hidrograma de projeto. Esses valores encontrados de vazão serão utilizados no calculo da produção de sedimentos, descritos a seguir.

6.4. Produção de Sedimentos obtidos pela MUSLE

A produção de sedimentos através da MUSLE, foi obtida para a sub-bacia do Riacho Jacaré, foi obtida através da Equação 11 (citada anteriormente em Materiais e Método).

Todos os fatores necessários para o cálculo da produção de sedimentos, foram descritos no item 7 (Materiais e Método), e a simulação foi realizada para chuvas máximas com um período de retorno de 5 anos.

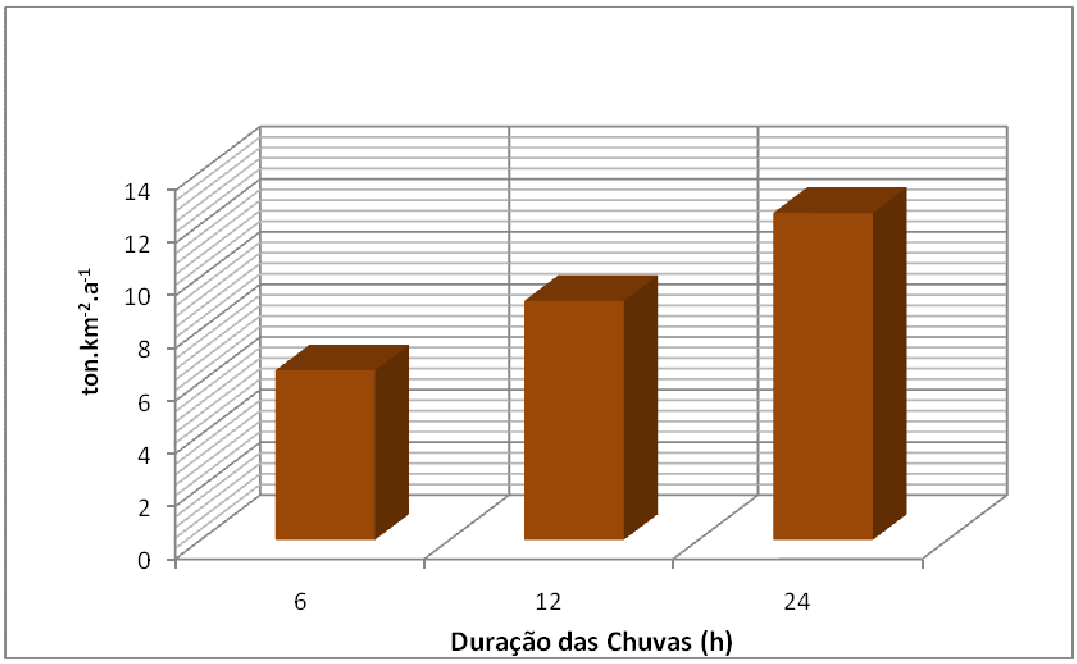


Figura 29 – Produção de sedimentos gerada com as precipitações simuladas no ABC-Bahia para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré.

A produção de sedimentos obtidos para a sub-bacia hidrográfica do Riacho Jacaré é considerada baixa de acordo com Casagrande (2004), que aplicou uma metodologia semelhante em uma bacia hidrográfica de 1145,7 km^2 no Estado do Rio

Grande do Sul, e obteve valores de 63.177,71 $ton.km^{-2}.ano^{-1}$, sendo considerados pelo autor como valores médios.

Carvalho (2008) descreve cinco níveis relacionados com a produção de sedimentos para o Brasil, que correspondem a intervalos estimados em $ton.km^{-2}.a^{-1}$, são eles: áreas com muito baixa produção de sedimentos produzindo até 5 $ton.km^{-2}.a^{-1}$, áreas com baixa produção de sedimentos de 5 a 70 $ton.km^{-2}.a^{-1}$, áreas moderadas de 70 a 200 $ton.km^{-2}.a^{-1}$, áreas de alta produção 200 a 400 $ton.km^{-2}.a^{-1}$ e as áreas denominadas como muito alta produzindo valores acima de 400 $ton.km^{-2}.a^{-1}$.

A produção de sedimentos como um todo na bacia é baixa, isto acontece devido ao cultivo de arroz, que é uma cultura submersa por longos períodos no ano, devido a isso, espera-se que o transporte de sedimentos não seja muito elevado nesta região. Outro fator que propicia a baixa produção de sedimentos está relacionado com as baixas declividades da região.

No entanto é possível observar através das avaliações dos gráficos obtidos, que de acordo com a duração das chuvas intensas, a produção de sedimentos tende a aumentar, já que a taxa de infiltração das chuvas, é reduzida com o passar do tempo, devido à saturação dos solos, que propiciam o escoamento superficial.

Outro fator que favorece a produção de sedimentos na Sub-Bacia, esta relacionado com a ocupação do solo. Solos que apresentam uma quantidade reduzida de mata ciliar ou secundária tendem a ser mais afetados pelas precipitações intensas ocorridas. Na área analisada é encontrada uma grande área com a presença de pastagem, que não proporciona um controle eficiente do impacto das chuvas, além de não favorecer a infiltração da precipitação ocorrida.

Machado (2002) simulando três cenários possíveis na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Marins - SP demonstrou que com o aumento das vegetações nativas em áreas que continham pastagens, as produções de sedimentos nas mesmas foram reduzidas, devidas principalmente a alterações dos parâmetros de infiltração e a uma maior eficiência contra o impacto direto das gotas de chuva.

Trabalhos mais detalhados na área devem ser realizados, a fim de comprovar a produção de sedimentos in loco, comparando os resultados obtidos pela MUSLE com outras metodologias. Esses testes sobre produção de sedimentos são de fundamental importância para a região, visto que a Sub-Bacia do Riacho Jacaré é afluente do Rio São Francisco, e através dessas quantificações simuladas, é possível prever o quanto de

material sólido é produzido pela bacia, e possivelmente uma produção semelhante pode ocorrer em outras bacias com características semelhantes na região. Em que somando a produção de sedimentos de várias bacias, o resultado obtido pode ser extremamente significativo para o assoreamento do Rio São Francisco no longo prazo.

7. Conclusões

O trabalho realizado serviu como uma ferramenta inicial, que pode ser utilizado em outros estudos, visto que no Estado de Sergipe, os dados referentes à produção de sedimentos são muito precários ou ainda, ou não existem para a maioria das Bacias Hidrográficas.

A metodologia utilizada pela Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE) juntamente com a EUPS, são as metodologias mais utilizadas em se tratando de quantificar os processos erosivos, principalmente em se tratando de estudos preliminares.

Através das quantificações simuladas, foi possível prever o quanto de material sólido foi produzido pela bacia. É esperada uma produção sedimentos semelhante, em outras sub-bacias que apresentem características similares com relação ao tipo e ocupação do solo na região. Em que o resultado acumulado das sub-bacias pode ser extremamente significativo para o assoreamento do Rio São Francisco no longo prazo.

A produção de sedimentos na Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Jacaré foi de 6.436,64; 9.082,29; 12.419,61 $ton.km^{-2}.ano^{-1}$ valores esses obtidos para chuvas com de duração de 6,12 e 24 horas respectivamente. Esses valores de acordo com Carvalho (2008) são classificados como baixa produção de sedimentos na localidade analisada.

8. Recomendações

De acordo com os resultados obtidos, foi possível notar que a produção de sedimentos na Sub-Bacia do Riacho Jacaré, mesmo sendo considerada como baixa, pode ainda ser reduzida a valores menores, esse processo basicamente consiste em uma melhor utilização do solo na localidade para que os valores de sedimentos fossem reduzidos.

È recomendável testar outras metodologias de produção de sedimentos na sub-bacia avaliada, no entanto em menores escalas ou até mesmo realizar trabalhos focando municípios, para que se obtenha uma maior precisão quanto aos dados obtidos.

Outra recomendação seria testar a metodologia da MUSLE, em outras sub-bacias afluentes do Rio São Francisco, e quantificar a produção de sedimentos total que

elas influem, verificando se existe uma produção de sedimentos semelhantes a esta sub-bacia avaliada.

9. Referências Bibliográficas:

ANDREOLI, C. V.; HOPPEN, C.; PEGORINI, E, S.; DALARMI, O. A crise da água e os mananciais de abastecimento. In: ADREOLI, C.V. (org) **Mananciais de abastecimento**: planejamento e gestão: Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu. Curitiba: Sanepar, Finep, p. 35-84, 2003.

AGUIAR NETTO, A. de O.; SANTOS, D.; MOREIRA, F. D. **Caminhos da Gestão de Recursos Hídricos: O caso da Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Jacaré, Baixo São Francisco Sergipano.** Revista Irriga, Botucatu, v. 13, nº 1, p. 12-25, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 1985. 355p.

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

BIOT, K.; LU, X. X. **Loss of yield caused by soil erosion on sandy soils in the UK**. *Soil Use Manage*. vol. 11, p. 157-162, 1995.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal/Secretária de Recursos Hídricos. **Plano diretor de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios gararu, salgado, riacho jacaré, pilões, betume e outros.** Tomo I, vol I e II; Tomo III. Brasília, 1998.

BRITO, J. L. S.; LIMA, S. C.; SHIKI, S.; MOREIRA, M. R. **Uso do geoprocessamento na estimativa de perda de solos por erosão laminar em Irai de Minas-MG**. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1998, Santos. *Anais*... p.501-512.

BROOKS, K. N.; FOLLIOTT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; THAMES, J. L. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991. 392p.

BRUCE, R. R.; LANGDALE, G. W.; EAST, L. J. MILLER, W. P. **Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance**. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 59, p. 654 – 660, 1995.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford University Press, Oxford. 1986.193p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM, 2008. 599p.

CARVALHO, M. P. **Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa (SP).** 1987. 90p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP. 1987.

CARVALHO, T. M. de. **Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais**. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Recife-PE. 2005. 13p.

CASAGRANDE, L. **Avaliação do Parâmetro de Propagação de Sedimentos do Modelo de Williams (1975) na Bacia do Rio Vacacaí-Mirim com o Auxilio de Técnicas de Geoprocessamento.** 2004. 123p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria - RS. 2004.

CASSOL, M.; WORTMANN, S.; VILHENA, M. T.; CAMPOS VELHO, H. F. **Analytic Two-Dimensional Transient Atmospheric Pollutant Dispersion Simulation by Double GITT**. *Integral Methods in Science and Engineering*. Boston: Birkhauser, p. 37-46, 2007.

CASTRO, A. G.; VALÉRIO FILHO, M. **Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais**. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, Viçosa, v.21, p.419-426, 1997.

CECÍLIO, R. A. **Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS ou USLE, em inglês).** Disponível em: <http://www.nedtc.ufes.br/prof/Roberto/disciplinas/manejo/USLE.pdf>. Acesso em: 15 de dezembro de 2008.

CHAVES. L. H. M. **Analise global de sensibilidade dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE)**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, p.345-350, 1991.

COCHRANE, T. A.; FLANAGAN, D. C. **Assessing water erosion in small watersheds using WEPP with GIS and digital elevation models**. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.54, p.678-685, 1999.

CORRELL, D. L. Buffer zones and water quality protection: general principles. In: HAYCOCK, N. E.; BURT, T. P.; GOULDING, K. W. T.; PINAY, G. (Ed.). **Buffer zones: their processes and potential in water protection**. Harpenden: Quest Environmental. p.7-20, 1997

COSTA, J. L. T. da. **A Contribuição de Sedimentos por Áreas Agrícolas Devida à Eventos Pluviosos.** 1988. 110p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP. Campinas - SP. 1988.

DOUGLAS, I. **Sediment transfer and siltation**. The earth as transformed by human action. Cambridge: Cambridge University Press, p.215-234, 1990.

EDWARDS, W. M.; OWENS, L. B. **Large storm effects on total soil erosion**. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.46, n.1, p. 75-78, 1991.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIO, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. **Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da Eups utilizando novas metodologias em sig para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-Pi-MA**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, n.2, p.73-85, 2006.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W.C. **Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units**. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.36, n.6, p.355-359, 1981.

FULLEN, M. A.; YI, Z.; BRANDSMA, R. T. **Comparison of soil and sediment properties of a loamy sand soil.** *Soil Technology***,** Amsterdam, v.10, p.35-45, 1996.

GARDE, R. L. & RANGA RAJU, K. G. **Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems.** Ed. John Wilwy & Sons, Inc., New York, USA, p.1–420, 1985.

GENOVEZ, A. M. **Avaliação dos métodos de estimação das vazões de enchente para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo**. Campinas, 1991. Tese (Livre Docência) Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 1991.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.

GROSSI, C. H. **Sistema de informação geográfica - BASINS 3.0 na modelagem hidrológica da bacia experimental do Rio Pardo, SP.** 2003. 100p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu – SP. 2003.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (org.) **Erosão e conservação dos solos** – conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.17-55.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; De MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C. & LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E. & PERES, J. R. R., eds. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, Embrapa, 2002, p.47-60.

JIANPING, Z. **Soil Erosion in Guizhou Province of China: a case study in Nijie Prefecture.** *Soil Use Manage*. v.15, p.68-70, 1999.

KRESNOR, W. R.; OLSON, K. R.; JOHNSON, D. L. **Fields evaluation of methods to estimate soil erosion.** *Soil Science*, v.153, n.1, p.69-81, 1992.

LAGROTTI, C. A. A. **Planejamento Agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP: Estudo de caso da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Jardim**. 2000. 150p. Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP. 2000.

LAL, R. Agronomic consequences of soil erosion. In: PENING DE VRIES, F. W. T.; AGUS, F.; KERR, J. M (Ed.). **Soil erosion at multiple scales:** principles and methods for assessing causes and impacts. London: CAB International, p.149-160, 1998a.

LAL, R. **Methods for assessment of soil degradation.** Boca Raton: CRC Press, 558p, 1998b.

LANE, L. J.; RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; LAFLEN, J. M. **Development and application of modern soil erosion prediction technology.** *Australian Journal of Soil Research*, v.30, n.6, p.893-912, 1992.

LARSON, W. E.; LINDSTROM, M. J.; SCHUMACHER, T. E. **The role of severe storms in soil erosion: A problem needing consideration.** *Journal of Soil and Water Conservation*, v.52, n.2. p.90-95, 1997.

LENCASTRE, A. & FRANCO, F. M. **Lições de hidrologia**. Lisboa: Universidade Nove de Lisboa, 1984. 449p.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, D. D.; PRUSK, F. F. Relações da hidrossedimentologia com os setores agrícolas e elétrico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA

DE SEDIMENTOS, Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos, 4, 2001. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria. ABRH/UFMS, v.1, p.381-393, 2001.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002, 166p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba - SP. 2002.

MENDES, C. A. B. **Planejamento Nacional de Recursos Hídricos Baseado no Uso de Técnicas de Geoprocessamento,** 9p. 1998.

MILLER, R. W. & GARDINER, D. T. **Soils in our Environment**. New Jersey. Prentice Hall. 2001. 642p.

MITCHELL, J. K. & BUBENZER, G. D. **Soil loss estimation**. Chapter 2, p. 17 – 62. In: KIRKBY, M. J. & MORGAN, R. P. C. *Soil erosion*. John Wiley & Sons Ltd.; 1980.

MOMOLI, R. S., **Caracterização e distribuição espacial dos sedimentos depositados numa zona ripária reflorestada.** 2006, 102p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MORAIS, L. F. B. de; MUTTI, L. S. M. & ELTZ, F. L. F. **Relações entre características físicas da chuva e perdas de solo no Rio Grande do Sul.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 12, pg. 285-288. 1988.

OLDEMAN, L. R.; HAKKELING, R. T. A.; SOMBROEK, W. G. **Word map of the status of human-induced soil degration.** An Explanatory Note. *Global Assessment of Soil Degradation GLASOD*. Work. Pap. 1990.

OLIVEIRA, C. P. M.; MELLO JÚNIOR, A.V.; MARCELLINI, S.S.; PORTO, R.L.L. **Sistema de Apoio para Determinação de Vazões de Projeto em Bacias Complexas com Base em Precipitações Máximas**. In: I *Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-*

Sudeste, 2006, Curitiba. Recursos hídricos e a gestão territorial. Porto Alegre : ABRH, 2006.

ÖZHAN, S.; NIHAT BALCI, A.; ÖZYUVACI, N.; HIZAL, A.; GÖKBULAK, F.; SERENGIL, Y. **Cover and management factors for the Universal Soil-Loss Equation for Forest ecosystems in the Marmara region**, Turkey. *Forest Ecology and Management*, v.214, p.118-123, 2005.

PAIVA, E. M. C.; PAIVA, J. B. D.; PARANHOS, R. M. Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais. IN: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos, 4, 2001. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria. ABRH/UFMS, v.1, p.35-51, 2001,

PELLIZZETTI, M. A.; VIBRANS, A. C.; FRANK, B. **Estimativa do percentual de abatimento de erosão para as condições da bacia do Itajaí.** Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. IPABHi,. Taubaté, p. 341-350, 09-11 dezembro de 2009.

PEREIRA, V. R. **Identificação de Áreas com Potencial para a Produção de Sedimentos a montante dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Cantareira: os reservatórios de Cachoeira e Atibainha.** 2007, 117p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP. 2007.

PRADO, T. B. G., **Evolução do Uso das Terras e Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí-Mirim.** 2005, 72p. Dissertação (Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico de Campinas, IAC. Campinas - SP. 2005.

RANIERI, S. B. L. **Avaliação de modelos matemáticos (USLE E WEPP) para a determinação da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no município de Piracicaba – SP**. 2000, 92p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP. 2000.

REIS, R. B.; ROCHA, E. M. F.; FABER, O. A. **A Influência da Ocupação Antrópica Dentro do Processo de gestão de Bacias hidrográficas com auxílio de SR e SIG**. In: *VI Congresso Brasileiro de Geógrafos*, 2004, Goiânia. VI Congresso Brasileiro de Geógrafos, 2004.

RENARD, K. G., MAUSBACH, M. J. Tools of conservation. In: LARSON, W.E.; FOSTER, G.R.; ALLMARAS, R.R.; SMITH, C.M. (Ed.) **Proceedings of soil erosion a productivity workshop.** Minnesota: University of Minnesota, cap.4, p.55-64, 1990.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. **Revised Universal Soil Loss Equation**. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.46, n.3, p.30-33, 1991.

RITTER, W. F.; SHIRMOHAMMADI, A. **Agricultural nonpoint source pollution.** Boca Raton: CRC Press, 2001. 342p.

ROCHA, J. V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A. A. A. **Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a Equação Universal de Perdas de Solo**. In: *I Simpósio de Usuários IDRISI*, p.3-6, Campinas-SP, 1996.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, Uberlândia: EDUFU,2003.

SCHWAB, G. O.; FREVERT, R. K.; EDMINSTER, T. W. & BARNES, K. K. **Soil and water conservation engineering**. 3.ed. New York, Johm Wiley & Sons, 1981. 683p.

SERGIPE (Estado). Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas Digital sobre os Recursos Hídricos de Sergipe**. ARACAJU: SEPLANTEC-SRH, 2004. CD-ROM.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: *Rima*, 2007. 153p.

SILVA, L. F. da. **A construção de um índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISA)**: uma proposta Metodológica. Campinas, SP: [s.n.], 2007.

SRH – Superintendência de Recursos Hídricos. **Diagnóstico do Município de Propriá**. Aracaju: SEPLANTEC-SRH, 2002a.

SRH – Superintendência de Recursos Hídricos. **Diagnóstico do Município de Cedro de São João**. Aracaju: SEPLANTEC-SRH, 2002b.

TIM, U. S.; JOLLY, R. **Evaluating Agricultural Nonpoint-Source Pollution Using Integrad Geograpfhic Information Systems and Hidrology/Water Quality Model**. *Journal in Environmental Quality*, v.23, p. 25-35, 1994.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. **A sistematização dos fatores da Eups em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR).** *Estudos Geográficos*, Rio Claro, v.3, n. 1, p. 01-21, 2005.

USDA-SCS. Supplemental **watershed work plan no. 2**. Añasco River Watershed Puerto Rico. United States Department of Agriculture, *Soil Conservation Service*. 1973.

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SENA JÚNIOR, D. G. **Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.2, p.225-9, 2002.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. **Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrology**. *Transaction of the ASAE*, v.20, p.1100-1104, 1977.

WILLIAMS, J. R. **HYMO flood routing**. *Journal of Hydrology*, v.26, p.17-27, 1975.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses – guide to conservation planning.** Washington: ESDA, 1978. 58p.

YOUNG. R. A.; OLNESS, A. E.; MUTCHLER, C. K.; MOLDENHAUER, W. C. Chemical and physical enrichments of sediment from cropland. **Transactions of the ASAE,** St. Joseph, v.29, n.1, p.165 – 169, 1986.

ZACHAR, D. **Soil erosion**: developments in soil science. New York: *Elsevier Scientific*, 1982. 547p.

ZHANG, Y.; DEGROOTE, J.; WOLTER, C.; SUGUMARAN, R. **Integration of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) into a gis framework to assess soil erosion risk**. *Land Degradation & Development*, vol. 20, pg. 84–91, 2009.

ZARONI, M. J. **Estimativa da Produção de Sedimentos em Bacias Hidrográficas por meio do Modelo de Erosão USLE e do Índice de Transferência de Sedimentos – SDR.** 2006. 163p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. RJ. 2006.

CAPÍTULO 3

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM DOIS POSSÍVEIS CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO RIACHO JACARÉ

1. Resumo

MACEDO, Fabrício Lopes de. **Produção de sedimentos em dois possíveis cenários de uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Riacho Jacaré.** 2010. 123p. (Dissertação – Mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.

A simulação quantificação da produção de sedimentos em bacias hidrográficas é considerada uma ferramenta fundamental para o planejamento do uso do solo. Através do processo de quantificação é possível observar quais áreas produzem uma maior quantidade de sedimentos, e com isso tentar propor novos cenários para o uso e ocupação do solo, com a finalidade de reduzir essa produção sedimentológica. O presente trabalho teve como objetivo simular dois cenários para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré; em que, o primeiro foi considerado como sendo uma situação ideal de ocupação e utilização do solo. Nesse cenário, houve um acréscimo de 50% das áreas de matas secundárias oriundas das pastagens. No segundo cenário foi proposta uma situação indesejável de uso e ocupação do solo, em que as matas secundárias foram reduzidas em 50% e com isso foi simulado um aumento das áreas de pastagens. Com a utilização dos dois cenários, foi calculada a taxa de infiltração e escoamento superficial, em que o Cenário 1 obteve melhores resultados do que o Cenário 2. Com a obtenção desses fatores, foi determinada a produção de sedimentos, para os períodos de retorno de 5, 25 e 50 anos, e com base nos resultados obtidos, foi evidenciada a real importância da cobertura vegetal, para o controle da produção de sedimentos.

Palavras-chave: Simulação, sustentabilidade, erosão.

2. Abstract

MACEDO, Fabrício Lopes de. **Production of Sediments in two possible scenarios for the use and occupation of Soil in Sub-Basin of Riacho Jacaré.** 2010. 123p. (Dissertação – Mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.

The simulation quantification of sediment yield in watersheds is considered an essential tool for planning land use. Through the process of quantification is possible to see which areas produce a greater amount of sediment, and thus try to propose new scenarios for the use and occupation, in order to reduce that production sedimentology. This study aimed to simulate two scenarios for Sub-Basin of Riacho Jacaré, where the first was considered to be an ideal situation of occupation and land use. In this scenario, there was an increase of 50% of the areas of secondary forest derived from pasture. In the second scenario has been proposed to unwanted use and land cover in the secondary forests were reduced by 50% and this was simulated by an increase in pasture areas. With the use of two scenarios, we calculated the rate of infiltration and runoff, in which the Scenario 1 yielded better results than Scenario 2. Through these factors, determined the sediment yield for the return periods of 5, 25 and 50, and based on the results obtained, showed the real importance of vegetation, to control sediment production.

Keywords: Simulation, sustainability, erosion.

3. Introdução

Os efeitos obtidos com a variação do uso e ocupação do solo são muito importantes para a tomada de decisões sobre o manejo de uso da terra (KUHNLE et al., 1996). Visto que as ações de origem antrópica, ao longo dos anos acarretaram uma série de danos ao meio ambiente, devido principalmente a falta de planejamento.

Dentre os processos de degradação do solo, a erosão tem merecido cada vez mais destaque nas pesquisas, devido ao seu grande poder destrutivo. A erosão do solo representa um problema não somente pela perda de área agricultável, além disso, esse efeito ocasiona conseqüências negativas relacionadas com o assoreamento e contaminação dos cursos d'água, lagos e represas (PINTO, 1991; LAL, 1988 *apud* TAVARES et al. 2003).

De acordo com autores Castro e Valério Filho (1997) e Ranieri et al. (1998), para que se consiga preservar os recursos naturais, é necessário à implementação de um planejamento relacionado ao uso e ocupação das terras, visto que, trata-se de uma etapa essencial para uma busca futura da minimização dos impactos causados pela erosão do solo.

Para tentar prever os efeitos da erosão foram desenvolvidos vários modelos matemáticos. De acordo com Fohrer et al. (2001) o objetivo principal da modelagem é obter uma melhor compreensão sobre os processos que ocorrem em um sistema como uma bacia hidrográfica.

Segundo Machado et al. (2003) uma das principais vantagens da aplicação de modelos, consiste na possibilidade de uma série de estudos, relacionando diferentes cenários, de forma rápida e prática. No entanto uma característica muito importante com relação a utilização de simulação de cenários está relacionada ao seu baixo custo.

A principal dificuldade encontrada para utilização de modelos, esta relacionada com o grande número de dados apresentados em um sistema natural. Devido a esse motivo, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) estão sendo cada vez mais utilizados.

Grigg (1996, *apud* MACHADO et al., 2003) afirma que o uso dos SIGs facilitam a obtenção e manipulação dos dados, e que a utilização dessa tecnologia tornou-se fundamental para o manejo ideal de bacias hidrográficas. Pois com o uso dessa tecnologia é possível não só visualizar cenários passados atuais, mas também

simular cenários futuros com baixo custo e de forma rápida, obtendo com isso resultados confiáveis e auxiliando no planejamento das atividades antrópicas nas bacias.

O presente trabalho teve com objetivo simular a produção de sedimentos para dois cenários distintos de uso e ocupação de solo, e verificar se existe ou não uma real influência das matas secundárias para o controle do processo erosivo.

4. Referencial Teórico

4. 1. Modelos Hidrológicos

Segundo Barth et al. (1987) *apud* Moro, (2005), modelo é definido como sendo uma reprodução do comportamento encontrado em um sistema natural, em que, os resultados são expressos através de equações matemáticas, que facilmente podem ser modificadas, de tal modo que possibilita a obtenção de diferentes resultados de um mesmo sistema.

Os modelos podem ser classificados de acordo com Novotny (1999) *apud* FRAGOSO (2008) em cinco classes: Procedimentos estatísticos simples sem a interação com processos físicos e químicos; Procedimentos simplificados com alguma interação com processos físico-químicos; Modelos determinísticos simplificados, contínuos ou orientados para eventos; Modelos sofisticados de eventos; Modelos contínuos sofisticados.

Tucci (1998) relata que devido aos fenômenos encontrados nos ciclo hidrológicos, a utilização de modelos tornou-se necessário nas analises relacionadas com a quantificação e qualificação dos fenômenos encontrados.

De acordo com Oliveira (2003) os modelos são muito utilizados para tentar simular situações hipotéticas nas bacias hidrográficas, os objetivos desses modelos estão relacionados com a avaliação de impactos das alterações ocorridas com o uso e ocupação do solo, e pode também atuar na prevenção de impactos como: o efeito dos impactos ocasionados pela urbanização nas bacias, a construção de reservatórios ou ainda a vazão e a infiltração decorrentes das precipitações intensas ocorridas.

Rennó e Soares (2000) afirmam que não existe um modelo único considerado o melhor, mas sim existem modelos que melhor descrevem um determinado fenômeno. Tucci (1998) relata que existe certa dificuldade da maioria dos modelos, que são aplicados em bacias com grande quantidade de cobertura vegetal, visto que, os processos hidrológicos presentes nessas regiões são mais verticais (interceptação e evapotranspiração) do que os horizontais (escoamento). As dificuldades básicas encontradas pelos modelos hidrológicos estão relacionadas com a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos necessários para eles.

No entanto, o mesmo autor relata que a resolução de problemas relacionados com os recursos hídricos é necessário que aconteça uma combinação de alguns fatores

como: o clima, relevo, solo, geologia, cobertura vegetal, a união desses fatores tornará imprescindível para obtenção de dados de alguns processos essenciais como a infiltração, escoamento superficial e o escoamento subterrâneo.

Para tentar superar a grande dificuldade encontrada para obtenção da maioria dos dados necessários para aplicação dos modelos, a utilização do Sistema de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto, tem se mostrado muito eficientes e muitas vezes fundamentais, visto a grande dificuldade de obtenção de dados para a maioria dos Estados brasileiros.

Julien et al. (1995) relata que cada vez mais os modelos hidrológicos com bases físicas, utilizam da tecnologia do sensoriamento remoto para conseguir obter dados da topografia, solos, vegetação, rede de drenagem etc. Essas variáveis são então utilizadas como entradas em algoritmos com base no comportamento físico da infiltração e escoamento superficial. Esses tipos de modelos a fim de gerar dados, realizam uma incorporação das descrições das variabilidades espaciais das bacias hidrográficas associando as precipitações intensas para melhores produções de dados hidrológicos.

Autores como Hott et al. (2007), Oliveira e Galvínicio (2008), Castro e Carvalho (2009), utilizam da técnica do sensoriamento remoto, para conseguir realizar as analises morfométricas em bacias hidrográficas, pois de acordo com esses autores, com o auxilio dessa técnica, trabalho que levariam alguns meses para serem realizados, são feitos em poucos dias, além de originar ótimos resultados em suas pesquisas.

Os SIGs vêm sendo cada vez mais utilizado nas pesquisas de campo, isto se deve ao grande desenvolvimento de programas disponibilizados de forma gratuita, em diversos sites relacionados com geoprocessamento. Esses novos programas têm como principio básico facilitar a obtenção de dados necessários para a quantificação de um processo.

A degradação ambiental, especialmente a do solo e da água, vem crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos que se refletem na deterioração do meio ambiente, no assoreamento dos cursos e dos espelhos d’água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Dentre as diversas formas de degradação ambiental, uma é considerada a principal no contexto agrícola, é a erosão dos solos, a qual consiste nos processos de desprendimento e arraste de suas partículas, causados pela ação da água e do vento. O processo de erosão do solo é favorecido quando a vegetação nativa é retirada, a fim de,

favorecer o desenvolvimento de alguma cultura agrícola. No entanto com a retirada da proteção natural presente em uma área, o processo erosivo, caso não seja controlado, tende a aumentar, pois, as culturas agrícolas, quando comparadas com as vegetações nativas, não produzem uma quantidade suficiente de serrapilheira e quase não proporcionam uma barreira efetiva, contra os impactos das gotas de chuva.

5. Material e métodos

5.1. Produção de Sedimentos

A metodologia utilizada para a produção de sedimento é a MUSLE, em que através da obtenção de certos parâmetros é possível gerar a produção anual. A equação utilizada no modelo MUSLE é descrita segundo Williams (1975), conforme a Equação 1.

$$Y = 89{,}6 \cdot (Q \cdot qp)^{0{,}56} \cdot K \cdot C \cdot LS \cdot P \qquad \textbf{(18)}$$

em que:

Y é o aporte de sedimentos em um determinado exutório da bacia, após um evento de precipitação, em ton.km^{-2}.ano^{-1};

Q é o volume de escoamento superficial total (m^3);

qp é a vazão pico do hidrograma resultante (m^{3}s^{-1});

K é a erodibilidade do solo, (t.h) (Mj.mm)$^{-1}$;

C é o fator uso e manejo das culturas;

LS é o fator topográfico (declividade e comprimento de vertente);

P é o fator prática conservacionista;

O volume de escoamento superficial é feito através do método da abstração (USDA-SCS, 1973), conforme a Equação 2.

$$Q = \frac{(I - 0{,}2Sa)^2}{I + 0{,}8Sa} \qquad \textbf{(19)}$$

em que:

Q é o volume de escoamento superficial de um evento de precipitação (mm);

I é o volume de precipitação (mm);

Sa é a diferença potencial máxima entre a precipitação e o escoamento, a partir do início da precipitação.

O parâmetro Sa pode ser estimado empiricamente segundo Schwab et al. (1981), conforme a Equação 3.

$$Sa = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad \textbf{(20)}$$

em que:

CN é uma curva número entre 0 e 100 (quanto maior for o número, maior será o escoamento superficial). Esta curva é estimada de acordo com padrões de manejo, permeabilidade e umidade do solo.

O parâmetro vazão de pico (qp) pode ser estimado através do método do hidrograma unitário triangular hipotético (SCHWAB et al., 1981), conforme a Equação 4.

$$qp = 0{,}0021 \cdot Q \frac{A}{Tp} \qquad \textbf{(21)}$$

em que:

Q é o volume de escoamento superficial (mm);

A é área da bacia hidrográfica (ha);

Tp é o tempo de pico do hidrograma (hora);

O tempo de pico (Tp) pode ser estimado (SCHWAB et al., 1981) pela Equação 5..

$$Tp = \frac{D}{2} + \left(\frac{L}{3{,}28}\right)^{0{,}8} \cdot \frac{(Sa+1)^{0{,}7}}{1900} \cdot \sqrt{Y} \qquad \textbf{(22)}$$

em que:

D é a duração da precipitação excedente (hora);

L é o comprimento medido ao longo do talvegue da bacia (m);

Sa é o parâmetro de diferença do potencial máximo estimado pelo método da abstração;

Y é a declividade média do talvegue (%).

O tempo de concentração (t_c) é estimado pela fórmula de Kirpich (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985), conforme a Equação 6.

$$T_c = 0{,}002 \cdot L^{0{,}77} \cdot S^{0{,}385} \quad \textbf{(23)}$$

em que:
tc é o tempo de concentração (minutos);
L é o comprimento medido ao longo do talvegue da bacia (m);
S é a declividade média do talvegue da bacia (adimensional).

Viessman et al. (1975) *apud* Genovez (1993), apresentam o método do SCS para se obter o hidrograma unitário sintético e citam que a duração da chuva para se obter o hidrograma unitário é dada por:

$$D = 0{,}133 \cdot t_c \quad \textbf{(24)}$$

em que:
D é a duração da precipitação excedente (horas);
t_c é o tempo de concentração (horas).

Existe ainda outra forma de obtenção dos fatores Q e qp, que é possível de ser obtido de maneira mais rápida e prática graças a ferramenta ABC-Bahia (OLIVEIRA et al., 2006), elaborada pela Escola Politécnica da USP. Esse programa foi a ferramenta utilizada neste trabalho.

Para calibração do programa foram utilizadas duas séries históricas de 50 anos de precipitações máximas das localidades de Propriá e Aquidabã. Essa série foi utilizada no ABC-Bahia para gerar chuvas máximas com períodos de duração de 5, 25 e 50 anos.

Essas chuvas intensas foram armazenadas no programas, e associadas com o uso e ocupação do solo, proporcionando a obtenção do CN da Sub-bacia, após isso, foi calculado o Q e qp. A Figura 30 apresenta a tela de resultado mostrando os valores das variáveis.

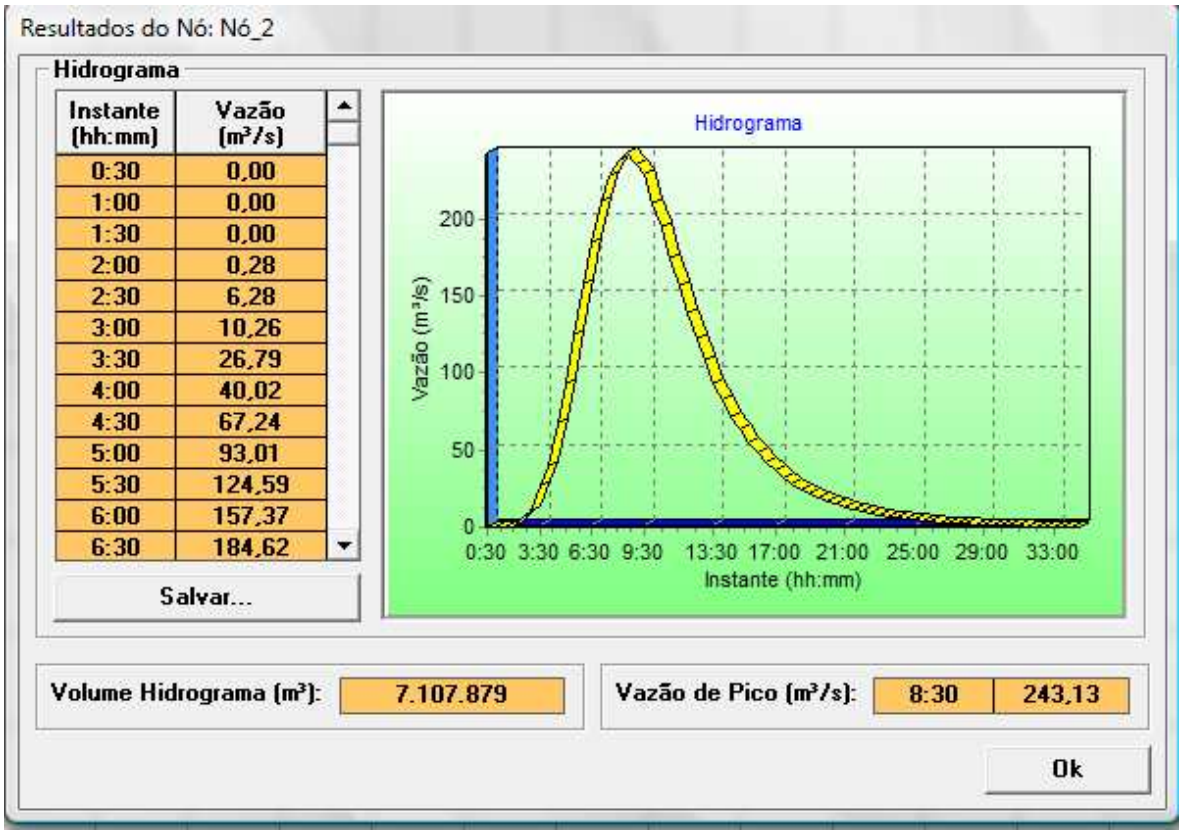


Figura 30 - Exemplo do Hidrograma produzido pelo ABC-Bahia.

Os demais fatores necessários para o cálculo da produção de sedimentos, através da utilização da MUSLE, já foram obtidos no Capitulo II, e como não ocorreu mudança no fator topográfico (LS), erodibilidade (K), esses fatores serão os mesmos utilizados anteriormente.

Já os fatores modificados Uso e Ocupação do Solo (C) e Práticas conservacionistas (P), também serão utilizados os mesmos obtidos no Capitulo II, pois não surgiram novos fatores, e sim foram simuladas as perdas e ganhos de áreas dos mesmos fatores encontrados na Sub-Bacia do Riacho Jacaré.

6. Resultados e Discussões

6.1. Comparação do Uso e Ocupação do solo

Baseado nos parâmetros básicos encontrados na Sub-Bacia (Tabela 11) foram propostos dois tipos de manejos, com a finalidade de simular a produção de sedimentos. O Cenário 1 apresenta a ocupação de uso e ocupação considerada ideal para a bacia (Tabela 12). O Cenário 2 apresenta a situação considerada indesejável de uso e ocupação do solo (Tabela 13). O Cenário 2 simula uma condição em que desfavorece a infiltração e favorece o escoamento superficial direto em função do uso e da ocupação do solo.

Tabela 11: Caracterização básica da Sub-Bacia do Riacho Jacaré utilizada pelo ABC-Bahia.

Grupo Hidrológico	Uso e Ocupação do solo	Área total (km^2)	Porcentagem utilizada no ABC-Bahia
B	Mata secundária	1,15	11,92%
	Pastagem	2,15	22,30%
	Área cultivada	6,34	65,78%
C	Mata secundária	33,39	24,31%
	Solo exposto	0,08	0,05
	Cidades	0,27	0,20
	Área cultivada	6,58	4,80
	Pastagem	94,29	68,67%
	Florestas	2,69	1,97%
D	Mata secundária	67,71	37,95%
	Solo exposto	0,04	0,02%
	Cidades	0,64	0,35%
	Área cultivada	13,84	7,75%
	Pastagem	91,66	51,37%
	Floresta	4,52	2,56%

Tabela 12. Uso e ocupação do solo ideal para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré (Cenário 1).

Grupo Hidrológico	Uso e Ocupação do solo	Área total (km^2)	Porcentagem utilizada no ABC-Bahia
B	Mata secundária	2,1	21,8%
	Pastagem	1,01	10,5%
	Área cultivada	6,53	67,7%
C	Mata secundária	64,82	47,21%
	Solo exposto	0,08	0,05
	Cidades	0,27	0,20
	Área cultivada	38,01	27,68%
	Pastagem	31,43	22,89%
	Florestas	2,69	1,97%
D	Mata secundária	113,54	63,63%
	Solo exposto	0,04	0,02%
	Cidades	0,64	0,35%
	Área cultivada	13,84	8%
	Pastagem	45,83	25,46%
	Floresta	4,52	2,54%

Para o uso ideal de acordo com a simulação realizada (Cenário 1), as áreas de pastagens originais foram reduzidas em 50%, em todos os grupos hidrológicos da área. Essas áreas foram incorporadas nos grupos hidrológicos B e D, nas áreas de mata secundária, devido às características básicas do solo. Já no grupo hidrológico C, as áreas de pastagens também foram reduzidas em três partes, em que 31,43 km^2 foram incorporados nas áreas com a presença de mata secundaria e 31,43 km^2 foram incorporados nas áreas cultivadas, pois de acordo com o tipo de solo encontrado na região essas áreas são propicias aos cultivos agrícolas. A representação espacial do Cenário 1 é mostrada na Figura 31.

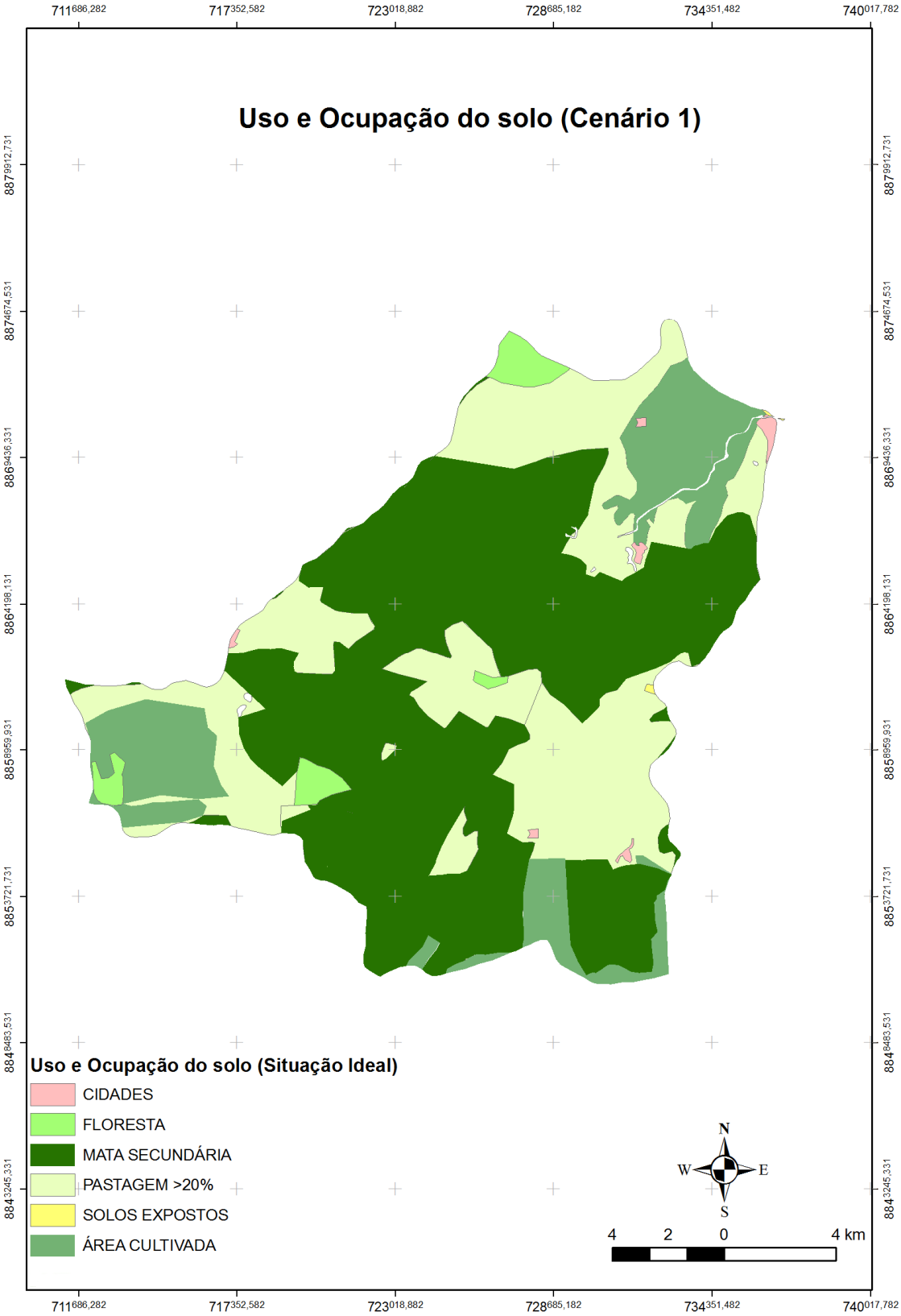


Figura 31 – Mapa de uso e ocupação de solo ideal para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

Tabela 13: Uso e ocupação indesejável para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré (Cenário 2).

Grupo Hidrológico	Uso e Ocupação do solo	Área total (km^2)	Porcentagem utilizada no ABC-Bahia
B	Mata secundária	0,575	5,96%
	Pastagem	5,895	61,15%
	Área cultivada	3,17	32,89%
C	Mata secundária	11,12	8,09%
	Solo exposto	0,08	0,05%
	Cidades	0,27	0,20%
	Área cultivada	19,04	13,86%
	Pastagem	105,45	76,83%
	Florestas	1,34	0,97%
D	Mata secundária	33,85	18,97%
	Solo exposto	0,04	0,02%
	Cidades	0,64	0,35%
	Área cultivada	16,1	9,02%
	Pastagem	125,51	70,35%
	Floresta	2,26	1,29%

Na situação indesejável todas as áreas de mata secundária foram reduzidas em 50% das áreas originais.

No grupo hidrológico do solo B, as áreas cultivadas juntamente com as matas secundárias foram reduzidas em 50%, que se incrementou nas áreas de pastagens. Já para o grupo hidrológico do solo D, as áreas cultivadas ganharam 2,26 km^2 das regiões que continham florestas, o objetivo dessa simulação foi proporcionar um ganho na área agrícola nas áreas de florestas, visto o tipo de solo precário na região. As simulações de perda de áreas foram semelhantes para o grupo hidrológico do solo C, em que, as áreas agrícolas foram expandidas em 12,46 km^2, áreas oriundas das florestas e das matas secundárias, e as áreas de pastagens tiveram um aumento de 11,16 km^2 originadas das matas secundárias.

O caso dessa simulação é o oposto da situação simulada anteriormente, em que, esperou-se obter as piores taxas de infiltração, maiores índices de escoamento

superficial, já que a cobertura vegetal foi reduzida drasticamente. A representação espacial do Cenário 2 é mostrada na Figura 32.

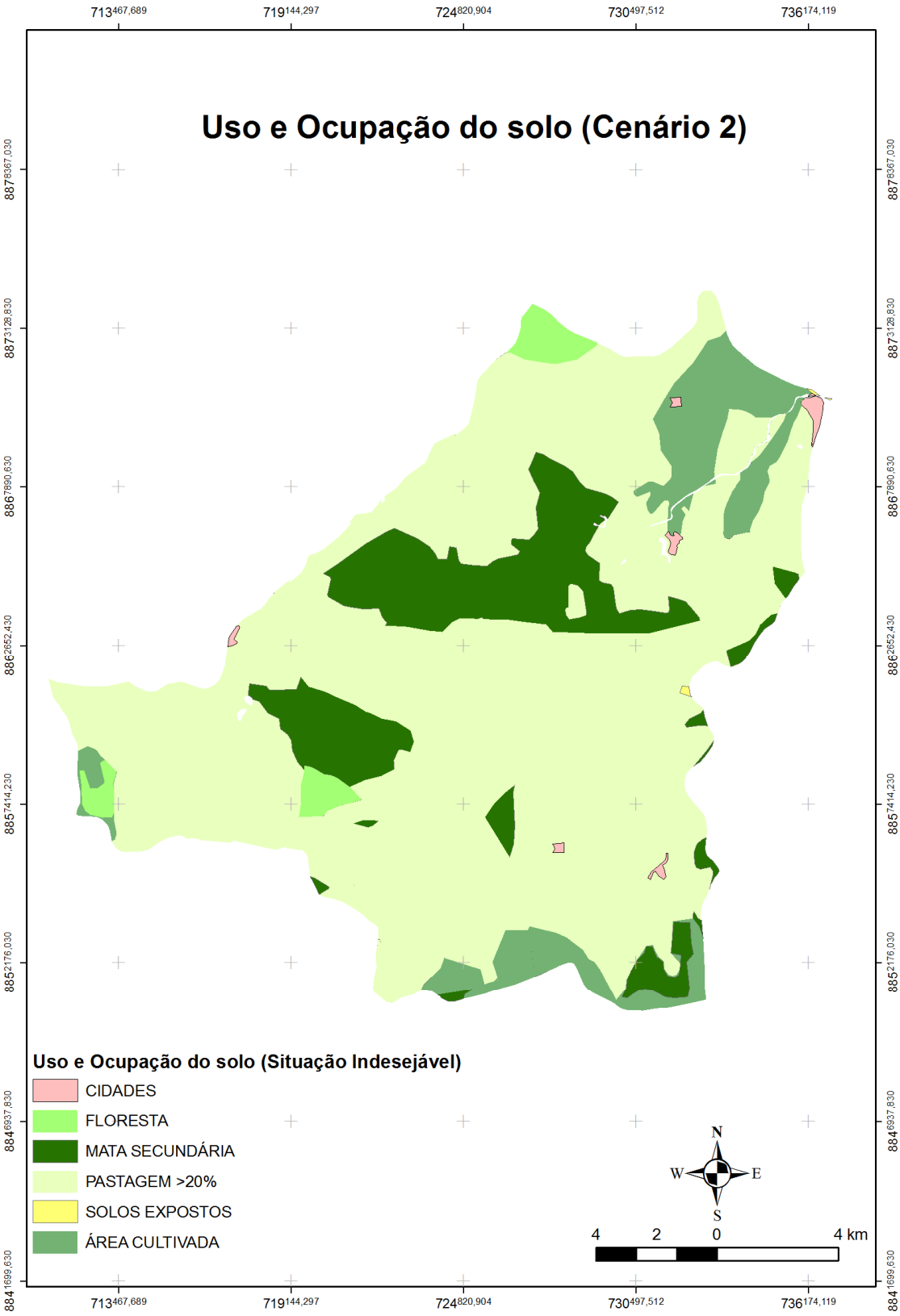
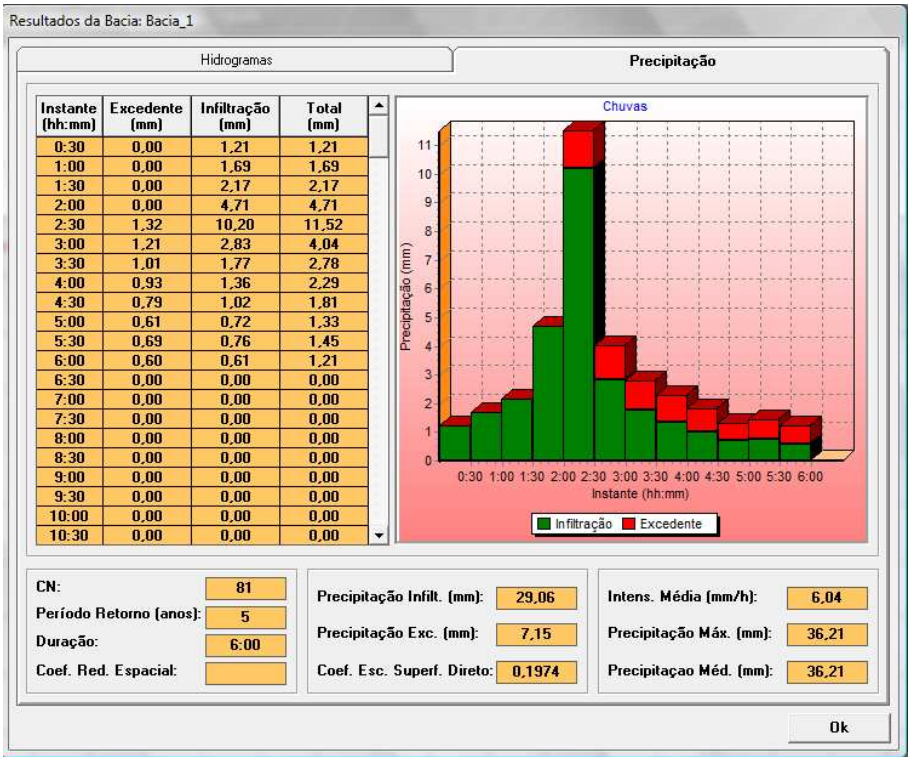


Figura 32 - Mapa de uso e ocupação de solo indesejável para a Sub-Bacia do Riacho Jacaré (SERGIPE, 2004).

6.2. Simulações de cenários

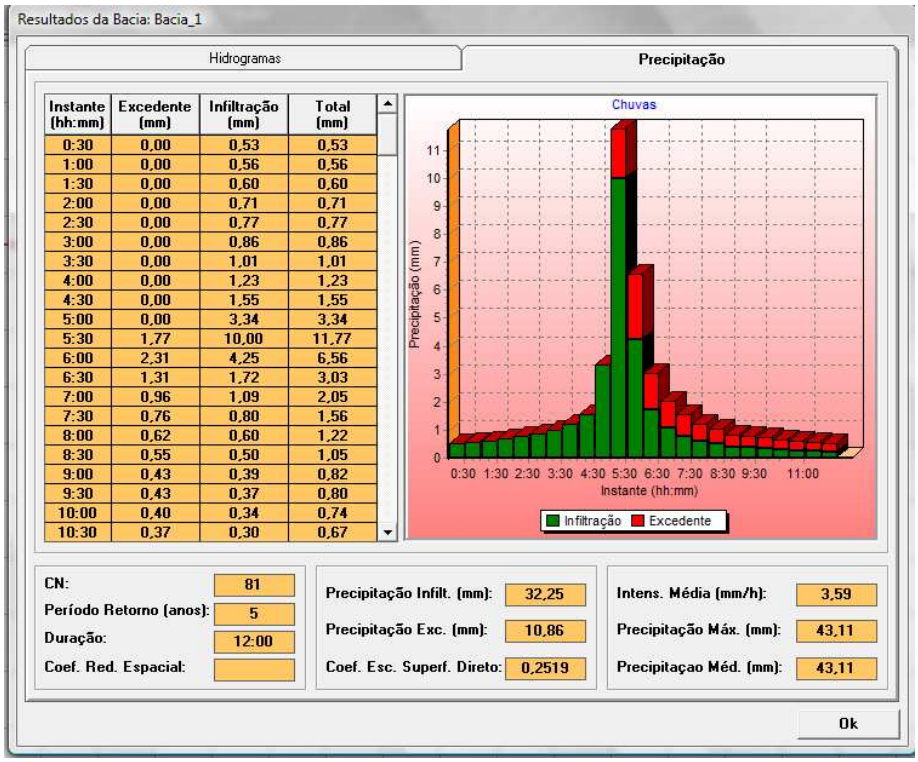
Os resultados a seguir são referentes às taxas de infiltração e escoamento superficial para as duas situações (cenários). Essas simulações foram realizadas para precipitações com períodos de retorno de 5, 25 e 50 anos, para tentar expressar os valores que poderão surgir nas duas situações avaliadas.

As Figuras 33, 34 e 35 apresentam as simulações para o Cenário 1 (situação ideal) para precipitações com duração de 6, 12 e 24 horas. As Figuras 36, 37 e 38 apresentam as simulações para o Cenário 2 (situação indesejável) para precipitações com duração de 6, 12 e 24 horas.



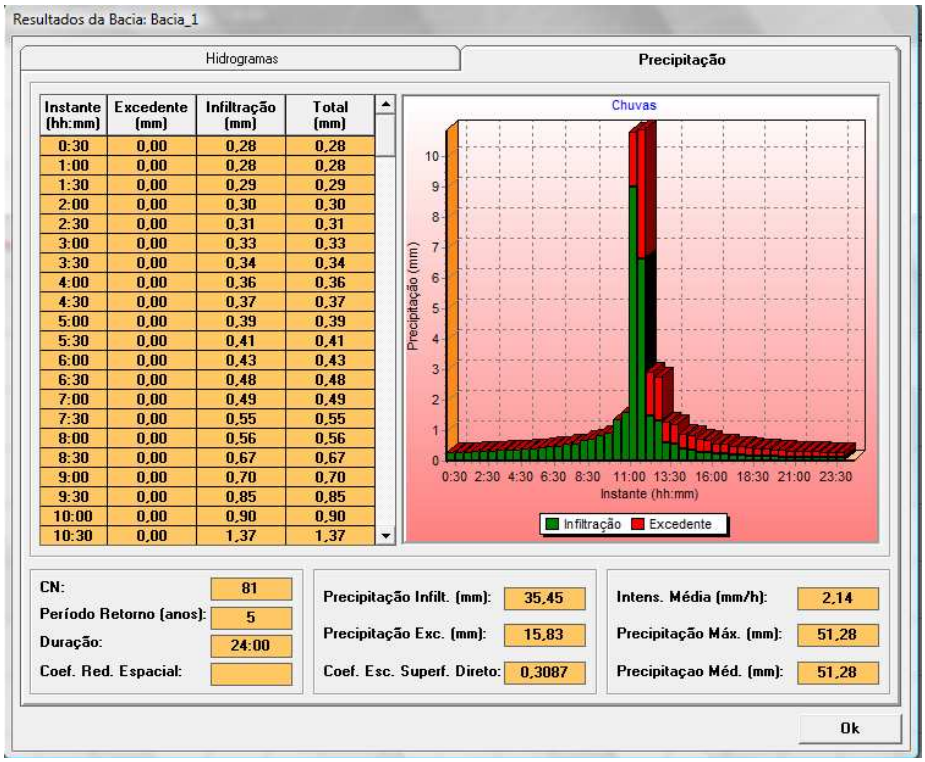
Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	1,21	1,21
1:00	0,00	1,69	1,69
1:30	0,00	2,17	2,17
2:00	0,00	4,71	4,71
2:30	1,32	10,20	11,52
3:00	1,21	2,83	4,04
3:30	1,01	1,77	2,78
4:00	0,93	1,36	2,29
4:30	0,79	1,02	1,81
5:00	0,61	0,72	1,33
5:30	0,69	0,76	1,45
6:00	0,60	0,61	1,21
6:30	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00

Figura 33 - Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 6 horas de duração (Cenário 1).



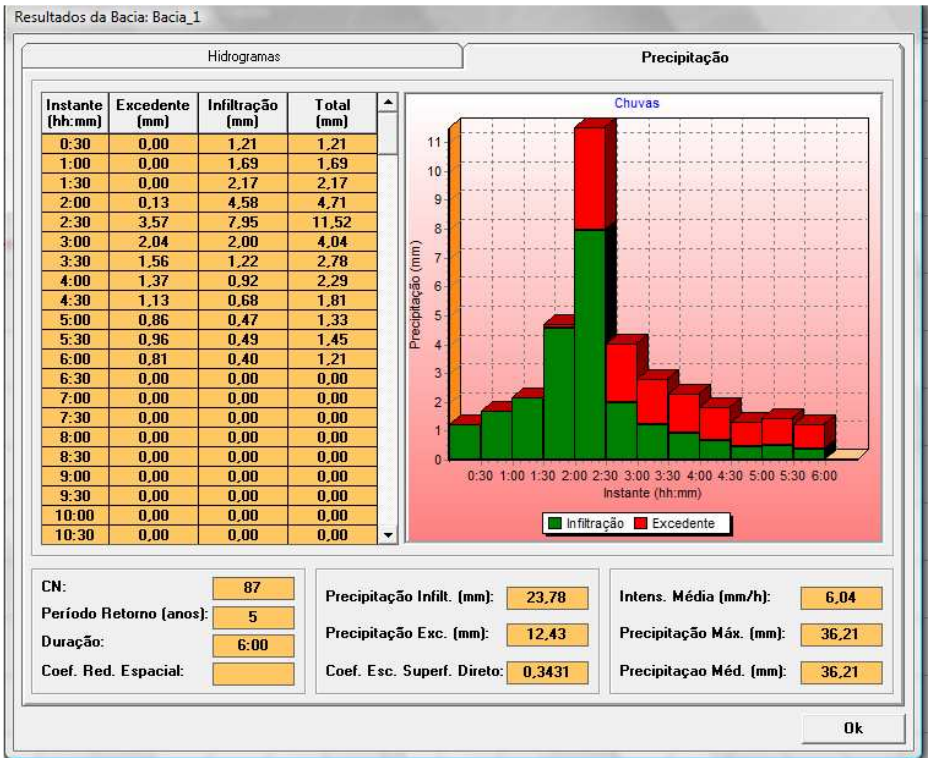
Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	0,53	0,53
1:00	0,00	0,56	0,56
1:30	0,00	0,60	0,60
2:00	0,00	0,71	0,71
2:30	0,00	0,77	0,77
3:00	0,00	0,86	0,86
3:30	0,00	1,01	1,01
4:00	0,00	1,23	1,23
4:30	0,00	1,55	1,55
5:00	0,00	3,34	3,34
5:30	1,77	10,00	11,77
6:00	2,31	4,25	6,56
6:30	1,31	1,72	3,03
7:00	0,96	1,09	2,05
7:30	0,76	0,80	1,56
8:00	0,62	0,60	1,22
8:30	0,55	0,50	1,05
9:00	0,43	0,39	0,82
9:30	0,43	0,37	0,80
10:00	0,40	0,34	0,74
10:30	0,37	0,30	0,67

Figura 34 - Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 12 horas de duração (Cenário 1).



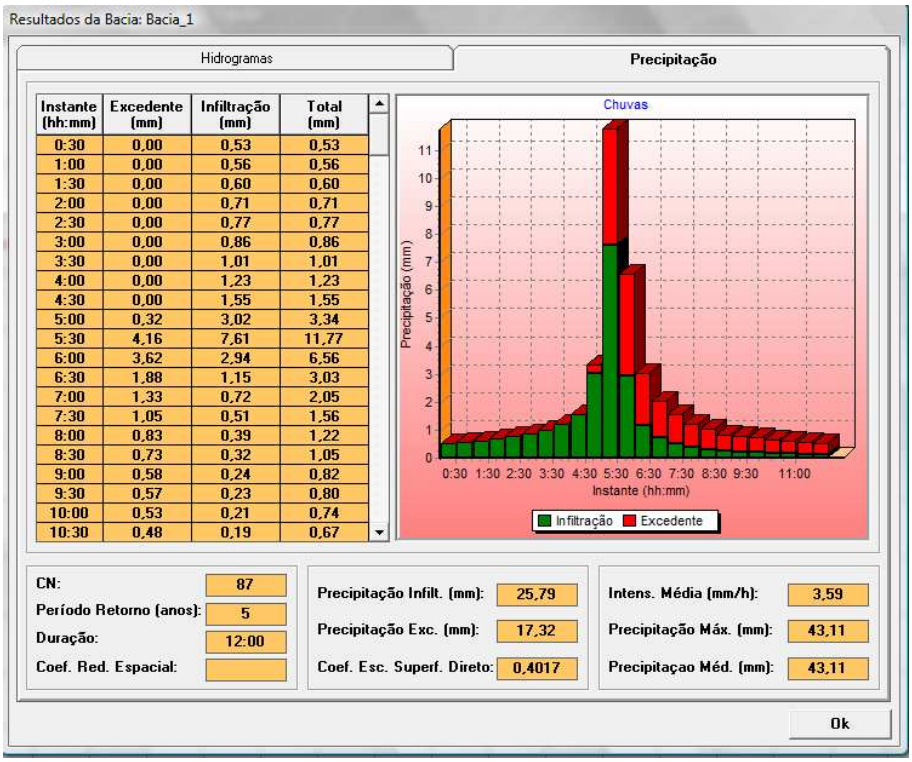
Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	0,28	0,28
1:00	0,00	0,28	0,28
1:30	0,00	0,29	0,29
2:00	0,00	0,30	0,30
2:30	0,00	0,31	0,31
3:00	0,00	0,33	0,33
3:30	0,00	0,34	0,34
4:00	0,00	0,36	0,36
4:30	0,00	0,37	0,37
5:00	0,00	0,39	0,39
5:30	0,00	0,41	0,41
6:00	0,00	0,43	0,43
6:30	0,00	0,48	0,48
7:00	0,00	0,49	0,49
7:30	0,00	0,55	0,55
8:00	0,00	0,56	0,56
8:30	0,00	0,67	0,67
9:00	0,00	0,70	0,70
9:30	0,00	0,85	0,85
10:00	0,00	0,90	0,90
10:30	0,00	1,37	1,37

Figura 35 - Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 24 horas de duração (Cenário 1).



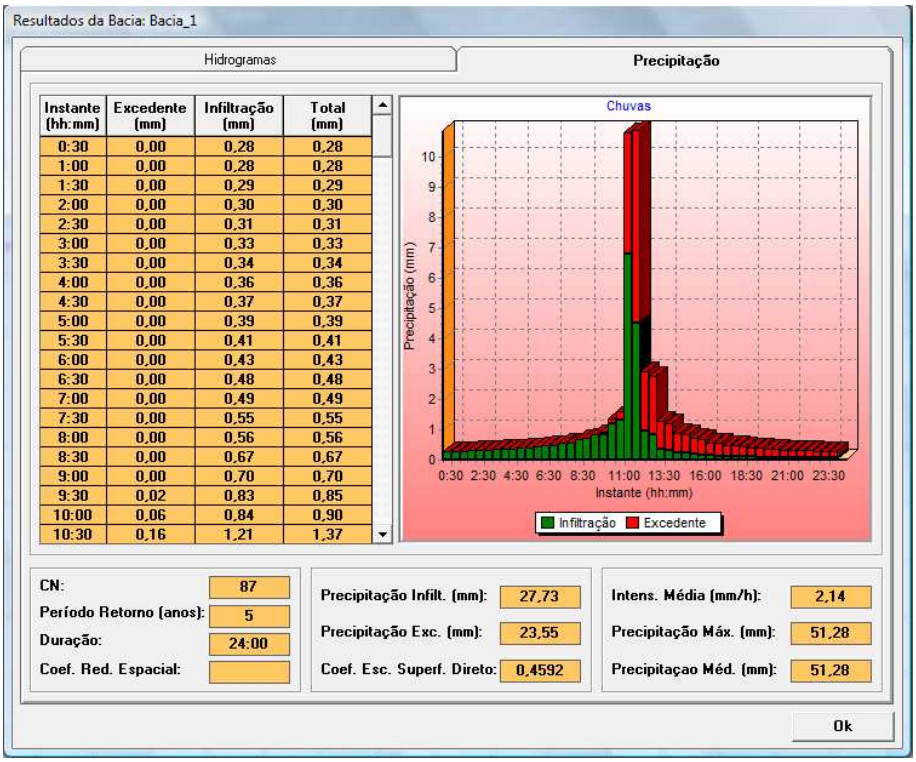
Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	1,21	1,21
1:00	0,00	1,69	1,69
1:30	0,00	2,17	2,17
2:00	0,13	4,58	4,71
2:30	3,57	7,95	11,52
3:00	2,04	2,00	4,04
3:30	1,56	1,22	2,78
4:00	1,37	0,92	2,29
4:30	1,13	0,68	1,81
5:00	0,86	0,47	1,33
5:30	0,96	0,49	1,45
6:00	0,81	0,40	1,21
6:30	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00

Figura 36 - Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 6 horas de duração (Cenário 2).



Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	0,53	0,53
1:00	0,00	0,56	0,56
1:30	0,00	0,60	0,60
2:00	0,00	0,71	0,71
2:30	0,00	0,77	0,77
3:00	0,00	0,86	0,86
3:30	0,00	1,01	1,01
4:00	0,00	1,23	1,23
4:30	0,00	1,55	1,55
5:00	0,32	3,02	3,34
5:30	4,16	7,61	11,77
6:00	3,62	2,94	6,56
6:30	1,88	1,15	3,03
7:00	1,33	0,72	2,05
7:30	1,05	0,51	1,56
8:00	0,83	0,39	1,22
8:30	0,73	0,32	1,05
9:00	0,58	0,24	0,82
9:30	0,57	0,23	0,80
10:00	0,53	0,21	0,74
10:30	0,48	0,19	0,67

Figura 37 - Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 12 horas de duração (Cenário 2).



Instante (hh:mm)	Excedente (mm)	Infiltração (mm)	Total (mm)
0:30	0,00	0,28	0,28
1:00	0,00	0,28	0,28
1:30	0,00	0,29	0,29
2:00	0,00	0,30	0,30
2:30	0,00	0,31	0,31
3:00	0,00	0,33	0,33
3:30	0,00	0,34	0,34
4:00	0,00	0,36	0,36
4:30	0,00	0,37	0,37
5:00	0,00	0,39	0,39
5:30	0,00	0,41	0,41
6:00	0,00	0,43	0,43
6:30	0,00	0,48	0,48
7:00	0,00	0,49	0,49
7:30	0,00	0,55	0,55
8:00	0,00	0,56	0,56
8:30	0,00	0,67	0,67
9:00	0,00	0,70	0,70
9:30	0,02	0,83	0,85
10:00	0,06	0,84	0,90
10:30	0,16	1,21	1,37

Figura 38 - Resultados das simulações obtidas para os parâmetros infiltração x precipitação, para precipitações com 24 horas de duração (Cenário 2).

Através da avaliação das taxas de infiltração para as duas situações simuladas, foi possível notar que visivelmente houve uma diferença bastante significativa nos resultados, em que nas situações ideais simuladas (Cenário 1), que apresentavam uma maior cobertura vegetal nas áreas da Sub-Bacia, as taxas de infiltração foram bem superiores quando comparadas com as situações indesejáveis simuladas, já que as áreas ganharam mais espaço para produzir, no entanto as taxas de infiltração das precipitações máximas nas localidades foram reduzidas ao extremo.

Levando em consideração a taxa de infiltração básica da Sub-Bacia determinada no Capitulo 1, o Cenário 1 (Situação ideal) proporcionou um aumento dessa taxa de 8, 9 e 10%, enquanto o Cenário 2 (Situação indesejável) proporcionou uma diminuição infiltração de 11, 12 e 13%, para os períodos de retorno de 6, 12 e 24 horas respectivamente.

A implantação de mata secundária em áreas com a presença de solo da classe Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (Cenário 1), possibilitou uma melhor taxa relacionada a infiltração e consequentemente menores volumes de escoamento superficial direto, proporcionando um maior beneficio nessas

áreas, que apresentam uma alta suscetibilidade ao processo erosivo, devido as suas características físicas e a alta declividade presente na região analisada. No Cenário 2, essas áreas que apresentavam mata secundária foram retiradas favorecendo ainda mais o processo erosivo nessas classes de solos, visto que, a proteção e o aumento das taxas de infiltração do solo proporcionada pelas pastagens, não apresentam bons resultados como as matas secundárias.

Os solos das classes neossolo litólico e neossolo regolítico, apresentam pouca profundidade e geralmente são encontrados em regiões com altas declividades, na maioria dos casos são inadequados para o plantio de espécies agrícolas. Sua utilização de acordo com Oliveira (2005) esta relacionada como áreas de reserva natural, na simulação do Cenário 1 foi recomendado que as áreas que apresentavam pastagens nessas classes de solo, fossem substituídas por plantas nativas ou árvores que apresentassem um sistema radicular não muito profundo e resistente, visto as propriedades físicas encontradas nessa classe de solo, a fim de proporcionar uma maior taxa de infiltração e menores volumes de escoamento superficial.

No entanto a classe de solo neossolo flúvico foi a única que não teve modificação quanto ao aumento da área (Cenário 1), visto que, essa área já vem sendo utilizada de uma maneira adequada, com a produção de arroz. Essa classe de solo é formada por sedimentos oriundos das partes mais elevadas da Sub-Bacia, e se apresenta em relevo plano, não apresentando problemas relacionados à erosão. O Cenário 2 propôs que essa áreas produtivas fossem substituídas pela utilização de pastagens, no entanto, essa recomendação seria totalmente desnecessária, visto que, nessa região as condições atuais são as ideais para uma ótima manejo do solo.

Avaliando a taxa de escoamento superficial nas duas situações simuladas, é possível encontrar resultados parecidos com as taxas de infiltração, em que as áreas simuladas com maiores presenças de cobertura vegetal, proporcionaram um menor índice de escoamento superficial, isto ocorre devido à presença da cobertura vegetal que possibilita que as precipitações infiltrem ao invés de escoarem pelo terreno.

Os resultados para os demais anos simulados apresentaram resultados idênticos aos simulados, em que, as simulações do cenário ideal apresentam as maiores taxas de infiltração e menores taxas para o escoamento superficial em comparação ao cenário indesejável. Esses resultados serão apresentados nas Tabelas 14 e 15, uma vez que os gráficos são semelhantes aos apresentados.

Tabela 14: Taxa de infiltração e escoamento superficial das simulações para o Cenário 1.

Tempo de retorno (anos)	Chuvas (h)	Taxa de infiltração (mm)	Taxa de escoamento Superficial
25	6	36,04	0,3195
	12	39,23	0,3780
	24	42,32	0,4361
50	6	38,29	0,3607
	12	41,43	0,4193
	24	44,42	0,4761

Tabela 15: Taxa de infiltração e escoamento superficial das simulações para o Cenário 2.

Tempo de retorno (anos)	Chuvas (h)	Taxa de infiltração (mm)	Taxa de escoamento Superficial
25	6	28,08	0,4697
	12	29,93	0,5255
	24	31,66	0,5781
50	6	29,40	0,5093
	12	31,17	0,5632
	24	32,80	0,6132

6.3. Hidrogramas obtidos das simulações

Os resultados dos hidrogramas são de fundamental importância para o calculo da produção de sedimentos pela MUSLE, pois através desses resultados, foram obtidos os valores da vazão de pico e do volume do hidrograma.

De maneira semelhante aos resultados obtidos na simulação da precipitação e do escoamento superficial, os resultados demonstram que as simulações do Cenário 1 (condições ideais) apresentaram menores valores de vazão de pico e volume do hidrograma. Esses resultados demonstram que, em áreas onde a ocorre a maior presença

de vegetação esses índices são menores, uma vez que, a precipitação ocorrida nas localidades, geralmente apresentam maiores taxas de infiltração proporcionando com isso menores valores finais para a vazão de pico e volume do hidrograma.

As Figuras 39, 40 e 41 apresentam os resultados obtidos para as simulações do Cenário 1, para um período de retorno de 5 anos, com tempo de precipitação de 6, 12 e 24 horas, respectivamente.

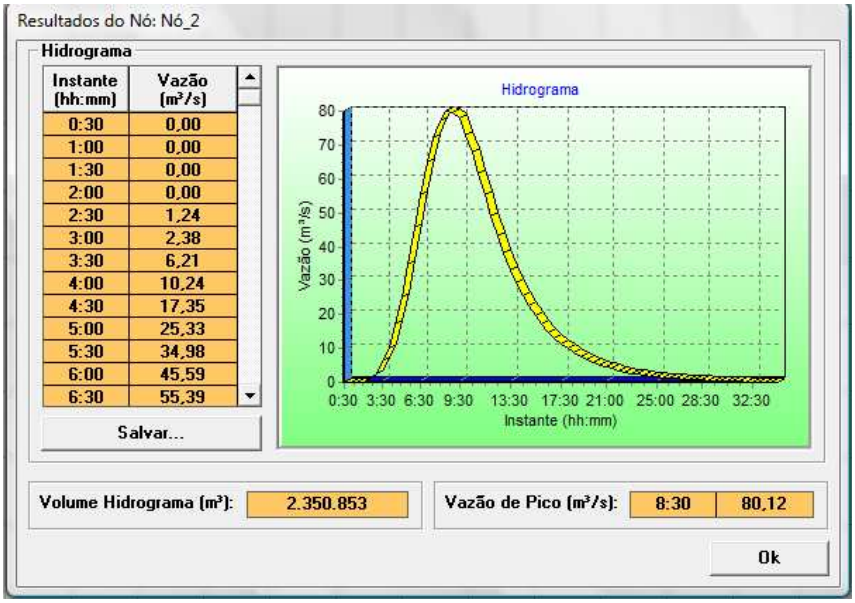


Figura 39 – Hidrograma produzido para precipitações com duração de 6 horas (Cenário 1).

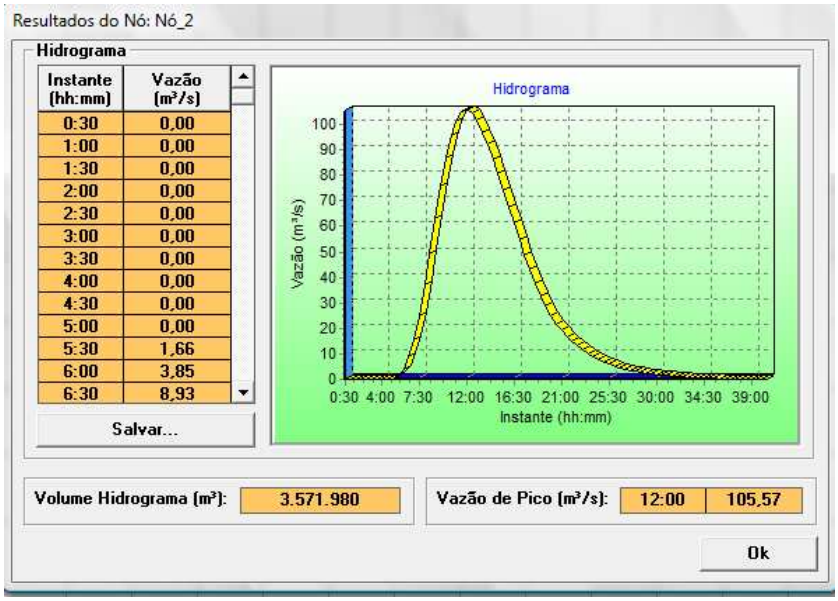


Figura 40 – Hidrograma produzido para precipitações com duração de 12 horas (Cenário 1).

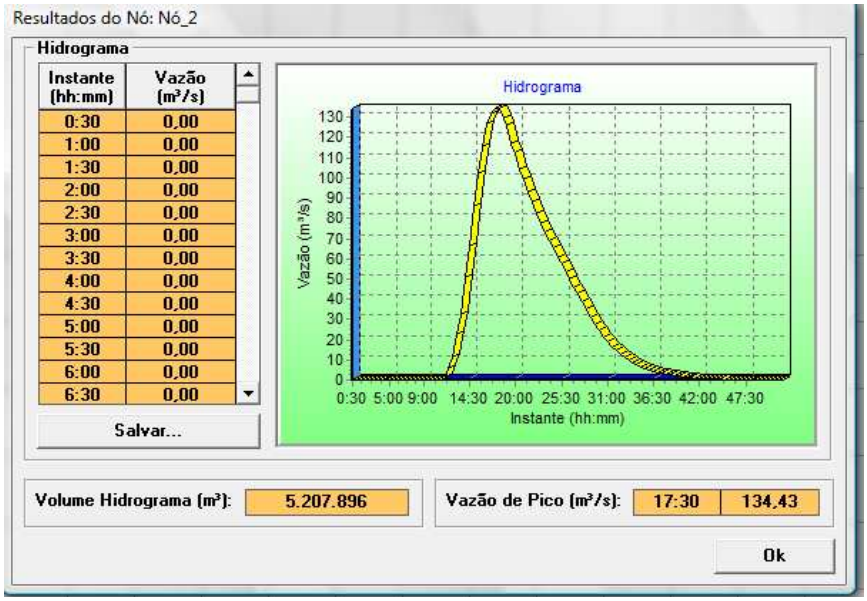


Figura 41 – Hidrograma produzido para precipitações com duração de 24 horas (Cenário 1).

As Figuras 42, 43 e 44 apresentam os resultados obtidos para as simulações do Cenário 2, para um período de retorno de 5 anos, com tempo de precipitação de 6, 12 e 24 horas, respectivamente.

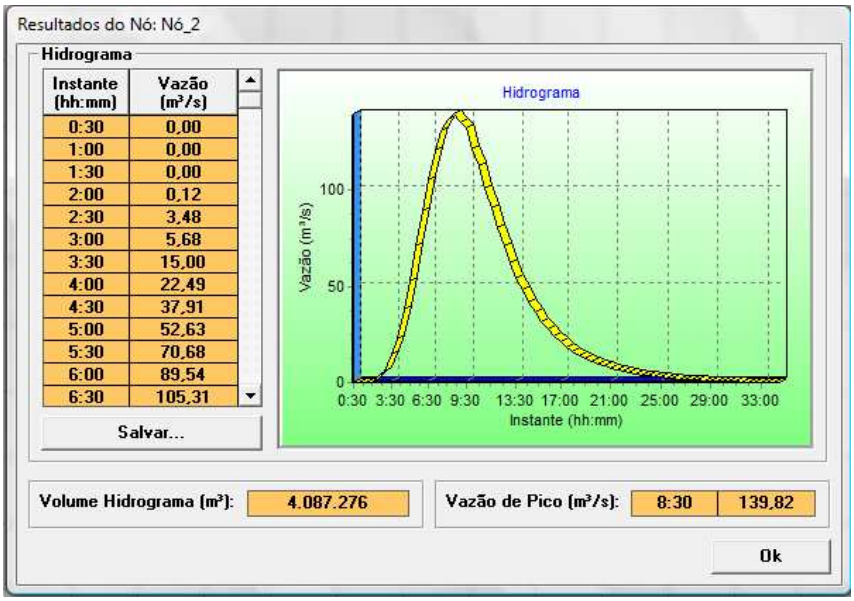


Figura 42 – Hidrograma produzido para precipitações com duração de 6 horas (Cenário 2).

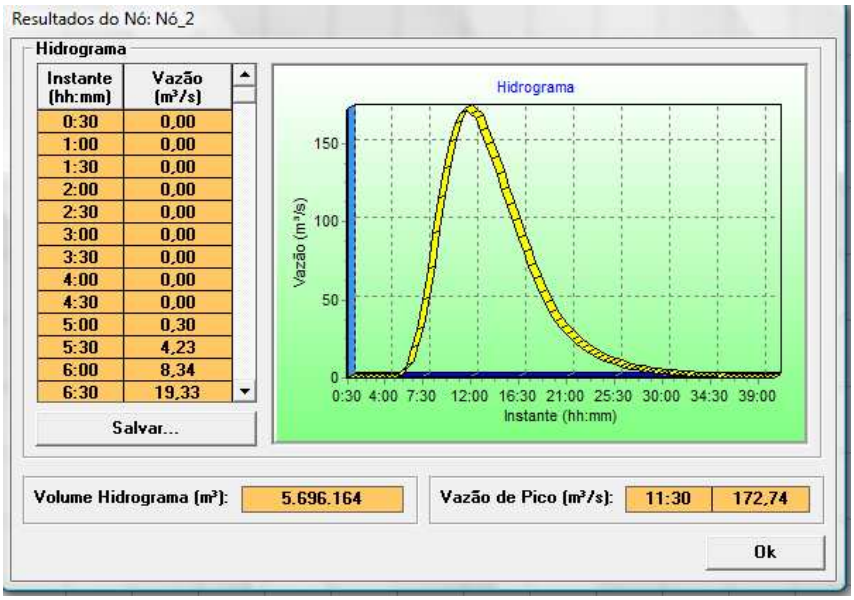


Figura 43 – Hidrograma produzido para precipitações com duração de 12 horas (Cenário 2).

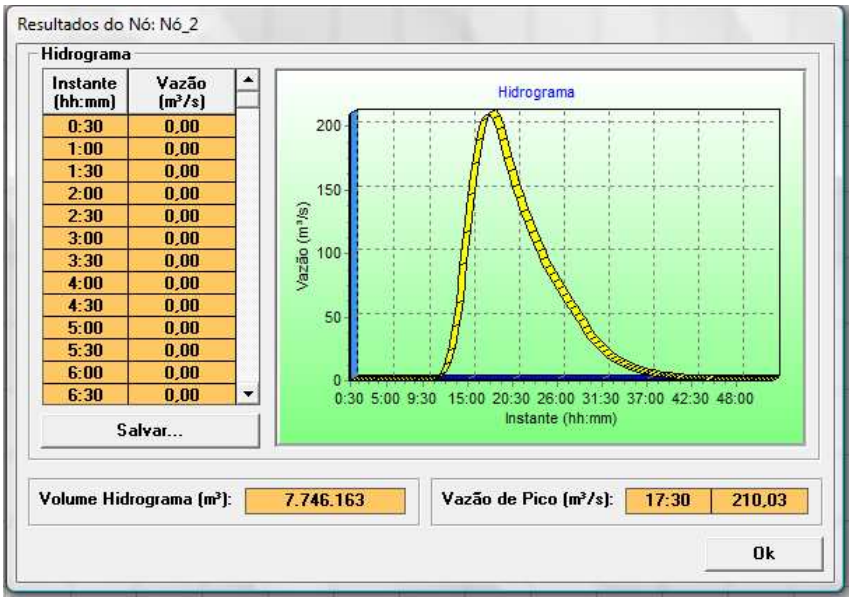


Figura 44 – Hidrograma produzido para precipitações com duração de 24 horas (Cenário 2).

Os resultados para as simulações com tempo de retorno de 25 e 50 anos serão apresentados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16: Vazão de pico e volume do hidrograma para o Cenário 1.

Tempo de retorno (anos)	**Chuvas (h)**	**Vazão de Pico (m^3s^{-1})**	**Volume do hidrograma (m^3)**
25	6	190,44	5.565,558
	12	237,04	7.843,386
	24	290,20	10.764.403
50	6	243,13	7.107,879
	12	299,02	9.842,049
	24	361,33	13.277,309

Tabela 17: Vazão de pico e volume do hidrograma para o cenário 2.

Tempo de retorno (anos)	**Chuvas (h)**	**Vazão de Pico (m^3s^{-1})**	**Volume do hidrograma (m^3)**
25	6	279,13	8.183,259
	12	334,23	10.901,668
	24	394,07	14.271,253
50	6	341,78	10.034,618
	12	405,99	13.218,213
	24	474,26	17.100,456

Os valores indicam que maiores produções de sedimentos ocorrem nas localidades em que a presença de mata é menor. Os resultados das produções de sedimentos são apresentados a seguir.

6.4. Simulação da produção de sedimentos

Os cálculos para a produção de sedimentos foram obtidos para as duas situações simuladas (Cenários 1 e 2), levando em consideração um período de retorno de 5, 25 e 50 anos, conforme as Figuras 45, 46 e 47.

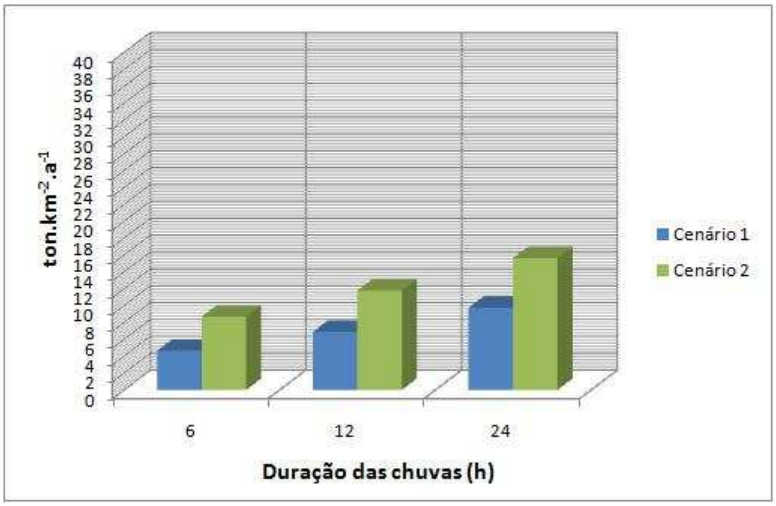


Figura 45 - Produção de sedimentos para o Cenário 1 (situação ideal) e o Cenário 2 (situação indesejável) para o Período de Retorno de 5 anos.

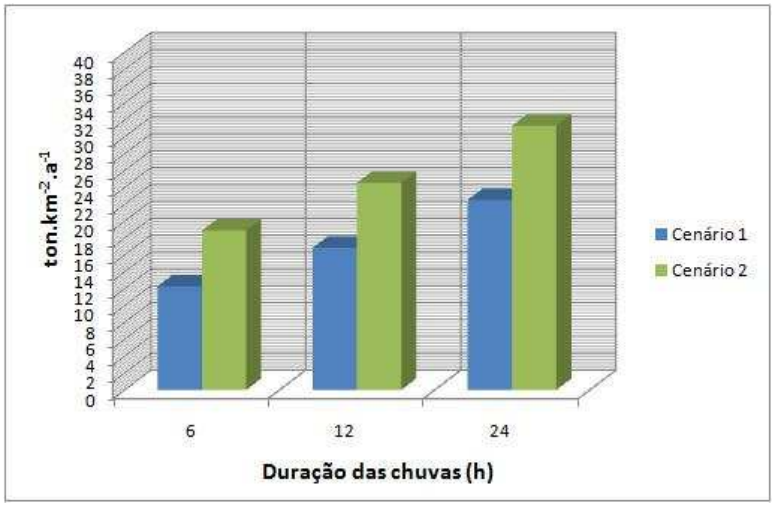


Figura 46 - Produção de sedimentos para o Cenário 1 (situação ideal) e o Cenário 2 (situação indesejável) para o Período de Retorno de 25 anos.

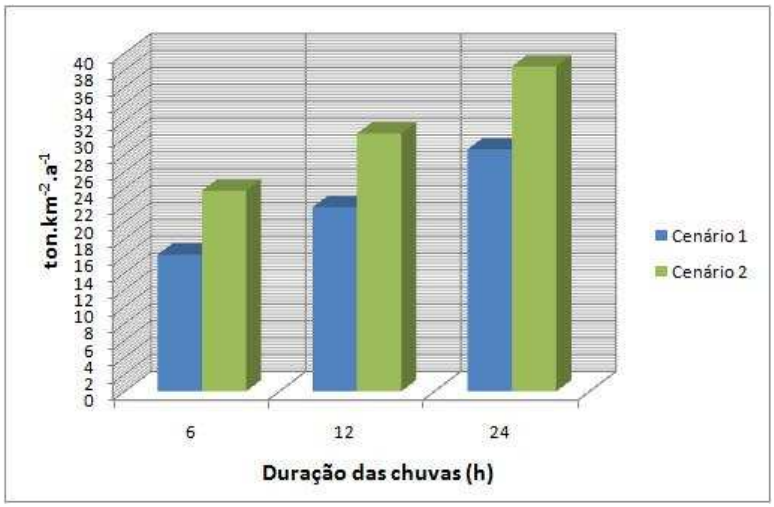


Figura 47 - Produção de sedimentos para o Cenário 1 (situação ideal) e o Cenário 2 (situação indesejável) para o Período de Retorno de 50 anos.

Os resultados apresentados nas figuras evidenciam uma grande diferença na produção de sedimentos em relação às situações simuladas. Em todos os casos as simulações para o Cenário 1 produziram uma quantidade muito inferior de sedimentos em comparação com o Cenário 2. Este fato deve-se a uma maior quantidade de vegetação encontrada no Cenário 1.

Os dados completos obtidos nas simulações são descritos na Tabela 18.

Tabela 18 - Produção de sedimentos totais das duas situações simuladas.

Tempo de retorno (anos)	**Produção de sedimentos – Cenário 1 ($ton.km^{-2}.ano^{-1}$)**	**Produção de sedimentos – Cenário 2 ($ton.km^{-2}.ano^{-1}$)**
5	4.678,390	8.710,380
	6.901,238	11.808,140
	9.758,971	15.648,810
25	12.310,189	18.923,682
	16.863,099	24.579,711
	22.549,670	31.342,609
50	16.186,736	23.760,407
	21.808,977	30.530,970
	28.673,662	38.474,131

Fica então evidente a fundamental importância que a vegetação nas bacias hidrográficas exerce sobre as produções de sedimentos, visto que as mesmas favorecem que as precipitações infiltrem nos solos ao invés de escoarem plenamente e com isso produzirem sedimentos.

7. Conclusões

As simulações da produção de sedimentos sob diferentes situações de manejo fornecem subsídios relacionado ao melhor planejamento a ser utilizado em bacias hidrográficas, em se tratando ao uso e ocupação do solo, pois por meio dessas simulações é possível prever efeitos dos eventos hidrológicos no longo prazo.

Essas simulações provaram o real efeito que a vegetação exerce no controle da produção de sedimentos em bacias hidrográficas. Pois o aumento de 50% na vegetação proporcionou melhores efeitos do que a diminuição de 50% das áreas vegetadas. Os resultados obtidos para a produção de sedimentos no Cenário 1, demonstraram o real efeito que a vegetação exerce, tanto na proteção do solo quanto na diminuição do escoamento superficial e aumento das taxas de infiltrações.

A manutenção ou mesmo desocupação de áreas improdutíveis, favoreceram o controle com relação à produção de sedimentos, pois áreas de pastagens, que estão há muito tempo sem nenhum uso ou mesmo manutenção podem ser ocupadas por vegetações nativas, e com isso proporcionar grandes benefícios para o controle da geração de sedimentos. Justificando essa idéia foi possível observar no primeiro cenário, que com um aumento de vegetação nas áreas de pastagens a produção de sedimentos foi de 4.678,390 e no segundo cenário foi de 8.710,380 $ton.km^{-2}.ano^{-1}$, a presença de vegetação diminuiu em quase 50% a produção de sedimentos em comparação aos resultados do Cenário 2. As produções de sedimentos nos dois cenários propostos são considerados baixos, menos para o Cenário 1, tempo de retorno de 5 anos com duração de chuvas de 6 horas, que foi classificado como uma produção de sedimentos muito baixa.

8. Referencial Teórico

BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.; FILL, H. D.; TUCCI, C. E. M.; KELMAN, J.; BRAGA Jr, B. **Modelo para Gerenciamento de Recursos Hídricos.** *Nobel*, ABRH, São Paulo, SP, 1987, 526p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 1985. 355p.

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

CASTRO, A. G.; VALÉRIO FILHO, M. **Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p. 419-426. 1997.

FOHRER, N.; HAVERKAMP, S.; ECKHARDT, K. & FREDE, G. **Hydrologic response to land use changes on the catchment scale**. *Phys. Chem. Earth*, 26:577-682, 2001.

GENOVEZ, A. M. **Avaliação dos métodos de estimação das vazões de enchente para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo**. Campinas, 1991. Tese (Livre Docência) Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 1991.

GRIGG, N. S. **Water resources management: principles, regulations, and cases**. New York, *McGraw-Hill Book*, 1996. 540p.

KUHNLE, R. A.; BINGER, R. L.; FOSTER, G. R. & GRISSINGER, E. H. **Effect of land use changes on sediment transport**. *Water Res. Res.*, vol. 32:3, p. 189-3196, 1996.

JULIEN, P. Y.; SAGHAFIAN, B.; OGDEN, F. L. **Raster-based hydrologic modeling of spatially-varied surface runoff**. *Water Resources Bulletin*, v.31, n.3, p.523-536, 1995.

LAL, R. Soil erosion by wind and water: Problems and prospects. In: LAL, R. **Soil erosion and research methods**. *Wageningen*: SWCS, 1988, p. 1-6.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. **Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 27, p. 727 – 733, 2003.

MORO, M. **A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos.** 2005, 100p. Dissertação (Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba –SP, 2005.

NOVOTNY, V. **Difuse pollution from agriculture.** *Water Science and Technology*, Grã Bretanha, 39 (3), 1999, p. 1-13.

OLIVEIRA, C. P. M.; MELLO JÚNIOR, A.V.; MARCELLINI, S.S.; PORTO, R.L.L. **Sistema de Apoio para Determinação de Vazões de Projeto em Bacias Complexas com Base em Precipitações Máximas**. In: I *Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste*, 2006, Curitiba. Recursos hídricos e a gestão territorial. Porto Alegre : ABRH, 2006.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574P.

OLIVEIRA, L. C. K. de. **Papel do Monitoramento e da Previsão de Vazões no Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. 2003, 177p. Dissertação (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2003.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão do solo: contribuição metodológica**. Tese de doutoramento. São Paulo, USP, 1991.

RANIERI, S. B .L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M. P.; DOURADO NETO, D. **Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 751-760. 1998.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos Hidrológicos para gestão ambiental – relatório parcial.** *Ministério da Ciência e Tecnologia, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, 2000, 60p.

SCHWAB, G. O.; FREVERT, R. K.; EDMINSTER, T. W. & BARNES, K. K. **Soil and water conservation engineering**. 3.ed. New York, Johm Wiley & Sons, 1981. 683p.

TAVARES, A. C. F.; MORAES, J. F. L.; ADAMI, S. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALERIANO, M. M. **Expectativa de degradação dos recursos hídricos em microbacias hidrográficas com auxilio de sistemas de informação geográfica.** *Revista Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 25, nº 2, p. 417- 424, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** Ed. UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 1998.

USDA-SCS. Supplemental **watershed work plan no. 2**. Añasco River Watershed Puerto Rico. United States Department of Agriculture, *Soil Conservation Service*. 1973.

WILLIAMS, J.R. **HYMO flood routing**. *Journal of Hydrology*, v.26, p.17-27, 1975.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo