



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento

EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE

JUSSARA SEVERO DA SILVA

João Pessoa
Novembro - 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP
Biblioteca Nilo Peçanha - IFPB

528

S586e Silva, Jussara Severo da.

Extração de atributos hidrológicos de bacias hidrográficas, utilizando software livre / Jussara Severo da Silva. – João Pessoa: IFPB, 2009.

90 f. : il.

Monografia (Graduação em Geoprocessamento) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB.

Orientação: Dr. Eugênio Pacelli Fernandes Leite.

1.Geoprocessamento.2.Modelo digital de elevação – bacia hidrográfica.3.Hidrologia.4.Sensoriamento remoto. 5. Software livre. I. Título.

JUSSARA SEVERO DA SILVA

**EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE**

Monografia apresentada ao Curso Superior em Tecnologia de Geoprocessamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB, como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Geoprocessamento.

Orientador: Dr. Eugênio Pacelli Fernandes Leite

João Pessoa
Novembro - 2009

TERMO DE APROVAÇÃO

JUSSARA SEVERO DA SILVA

**EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE**

Monografia aprovada no período 2009.2, em 09 / Novembro / 2009 como requisito para obtenção do título de **TÉCNOLOGO EM GEOPROCESSAMENTO** no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba -IFPB

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Pacelli Fernandes Leite

Examinador: Prof. Dr. Ridelson Farias de Sousa

Examinador: Prof. Msc. Carlos Lamarque Guimarães

João Pessoa
Novembro - 2009

*"Sejam alegres na esperança,
pacientes na tribulação e
perseverantes na oração."*

Rm 12,12

Agradecimentos

Ao Professor Eugênio Pacelli pela orientação desta monografia com participação e compromisso.

Aos profissionais desta instituição, sendo ETEPB, CEFETPB ou IFPB, que têm compromisso com a Educação.

Aos meus amigos e amigas, pela amizade e que ao longo deste curso, muito contribuíram para o meu crescimento, seja pessoal ou profissional.

Aos Órgãos e Instituições que já compreenderam a importância da disponibilização de informações públicas para a sociedade.

Aos profissionais que contribuem para difundir, desenvolver e aprimorar este segmento - software livre.

Aos meus amigos e amigas de caminhada, aos sacerdotes e a Canção Nova meu carinho, minha oração e meu respeito.

As inúmeras pessoas que direta ou indiretamente cooperaram com a realização deste trabalho.

A minha irmã Giselda pela alegria, companheirismo e estímulo constante.

Agradeço com carinho a minha – D. Zelita, por sempre ter me mostrado através das ações que o amor é um bem maior.

A minha mãe Maria que sempre me lembra: “Fazei tudo o que Ele vos disser” Jo 2,5.

A São Miguel Arcanjo que sempre me defende no combate.

Ao Espírito Santo que ilumina, guia e fortalece, por que “o Espírito do Senhor enche o universo, dá consistência a todas as coisas e tem conhecimento de tudo o que se diz”.
Sb 1,7

A Jesus meu Salvador e Redentor que sempre me diz: “Olhem os pássaros do céu: eles não semeiam, não colhem, nem ajuntam em armazéns. No entanto, o Pai que está no céu os alimenta. Será que vocês não valem mais do que os pássaros?”
Mt 6,26

A Deus Pai, que é Amor porque “Em paz me deito e logo adormeço, porque só Tu, me fazes viver tranqüila”
Sl 4,9

**Ao meu pai, João Severo (*in memoriam*) e a
minha mãe, Maria José, pelo exemplo de
força, coragem, trabalho, dedicação,
respeito e honestidade.**

Dedico

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1.0 INTRODUÇÃO	14
2.0 ASPECTOS CONCEITUAIS - RECURSOS HÍDRICOS, HIDROLOGIA E GEOPROCESSAMENTO	16
2.1 Hidrologia.....	17
2.1.1 Ciclo Hidrológico.....	17
2.1.2 Bacia Hidrográfica	18
2.2 Modelos Digitais de Elevação no estudo de bacias hidrográficas	20
2.2.1 Definições de Modelo Digital de Elevação	21
2.2.2 Exemplos de aplicações de Modelo Digital de Elevação	21
2.2.3 Obtenção do Modelo Digital de Elevação	22
2.3 Sensoriamento Remoto e aquisição de modelos digitais de elevação	23
2.3.1 Sistema de Sensores.....	23
2.3.2 Sistema de processamento de dados	24
2.3.3 Sistema de Análise	24
2.4 Radar	24
2.4.1 Principais aplicações com Radar	26
2.4.2 Interferometria de Radar.....	27
2.4.3 Missão SRTM - Descrição e MDE	29
2.4.4 Dados da Missão SRTM obtidos na EMBRAPA	33
2.5 Utilização de dado SRTM para estudo de bacias hidrográficas.....	34
2.6 Extração de atributos topográficos em bacias hidrográficas a partir de MDE.....	36
2.7 SOFTWARE LIVRE	39
2.7.1 O SIG GRASS	40

3.0 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.1 Aspectos gerais da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape	42
3.2 Caracterização Hidrogeológica - Sistemas Aquíferos na Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.....	44
4.0 METODOLOGIA	45
4.1 Dados Geográficos SRTM EMBRAPA	45
4.2 Retângulo Envolvente.....	46
4.3 Equipamento Computacional.....	47
4.4 Programa Computacional.....	47
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
5.1 Importação dos dados da EMBRAPA para o SIG GRASS.....	50
5.2 Junção das Articulações no SIG GRASS.....	50
5.3 Construção do MDE 90 m	52
5.4 Refinamento do MDE 90 m para MDE 30 m	53
5.5 Produtos Resultantes	56
5.5.1 Relevo Sombreado	56
5.5.2 Aspecto e Declividade.....	58
5.5.3 Análise da Bacia Hidrográfica	61
6.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	76
6.1 Dados SRTM	76
6.2 Programa SIG GRASS.....	76
6.3 Extração de Atributos Hidrológicos	77
6.4 Considerações finais	80
7.0 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AML - Arc Macro Language

ASI - Agenzia Spaziale Italiana

BH - Bacia Hidrográfica

CIAT - International Center for Tropical Agriculture

DEM - Digital Elevation Model

DLR - Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA - United States of America

GDAL - Geospatial Data Abstraction Library

GIS - Geographic Information System

GPS - Global Positioning System

GRASS - Geographic Resources Analysis Support System

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

InSAR - Radar Interferométrico de Abertura Sintética

MDE - Modelo Digital de Elevação

MNT - Modelo Numérico de Terreno

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NIMA - National Imagery and Mapping Agency

PERH-PB - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba

RADAR - Radio Detection and Ranging

RAR - Real Aperture Radar

RST - Regularized Spline with Tension

SAR - Synthetic Aperture Radar

SELPER - Sociedade Latino Americana de Sensoriamento Remoto

SGBD - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SLAR - Side Looking Airborne Radar

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

USLE - Universal Soil Loss Equation

USGS - United States Geological Survey

WGS 84 - World Geodetic System 1984

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da água doce superficial no mundo (BRASIL, 2007).	16
Figura 2 - Exemplos de inter-relações entre o uso e ocupação do solo e agentes alteradores da qualidade da água (Von Sperling, 1995).....	19
Figura 3 - Sistema Sensor (Moreira, 2005).....	23
Figura 4 - Espectro eletromagnético e bandas da região de microondas (INPE/SELPER, 2000).	25
Figura 5 - Descrição das etapas de obtenção da imagem (DLR, 2007).....	28
Figura 6 - Missão SRTM- Detalhes do Radar Interferométrico (SANTOS <i>et al</i> , 2006).	30
Figura 7 - Configuração de vôo de SRTM e geometria da radiação (RABUS, 2003).	30
Figura 8 - Mapeamento do padrão do SRTM/X-SAR interferométrico (RABUS, 2003).	31
Figura 9 - As oito possíveis direções de escoamento, para cada uma das células do MDE (Chaves, 2002).	38
Figura 10 - Apresentação do cálculo preferencial da água, de acordo com o método D8 (RIBEIRO, 2000 <i>apud</i> CHAVES, 2002).	38
Figura 11 - Processo de extração da drenagem (Chaves, 2002).	39
Figura 12 - Articulação para o download do SRTM do Estado da Paraíba (EMBRAPA, 2007).	45
Figura 13 - Identificação da área de estudo no estado da Paraíba.	46
Figura 14 - Informações sobre o Sistema Operacional.	47
Figura 15 - Representação Esquemática das etapas desenvolvidas.	49
Figura 16 - Junção do mde_embropa_a com o mde_embropa_b.....	51
Figura 17 - MDE_embropa.....	51
Figura 18 - MDE_embropa no SIG GRASS.....	51
Figura 19 - Composição do dado SRTM-EMBRAPA com o estado da Paraíba.	52
Figura 20 - Modelo Digital de Elevação na resolução espacial de 90 m.	52
Figura 21 - Modelo Digital de Elevação na resolução espacial de 30 m.	53
Figura 22 - Comparação entre os MDE 90 m (Figura 22.1) com o MDE 30 (Figura 22.2), da área em destaque após o refinamento (22.a).	54
Figura 23 - Visualização tridimensional do retângulo envolvente da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.....	55
Figura 24 - Mapa do Relevo Sombreado obtido com o módulo <i>r.shaded.relief</i>	56
Figura 25 - Mapa do Relevo Sombreado renderizado com o MDE 30 m	57
Figura 26 - Mapa de Aspecto.	59
Figura 27 - Representação esquemática adotada para a exposição do terreno.....	59
Figura 28 - Mapa de Declividade (legenda em %).	60
Figura 29 - Mapa da capacidade de escoamento em que valor 0 = área de depressão; valor negativo está fora dos limites região geográfica corrente e valor positivo indica a direção do fluxo, seguindo o padrão D8.....	62
Figura 30 - Mapa de fatores do solo para USLE associados à declividade - valores declividade e comprimento do declive (LS), multiplicados por 100.	64

Figura 31 - Mapa de comprimento dos declives (<i>slope.steepness</i>) onde os valores do fator de comprimento de declividade são multiplicados por 100.	65
Figura 32 - Visão parcial da área de estudo através do mapa de acumulação, elaborado com base no número células de contribuição para cada canal da rede de drenagem.	66
Figura 33 - Detalhe do mapa de acumulação.	67
Figura 34 - Visão parcial da área de estudo através do mapa visual, onde a gradação de cores é em função da acumulação de fluxo.....	68
Figura 35 - Detalhe do mapa visual.	68
Figura 36 - Mapa de bacias.....	69
Figura 37 - Mapa do fluxo de escoamento.....	70
Figura 38 - Detalhes da rede de fluxo a partir do Mapa do Fluxo de Escoamento.	71
Figura 39 - Área da BH com a drenagem principal.....	71
Figura 40 - Detalhe das sub-bacias com a drenagem.	72
Figura 41: Detalhe das sub-bacias com <i>shaded relief</i> e o MNT.....	72
Figura 42 - Limite final da BH Mamanguape com as sub-bacias.	73
Figura 43 - Detalhe da BH Mamanguape com as sub-bacias.	74
Figura 44 - Representação da BH Mamanguape sobre o mnt_embrapa e o contorno do Estado da Paraíba.....	75

RESUMO

A água é um bem essencial à vida e ao desenvolvimento econômico-social. E a Bacia Hidrográfica, no Brasil, é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei N° 9.433/97). A área de estudo deste trabalho foi a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, a qual está situada na porção nordeste do Estado da Paraíba. Foram utilizados os dados da missão SRTM, oriundos da EMBRAPA e o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos – GRASS, o qual é um SIG livre e de código aberto para a extração de atributos topográficos a partir de MDE – modelo digital de elevação. As etapas desenvolvidas foram: importação dos dados obtidos na EMBRAPA (*r.in.gdal*), junção das articulações (*r.mapcalc*), Importação e conversão dos dados vetoriais (*v.to.rast*), delimitação do retângulo da área de trabalho (*g.region*), criação da máscara no SIG GRASS (*r.mask*), construção do modelo digital de elevação 90 m (*v.surf.rst*), refinamento do MDE 90 m para MDE 30 m (*r.resamp.interp*), visualização tridimensional (NVIZ) e geração dos produtos referentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, tais como: Relevo Sombreado (*r.shade.relief*), Mapa do Relevo Sombreado renderizado com o MDE 30 m, Aspecto e Declividade (*r.slope.aspect*) e análise da Bacia Hidrográfica (*r.watershed*). A representação gráfica das características da bacia, obtida através dos módulos do SIG GRASS, com a utilização dos dados oriundos da EMBRAPA, permitiu melhor compreender a identidade da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. Dessa forma, Os resultados obtidos indicam a viabilidade da aplicação e utilização de dados SRTM e de programa Open Source, neste caso o SIG GRASS.

Palavras-chaves: Modelo Digital de Elevação, SIG GRASS, Bacia Hidrográfica, SRTM

ABSTRACT

Water is essential for life and for the social and economic development. The watershed, in Brazil, is the territorial unit to implement the National Policy on Water Resources (Law N° 9433/97). The present study selected the Mamanguape Watershed, which is located in the northeast site of the Paraíba State - Brazil. We used the SRTM data, derived from EMBRAPA, and the Geographic Resources Analysis Support System – GRASS, which is a free and open source GIS for the extraction of topographic attributes from DEM - digital elevation model. The steps developed were: import of data obtained from EMBRAPA (r.in.gdal), joints junction (r.mapcalc), Import and conversion of the vector data (v.to.rast), delimitation of the desktop rectangle (g.region), mask creation using GIS GRASS (r.mask), construction of the 90 meters digital elevation model (v.surf.rst), refinement of the 90m MDE to 30 m MDE (r.resamp.interp), three-dimensional visualization (NVIZ) and generation of products relating to the Mamanguape Watershed such as: Shaded Relief (r.shade.relief), shaded relief map rendered with 30 m DEM, Slope and Aspect (r.slope.aspect) and watershed analysis (r.watershed). Thus, the graphical representation of the watershed characteristics, obtained through the GRASS GIS modules, using data obtained from EMBRAPA, provided better understand on the Mamanguape Watershed identity. Based on this, the current results indicate the viability on application and use of SRTM data and the Open Source program, in this case the GIS GRASS.

Key-words: Digital Elevation Model, SIG GRASS, Watershed, SRTM

1.0 INTRODUÇÃO

Gestão das águas, que necessariamente envolve o planejamento dos recursos hídricos, é, em essência, um processo decisório que requer a participação da população, do governo e de representantes dos mais variados segmentos da sociedade. Dessa forma, busca-se criar um sistema de manejo para os corpos d'água da bacia hidrográfica, evidenciando a manutenção das disponibilidades quali-quantitativas dos recursos, a longo prazo.

No contexto, observa-se que a aplicação da hidrologia volta-se para os diferentes problemas que envolvem a utilização dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e ocupação da bacia hidrográfica.

Planejar uma bacia hidrográfica significa estruturar um conjunto de procedimentos, capazes de assegurar a utilização ambientalmente correta dos seus recursos naturais, visando promover o seu desenvolvimento sustentado e garantir a conservação e preservação ambiental.

No entanto, muitas são as variáveis ao se trabalhar com recursos hídricos e maiores são os resultados - seja pela importância, abrangência ou aplicação. Como exemplo, pode-se citar o abastecimento doméstico, o abastecimento industrial, a irrigação, a aqüicultura, preservação da flora e da fauna, lazer, obras hídricas, produção de energia hidrelétrica e navegação, dentre outros.

A coleta de informações relacionadas com o espaço geográfico, em uma bacia, a exemplo do mapeamento temático, sempre constitui-se em importante parte das atividades das sociedades organizadas e suas organizações científicas, voltadas, no caso, à gestão dos recursos hídricos. No geoprocessamento, uma fonte de dados da superfície terrestre oriunda do Sensoriamento Remoto são as imagens obtidas por diversos sensores, os quais são requisitos indispensáveis à realização de estudos ambientais, em escala de bacia hidrográfica.

O uso de sensores (ativo ou passivo) é uma alternativa para obtenção de informações, embora com limitações no espectro ótico ou em função de condições atmosféricas desfavoráveis, que dificultam o mapeamento sistemático de uma região.

As imagens, obtidas a partir dos sensores, são utilizadas para análise e interpretação da superfície terrestre, por permitir observar e descobrir a Terra de

uma posição privilegiada, proporcionando uma visão sinóptica e multitemporal do planeta.

Como exemplo de dados espaciais, estão os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), procedentes de levantamentos realizados pela Nasa e outros organismos internacionais, que abrangeram mais de 80% do globo terrestre. Em locais onde existe escassez de informações, esses dados podem ser extremamente úteis para obtenção de produtos necessários à realização de estudos relacionados com os recursos hídricos.

Os dados SRTM estão disponibilizados de forma gratuita, assim como também algum SIG (sistema de informação geográfica) capazes de processá-los visando a produção de mapas temáticos e mesmo a execução de modelos, necessários à gestão dos recursos hídricos.

O SIG GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*), em tal perspectiva, é um programa *open source* que dispõe de módulos que possibilitam a realização de análise da superfície terrestre à modelagem hidrológica, apresentando diversos resultados como, por exemplo, mapas de declividade, de relevo, de aspecto, da direção do fluxo, das redes de drenagem, índice topográfico, delimitação e análise de bacias hidrográficas.

A disponibilidade dos dados SRTM, bem como da ferramenta computacional citada, permitem a realização de estudos hidrográficos no sentido de auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou a utilização de dados SRTM, com processamento em ambiente do SIG GRASS visando à extração de atributos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, a Bacia do Rio Mamanguape, como forma de produzir, com o geoprocessamento, planos de informações a serem utilizados, na realização de estudos ambientais na área.

2.0 ASPECTOS CONCEITUAIS - RECURSOS HÍDRICOS, HIDROLOGIA E GEOPROCESSAMENTO

A água é um bem essencial à vida e ao desenvolvimento econômico-social das nações. Na primeira Constituição Republicana do Brasil, promulgada em 1891, continha apenas uma referência indireta ao uso dos recursos hídricos, ao mencionar a navegação. Assim, a preocupação em regulamentar o uso e as múltiplas finalidades dos recursos hídricos ficou relegada ao Código Civil, que só veio à luz em 1916, contendo disposições quanto às relações entre particulares e à prevenção ou solução de conflitos gerados pelo uso da água (BRASIL, 2006).

Em 1934 foi sancionado o Código de Águas, considerado inovador para a época e mundialmente respeitado como uma das mais completas normas legais sobre águas já concebidas.

Diante do processo de industrialização do país, as preocupações com os aspectos relacionados à conservação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos passam a fazer parte da agenda das instituições cujas atribuições estavam direta ou indiretamente relacionadas a essa questão.

Com o surgimento e crescimento dos agrupamentos urbanos, que pelas múltiplas atividades exigem a cada dia uma maior quantidade de água; e o abastecimento para suprir suas necessidades tornou-se extremamente complexo, envolvendo além dos problemas técnicos, fatores sociais, econômicos, legais e político-administrativos. Não raro, a questão abrange interesses nacionais e; em alguns casos, pode oferecer aspectos internacionais (SILVESTRE, 1979).

No cenário mundial, conforme está apresentado na Figura 1, o Brasil encontra-se em situação privilegiada quanto à quantidade, por possuir 26% da água doce superficial do mundo. Este é um diferencial importante em tempos de escassez planetária de água e traz consigo a responsabilidade de gestão estratégica desse patrimônio (BRASIL, 2007).

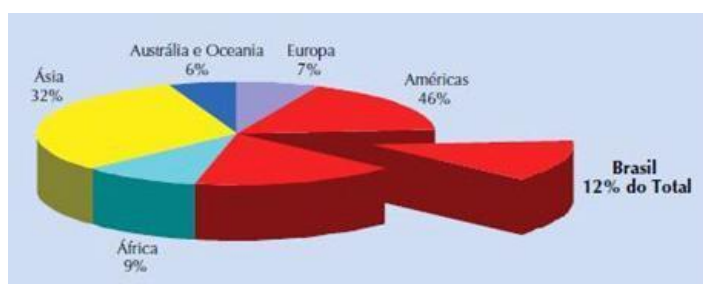


Figura 1 - Distribuição da água doce superficial no mundo (BRASIL, 2007).

2.1 Hidrologia

A Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, propriedades físicas e químicas; e a reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (CHOW, 1959 *apud* TUCCI, 2002). Essa é uma ciência que tem tido evolução significativa em face aos problemas crescentes, resultado da ocupação das bacias hidrográficas, do incremento significativo da utilização da água e do impacto resultante sobre o meio ambiente.

Para Tucci (2002), no âmbito da utilização de hidrologia em recursos hídricos, a mesma é entendida como a área que estuda o comportamento físico da ocorrência e o aproveitamento da água na bacia hidrográfica, quantificando estes recursos no tempo e no espaço, e avaliando o impacto da modificação da bacia hidrográfica sobre o comportamento dos processos hidrológicos.

O planejamento da ocupação da bacia hidrográfica é uma exigência para uma sociedade com usos crescentes da água, e que tende a ocupar espaços com riscos de inundação. A tendência atual envolve desenvolvimento sustentado da bacia hidrográfica, que implica no aproveitamento racional dos recursos com o mínimo dano ao ambiente (FONTES, 1997; TUCCI, 2002).

2.1.1 Ciclo Hidrológico

O Ciclo Hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (TUCCI, 2002).

Várias são as pesquisas cujo objetivo é um melhor entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos que intervêm no ciclo hidrológico. Ele é estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica (PAIVA *et al*, 2003; TUCCI, 2002).

Os condicionantes climáticos e geomorfológicos de um dado local (pluviometria, relevo, tamanho e forma da bacia, gradiente hidráulico do rio, etc.) são determinantes na frequência de ocorrência, tipologia e dinâmica do escoamento superficial de processos de enchentes e inundações.

Pode-se dizer que, além dos condicionantes naturais, as diversas intervenções antrópicas realizadas no meio físico têm sido determinantes na ocorrência de enchentes e inundações, principalmente nas áreas urbanas. Nas

idades brasileiras, a expansão urbana se dá a partir de um conjunto de ações que modificam as condições originais do ciclo hidrológico de uma dada região: o desmatamento, a exposição dos terrenos à erosão e conseqüente assoreamento dos cursos d'água, a impermeabilização dos terrenos, os diversos tipos de intervenção estrutural nos cursos d'água e, principalmente, no tocante à questão de risco, a ocupação desordenada dos seus terrenos marginais (ALCANTARA, 2005; TUCCI, 2002).

Conforme Toebe e Ouryvaev (1970) *apud* Paiva *et al.* (2003), todos os estudos em bacias hidrográficas devem ser planejados para obter uma melhor compreensão das relações físicas e matemáticas entre os diversos componentes do ciclo hidrológico, objetivando uma melhor previsão e quantificação destes elementos. O objetivo da pesquisa hidrológica não é apenas a coleta de dados, mas principalmente a interpretação destes dados para uso no planejamento do aproveitamento dos recursos de água e solo.

2.1.2 Bacia Hidrográfica

Define-se como bacia hidrográfica, uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída - seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Ela pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e infiltrados.

A bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor, assim designado por ser a linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias vizinhas e que encaminha o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. O divisor segue uma linha rígida em torno da bacia, atravessando o curso d'água somente no ponto de saída. Ele une os pontos de máxima cota entre as bacias, o que não impede que no interior de uma bacia existam picos isolados com cota superior a qualquer ponto do divisor (BELTRAME,

1994; PAIVA *et al.*, 2003; PINTO *et al.*, 1976; TUCCI, 2002; VENTURI, 2005; VILLELA & MATOS, 1975).

A análise do crescimento da cidade é essencial para a visão global do seu desenvolvimento no espaço e no tempo. Causas de ordem funcional, econômica e social determinam o crescimento da urbe (CORREA, 1989). Este crescimento influencia na hidrologia de uma cidade. Spirn (1995) cita que a alteração na hidrologia de uma cidade pela pavimentação e por esgotos e seu efeito tanto na oferta quanto na qualidade da água já tinham sido reconhecidos bem antes do século XX.

Von Sperling (1995) menciona que a qualidade da água de um determinado local é função do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica. Isto se deve às inter-relações entre o uso e ocupação do solo e a geração de agentes alteradores da qualidade da água de rios e lagos, conforme apresentado na Figura 2.

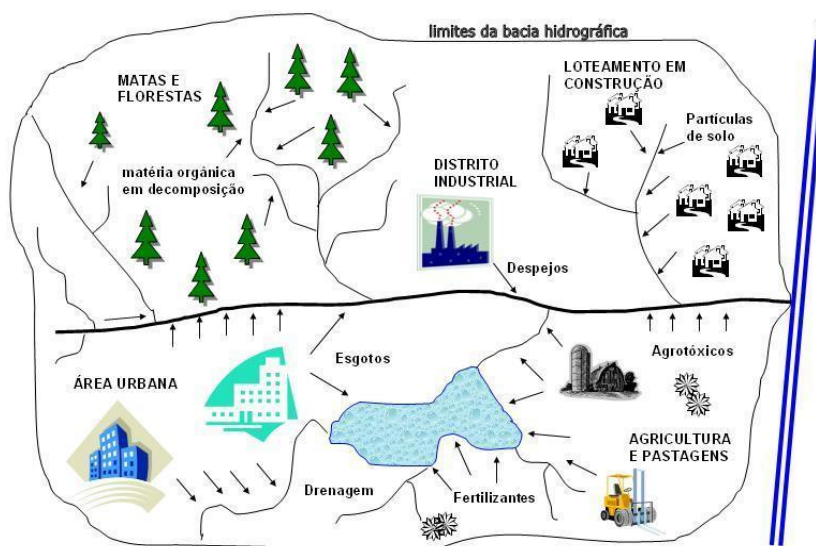


Figura 2 - Exemplos de inter-relações entre o uso e ocupação do solo e agentes alteradores da qualidade da água (Von Sperling, 1995).

Dessa forma, o controle da qualidade da água está associado a um planejamento em toda a bacia hidrográfica, e não individualmente, por agente alterador.

Gestão integrada dos recursos naturais consiste no estabelecimento de um conjunto de ações de natureza administrativa, em um determinado espaço ou unidade de planejamento que considera as inter-relações entre os recursos naturais e as atividades socioeconômicas (BEZERRA E MUNHOZ, 2000). Gestão é, em

outras palavras, o *modus operandi*, cuja premissa básica é manter os recursos naturais disponíveis para o desenvolvimento, hoje, amanhã e sempre.

A bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade geomorfológica fundamental, porque suas características governam, no seu interior, todo o fluxo superficial da água. Por isso, ela vem sendo considerada uma unidade territorial ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais (CHRISTOFOLETTI, 1978; POLITANO, 1992).

Na Lei N° 9.433/97 (art. 1°, § V) consta que a Bacia Hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

De acordo com Venturi (2005), a maior parte dos estudos de bacias hidrográficas refere-se a aspectos hidrodinâmicos e morfométricos. Os primeiros têm sido desenvolvidos principalmente em função da necessidade de se inventariar o potencial hidroenergético de bacias hidrográficas. Os morfométricos podem servir para as interpretações hidrodinâmicas e geomorfológicas, possibilitando interpretações sobre a gênese e a dinâmica atual (morfodinâmica) do sistema bacia hidrográfica. Ainda que em menor número, existem também estudos que enfocam aspectos sedimentológicos, geoquímicos e bioquímicos de bacias hidrográficas.

2.2 Modelos Digitais de Elevação no estudo de bacias hidrográficas

Geoprocessamento é uma tecnologia transdisciplinar que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados (ROCHA, 2000).

Segundo Moreira (2005), o Geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados, ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor.

O Geoprocessamento possibilita reunir áreas de conhecimento clássicas, tais como a Hidrologia e os Recursos Hídricos com áreas modernas, como a Ciência da Computação, o Sistema de Informação Geográfica e o Sensoriamento Remoto.

E entre tantos produtos resultantes destas junções, pode-se mencionar o MDE - Modelo Digital de Elevação.

O termo MDE resulta da tradução da expressão na língua inglesa *Digital Elevation Model* (DEM). Neste texto optou-se por utilizar o termo MDE, todavia será mantido o vocábulo utilizado pelos autores dos trabalhos que serviram como referência.

2.2.1 Definições de Modelo Digital de Elevação

Modelo Numérico de Terreno é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre (FELGUEIRAS, 1998 *apud* ROCHA, 2000).

De acordo com INPE/DPI (2008), o termo modelo numérico de terreno (MNT) é utilizado para denotar a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais ou propriedades do solo ou subsolo, como aeromagnetismo.

O MNT corresponde a um padrão de dado geográfico utilizado para fins diversos. Constam geralmente, de uma superfície contínua em formato matricial ou grade vetorial, em que a cada célula – ou posição – corresponde ao valor estimado de um atributo em estudo. Os atributos considerados são variados, desde a simples representação do relevo de uma área até a previsão da migração de agentes poluentes no solo, por exemplo, a partir de modelos multi-dimensionais, com maior complexidade (LEITE, 2007).

2.2.2 Exemplos de aplicações de Modelo Digital de Elevação

Têm-se como exemplos de aplicações de MDE (CÂMARA *et al*, 2001; INPE/DPI, 2008; ROCHA, 2000):

- Armazenamento de dados de altimetria para geração de mapas topográficos;
- Obtenção de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

2.2.3 Obtenção do Modelo Digital de Elevação

Para a representação de uma superfície real no computador, é indispensável à elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno (GRASS, 2006; GROHMANN, 2006; INPE/DPI, 2008; LIU, 2006; RENNÓ, 2004 e ROCHA, 2000).

De acordo com Felgueiras (2001), é muito comum, no ambiente de um SIG, a criação de estruturas de representação onde os valores do atributo são obtidos por procedimentos de interpolação a partir do conjunto de amostras. Em geral, a elaboração de modelo digital de elevação é executada pela interpolação espacial em ambientes SIG.

Os métodos de interpolação podem ser globais e locais. O Global considera toda a população de pontos, tais como: análise de superfície de tendência, modelos de regressão polinomial, análise espectral (séries de Fourier). E o Local é o que considera uma zona próxima ao ponto que está sendo interpolado, como exemplo pode-se citar polígonos de Thiessen, vizinho mais próximo, inverso da distância, Spline e Krigagem.

Dentre os vários interpoladores utilizados para elaboração de MDE, algumas condições são baseadas em conceitos geoestatísticos (krigagem), na localização (vizinho mais próximo), na suavidade e tensão spline com tensão Regularizada ou RST (*Regularized Spline with Tension*) ou em funções polinomiais como o bilinear (CÂMARA *et al.*, 1996; CÂMARA *et al.*, 2001; FELGUEIRAS, 2001; MITASOVA e MITAS, 1993; MITASOVA *et al.*, 1995; VALERIANO, 2004).

Sendo um procedimento complexo, a interpolação qualitativa de dados, ou interpolação de dados qualitativos é uma função matemática que estima valores em locais onde não existem valores medidos. Há, no entanto, uma escassez de publicações nesse assunto (IESCHECK, 2000).

Assim, no processo de modelagem numérica de terreno podem-se distinguir três fases: aquisição dos dados, geração de grades retangulares ou irregulares e, finalmente, a elaboração de produtos de diversas naturezas, que em geral, derivam-se do MDE elaborado. Como exemplo cita-se mapas de aspecto, de declividade e de relevo sombreado.

2.3 Sensoriamento Remoto e aquisição de modelos digitais de elevação

Uma área de conhecimento que faz parte do Geoprocessamento é o Sensoriamento Remoto, que de acordo com Florenzano (2002) é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados e o termo remoto, que significa distante é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

Assim, na aquisição destes dados, tem-se o Sistema de Sensoriamento Remoto, que segundo Novo (1992) é formado por alguns subsistemas importantes: sistemas de sensores, sistemas de análise e sistemas de processamento de dados.

2.3.1 Sistema de Sensores

O Sistema de Sensores é formado por uma parte óptica (o coletor) que recebe a energia através de uma lente, espelho, antenas, etc.; o detetor que capta a energia coletada de uma determinada faixa do espectro; e o processador onde o sinal registrado é submetido a um processamento, através do qual se obtém o produto que contém a informação necessária ao usuário (FALCÃO, 2005; MOREIRA, 2005). A Figura 3 apresenta o sistema sensor.

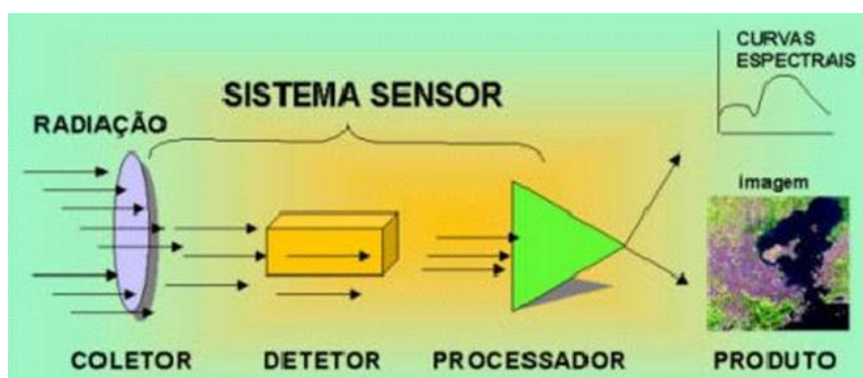


Figura 3 - Sistema Sensor (Moreira, 2005).

Os sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, seja na forma de imagem, na forma gráfica ou qualquer outro produto (MOREIRA, 2005).

Segundo Moreira (2005) e Novo (1992), os sensores quanto à fonte de energia podem ser classificados em:

- Passivo: não possui uma fonte própria de radiação. Captam e registram a radiação proveniente de uma fonte externa. Ex: sistemas fotográficos como o mapeador temático (TM) do LANDSAT e SPOT.
- Ativo: possui sua própria fonte de radiação eletromagnética, neste caso o sensor pode operar durante o dia ou à noite. Trabalha em faixas restritas do espectro. Ex: radar.

2.3.2 Sistema de processamento de dados

O Sistema de processamento de dados converte o dado bruto produzido pelo sensor, em variável física passível de ser interpretada e convertida em informação.

2.3.3 Sistema de Análise

O Sistema de Análise inclui todas as ferramentas, para que os objetivos sejam alcançados pelos profissionais que trabalham com classificação de imagens de satélite, onde se destaca o SIG, que permitem integrar a informação derivada do sensoriamento remoto às de outras fontes.

De uma forma geral, a literatura sobre sensoriamento remoto apresenta desde os princípios fundamentais até as metodologias de aplicação. Entretanto, pelo objetivo deste trabalho serão prioritariamente apresentadas informações sobre radar e obtenção de atributos relacionados ao estudo de bacia hidrográfica.

2.4 Radar

Devido às limitações na obtenção de imagens de sensores ópticos, outros sensores podem ser utilizados operando em diferentes faixas do espectro eletromagnético, entre elas a faixa de microondas. Os sensores que operam nesta faixa possuem a grande vantagem de poderem adquirir dados independentemente da iluminação solar e de serem pouco influenciados pelas condições atmosféricas, uma vez que a transmitância atmosférica é praticamente total para a faixa de microondas (FALCÃO, 2005; FLORENZANO, 2002; MOREIRA, 2005; ROCHA, 2000).

Esta característica é particularmente interessante para regiões tropicais, onde sensores ópticos sofrem grande restrição devido à alta probabilidade de ocorrência de nuvens. De acordo com INPE/SELP (2000), a faixa de microondas é dividida em bandas, designadas por letras como está mostrada em detalhes na Figura 4.

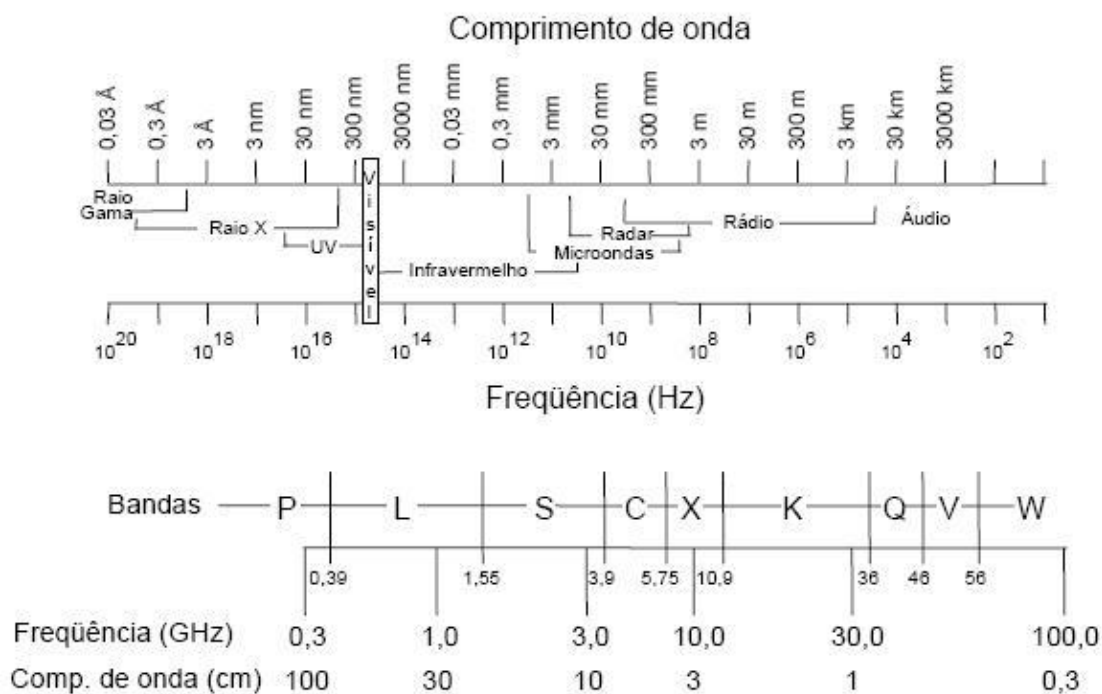


Figura 4 - Espectro eletromagnético e bandas da região de microondas (INPE/SELP, 2000).

Os sensores de microondas podem ser divididos em dois grupos básicos: passivos (radiômetros) e ativos (radares). Os radiômetros de microondas detectam a energia emitida pelo alvo analisado, já que o espectro de emissão solar apresenta valor praticamente nulo de energia na faixa de microondas, e então, a parcela de microondas refletida é desprezível. Os radares, por sua vez, possuem sua própria fonte de energia na faixa de microondas e captam a energia refletida pelo alvo em estudo nesta faixa do espectro eletromagnético (INPE/SELP, 2000).

Segundo Florenzano (2002) o termo RADAR (*radio detection and ranging*) significa detecção de alvos e avaliação de distâncias por ondas de rádio. Os radares operam em comprimentos de onda bem maiores do que aqueles da região espectral do visível e infravermelho. Eles operam na região de microondas entre as bandas K-alfa e P.

Radares imageadores compreendem os sistemas de antena rotatória e os de visada lateral (SLAR - *Side Looking Airborne Radar*). A definição de SLAR engloba

dois tipos de radar: o de abertura real (RAR - *Real Aperture Radar*) e o de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*).

Os processos de formação das imagens ópticas e de radar são distintos, assim como as características apresentadas por cada uma delas, uma vez que os sensores detectam informações diferentes. Consideradas as significativas diferenças entre imagens ópticas e de radar, principalmente no que concerne ao comportamento dos dados, muitas das técnicas utilizadas no processamento de imagens ópticas não se ajusta perfeitamente às imagens de radar. Portanto, para a extração de informações das imagens de radar se faz necessário o desenvolvimento de ferramentas e técnicas específicas para a análise dos dados provenientes de radar, tais como filtros, segmentadores, classificadores, entre outras.

2.4.1 Principais aplicações com Radar

De acordo com INPE/SELPER (2000), as principais aplicações com radar nas diversas áreas ambientais são:

- Geologia: análise de estruturas geológicas (fraturas, falhas e dobras); geomorfologia (relevo e solos); avaliação do potencial dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; identificação de áreas para prospecção mineral.
- Agricultura: planejamento e monitorização agrícola; identificação, mapeamento e fiscalização de culturas agrícolas; determinação relativa da umidade de solos; eficiência de sistemas de irrigação.
- Cartografia: levantamento planimétrico e levantamento altimétrico (interferometria).
- Florestas: gerenciamento e planejamento de florestas; identificação da ação de determinadas doenças; identificação de áreas de corte seletivo; estimativa de biomassa.
- Hidrologia: gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos; detecção de umidade do solo; interpretação de parâmetros hidrológicos.
- Meio Ambiente: planejamento e monitorização ambiental; identificação e análise da degradação, deposição de resíduos, ação antrópica; identificação, análise e monitorização de riscos ambientais.

- Oceanografia: monitorização do estado do mar (correntes); espectro de ondas para modelos numéricos de previsão; poluição marinha causada por derrames de óleo; detecção de barcos (pesca ilegal); apoio para estabelecimento de rotas marítimas.
- Uso da Terra: planejamento do uso da terra; classificação de solos; classificação do uso da terra; salinização de solos.

2.4.2 Interferometria de Radar

Interferometria de radar é um método alternativo ao método estereoscópico tradicional de extração de informações altimétricas, utilizando as propriedades de coerência do Radar de Abertura Sintética (SAR), aproveitando as vantagens dos sistemas de radar e do processamento digital de imagens. Por ser um sensor ativo, o radar não necessita de luz solar para o imageamento; e, principalmente por atuar na região de microondas do espectro eletromagnético, não sofre a influência do ambiente (TOUTIN & GRAY, 2000 *apud* SANTOS *et al.*, 2006).

A semelhança entre as duas imagens de radar é determinada usando a chamada coerência. Com a utilização da interferometria, as 2 imagens serão exatamente ajustadas uma à outra para realçar a qualidade da imagem. Cada valor de cor representa um valor de fase entre 0 (zero) e 2, onde as cores repetidas formam as faixas. Após a etapa da interferometria, já é visível a topografia da área. Um modelo de relevo é colorido de acordo com os valores de altura. As diferenças de fase junto com informações de órbita das duas antenas são usadas para calcular os valores da altitude. Nas últimas etapas, estes valores são transformados em coordenadas UTM ou coordenadas geográficas (DLE, 2007).

O Projeto SRTM representa a primeira experiência de interferometria a bordo de uma nave espacial (CREPANI e MEDEIROS, 2004). A Figura 5 apresenta a seqüência de etapas desde o holograma proveniente do radar até o mapeamento e visualização.

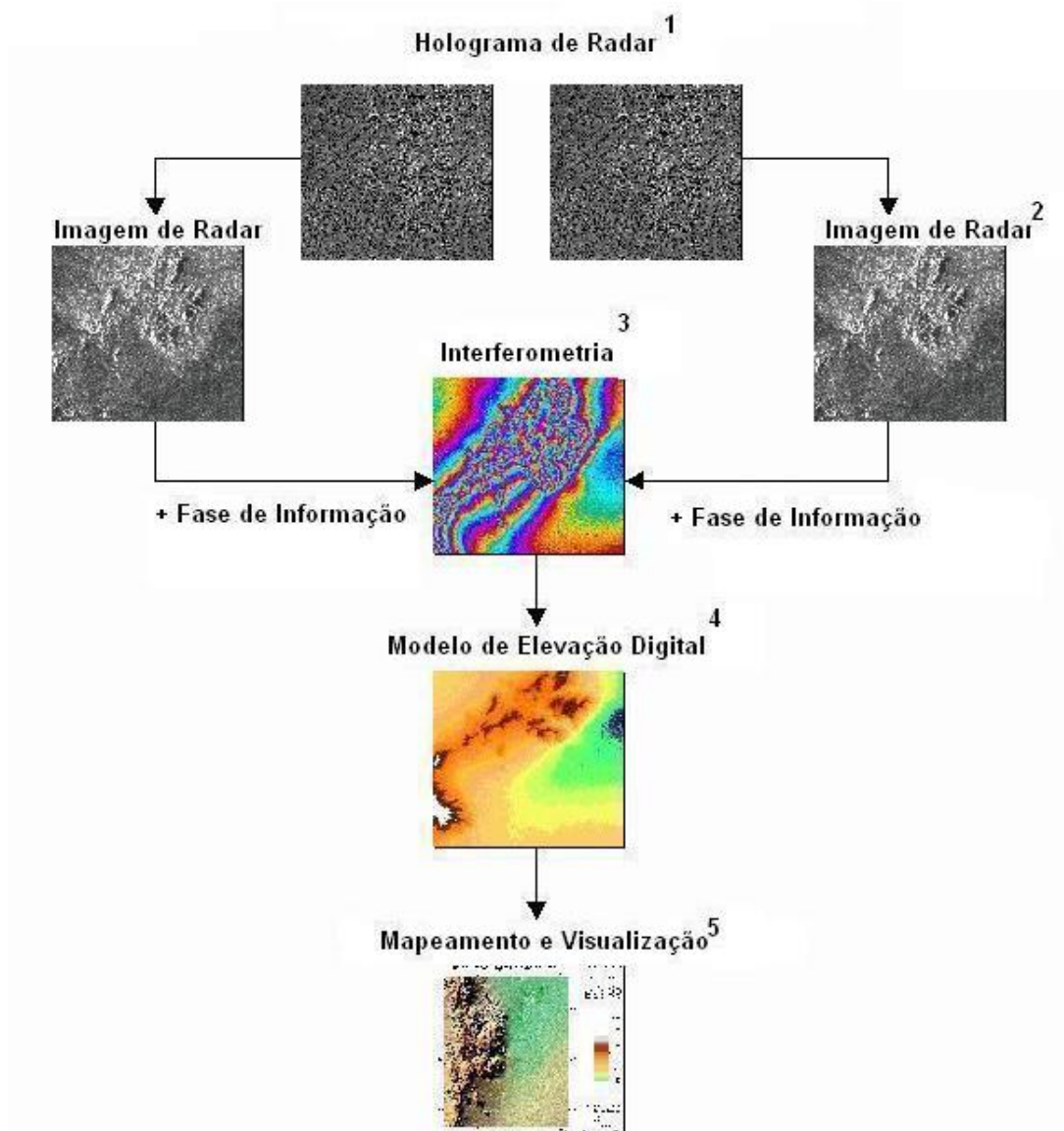


Figura 5 - Descrição das etapas de obtenção da imagem (DLR, 2007).

Descrição das etapas:

1. Hologramas de radar: é a forma como as duas antenas de radar a bordo "vêm" a Terra. A ressonância do radar forma o holograma da superfície da Terra.

2. Imagens de radar: são duas as imagens de radar, em que muitas feições da superfície da Terra podem ser reconhecidas e são geradas a partir dos hologramas com ajuda de complexos cálculos. E baseiam-se em dados registrados de diferentes perspectivas - uma da antena na baía da lançadeira e a outra da antena no fim do mastro estendido. As diferenças entre elas não podem ser percebidas a olho nu.

3. Interferometria: uma refinada comparação computadorizada das duas imagens de radar revela as diferenças extremamente sutis nas imagens. O relevo da Terra é indicado pelas faixas coloridas da interferometria, que sugere as isolinhas em um mapa topográfico convencional.

4. Modelo Digital de Elevação: equipado com o interferograma e conhecendo a posição exata da lançadeira em órbita, a altura é determinada para cada pixel, compondo assim um mapa digital mundial. Este conjunto de dados é a ferramenta básica para uma grande variedade de usos na ciência, indústria e órgãos públicos.

5. Mapeamento e Visualização: com as técnicas de processamento digital de imagem, vistas customizadas da perspectiva podem ser geradas para encontrar requisitos específicos do usuário.

2.4.3 Missão SRTM - Descrição e MDE

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foi lançada a bordo do ônibus espacial Space Shuttle Endeavour em fevereiro de 2000, a partir do Centro Espacial de Kennedy, EUA. O principal objetivo dessa missão foi obter dados topográficos da Terra. Esse projeto foi desenvolvido a partir de uma cooperação internacional entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), nos Estados Unidos, e as agências espaciais da Alemanha a DLR (*Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt*) e a ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*) da Itália (CREPANI e MEDEIROS, 2004; van ZYL, 2001 *apud* PINHEIRO, 2006).

Para aquisição dos dados topográficos, o sistema foi configurado para adquirir duas imagens ao mesmo tempo, através de duas antenas posicionadas separadamente, com distância de 60m entre si (Figura 6). Os radares empregados na missão tiveram os seguintes comprimentos de onda e frequências: banda C (5,6 cm, 5,3 GHz) e banda X (3,1 cm, 9,6 GHz). Cada antena SAR possui fases diferentes e, por meio da diferença de sinais, foram medidas as elevações (van ZYL, 2001 *apud* PINHEIRO, 2006).

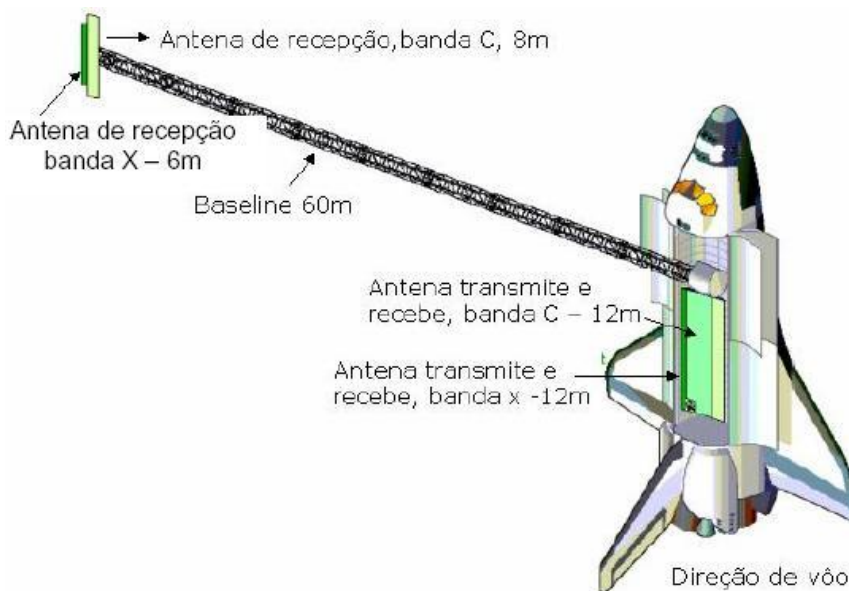


Figura 6 - Missão SRTM- Detalhes do Radar Interferométrico (SANTOS *et al*, 2006).

O ônibus espacial levou em seu compartimento de carga um equipamento SAR interferométrico, operando nas bandas C e X. Uma haste mecânica presa à nave, levou em sua extremidade duas antenas receptoras do SAR, bandas C e X. Ao longo de 11 dias, o ônibus sobrevoou a Terra a uma altitude de 233 km, com uma configuração do voo conforme apresentado na Figura 7.

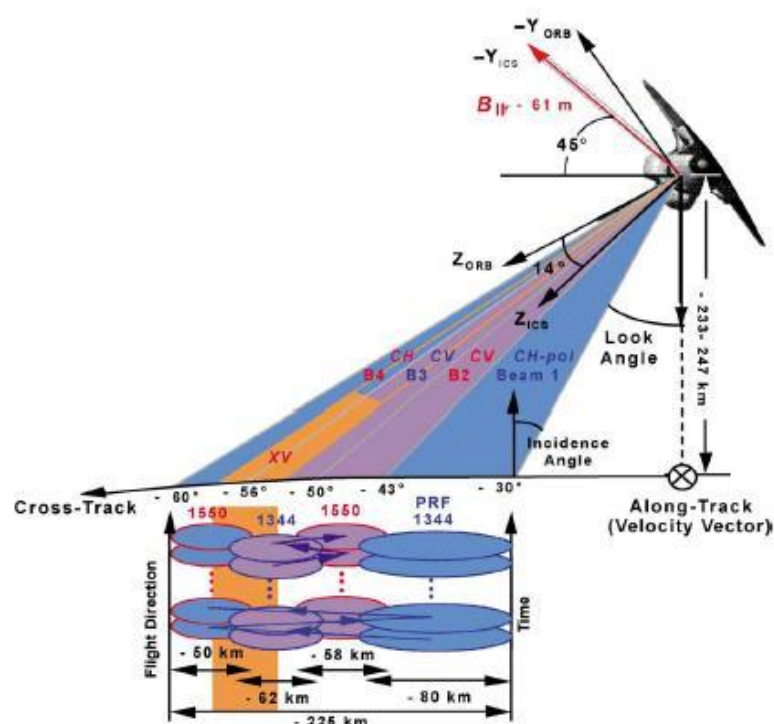


Figura 7 - Configuração de voo de SRTM e geometria da radiação (RABUS, 2003).

Utilizando a técnica de interferometria de uma passagem, foi imageada 80% da superfície terrestre, compreendida entre as latitudes 60° N e 56° S, fornecendo modelos tridimensionais com amplitude da grade de 30 metros e 90 metros (CHIEN, 2000 *apud* SANTOS *et al.*, 2006). A Figura 8 apresenta o mapeamento do padrão do SRTM/X-SAR interferométrico obtido na missão SRTM.

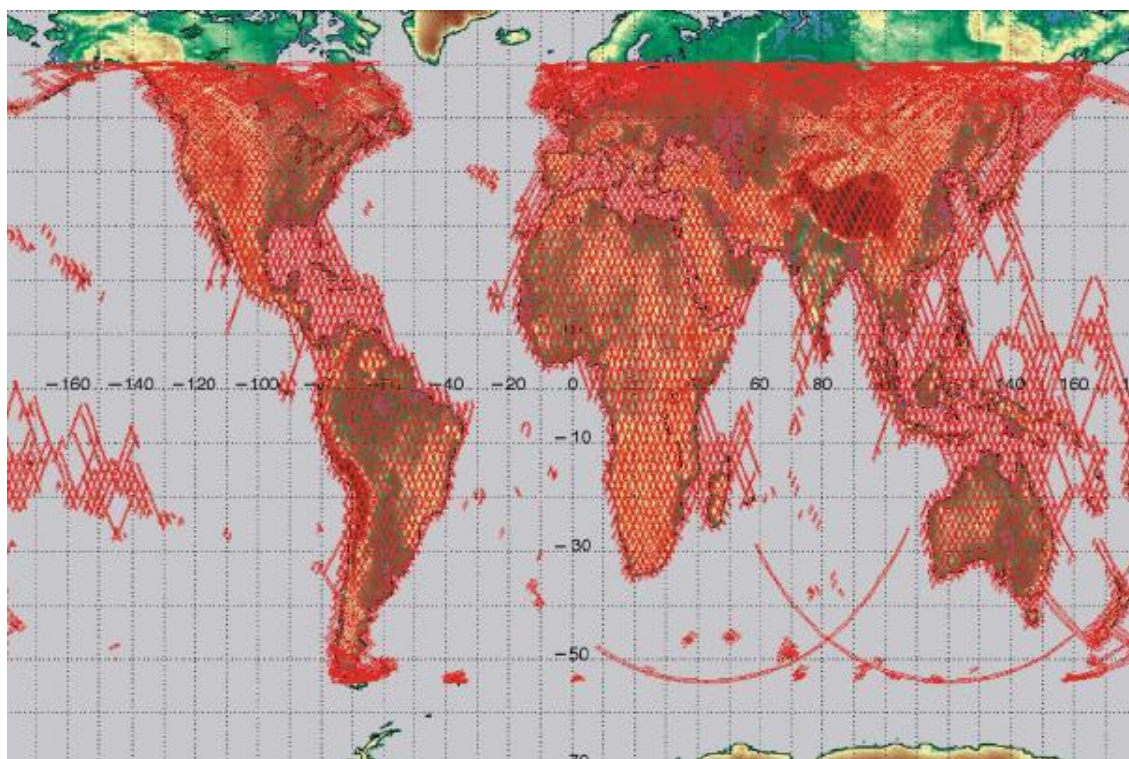


Figura 8 - Mapeamento do padrão do SRTM/X-SAR interferométrico (RABUS, 2003).

Liu (2006) menciona que os MDE (Modelo Digital de Elevação) gerados pela missão SRTM são distribuídos gratuitamente para o Estados Unidos, com resolução de 30m em coordenadas geográficas, (1 arco segundo ou 0,000277°) e para o resto do mundo, com 90m (3 arco segundo ou 0,000833°), sem restrições de uso ou acesso e sem custo.

O Datum e o elipsóide de referência são WGS 84 (*World Geodetic System* 1984), com dados de altitude (h) em metros (HALL *et al.*, 2005 *apud* PINHEIRO, 2006).

No estudo realizado por Pinheiro (2006), as análises realizadas demonstraram que as altitudes medidas pelo MDE SRTM, após as devidas correções, apresentaram resultados melhores quando comparados com os MDE das cartas topográficas. Ele cita que é importante lembrar que os dados extraídos de cartas topográficas na escala 1/50.000 foram gerados a partir de levantamentos

fotogramétricos de 1975, quando técnicas mais antigas que as atuais eram empregadas na confecção de mapas. As técnicas de radar interferométrico, apoiadas em levantamentos com uso de DGPS, utilizadas na missão SRTM, representam uma das mais avançadas tecnologias para geração de bases topográficas digitais.

O MDE SRTM analisado, com resolução espacial de 90m, apresentou resultados satisfatórios. Cabe citar que com esta resolução espacial, o uso do MDE SRTM é mais adequado em escala de 1/250.000 ou menores. Este estudo foi realizado no sul do Brasil, local onde existiam dados passíveis de comparação. No entanto, é importante citar que estes dados poderiam ser utilizados, por exemplo, para mapear áreas da Amazônia Legal.

Assim, Pinheiro (2006) frisa que o conhecimento do grau de precisão dos MDE gerados é extremamente importante, pois auxilia na tomada de decisão sobre qual o melhor dado a ser utilizado conforme a escala de trabalho definida.

No trabalho desenvolvido por Santos *et al.* (2006) foi ressaltado que o estudo realizado buscou a representatividade de uma carta na escala de 1/100.000 do mapeamento topográfico sistemático e da legislação vigente para classificação de documentos cartográficos, e, portanto, não deve ser generalizado para outras áreas sem que haja novos estudos. Algumas considerações presentes no estudo foram:

- O MDE SRTM apresentou melhores resultados altimétricos quando comparado ao MDE gerado a partir da carta, utilizando-se como referência os pontos de controle GPS. As informações altimétricas do MDE SRTM para a área de estudo preenchem todos os pré-requisitos para documentos cartográficos classe A na escala 1/100.000;

- Fica evidente o grande potencial do Radar Interferométrico em banda C, através do MDE SRTM, para informações altimétricas da Região Amazônica, embora seja relevante ressaltar a importância do tratamento das inconsistências do modelo antes de utilizá-lo, evitando-se assim erros que poderiam influir no resultado final do trabalho;

- A principal conclusão do estudo foi a pertinência da idéia de utilização dos modelos SRTM para áreas com características de baixa variação de altitude, logo, torna-se interessante a continuidade da pesquisa em outras áreas, juntamente com um maior tratamento estatístico aplicado a análise dos resultados.

2.4.4 Dados da Missão SRTM obtidos na EMBRAPA

A Embrapa Monitoramento por Satélite desenvolveu uma metodologia para gerar um novo produto de grande interesse para a sociedade brasileira. A base são os dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil, obtidos pela nave espacial americana durante a missão conhecida como SRTM. Para cada área de 90 metros por 90 metros do território nacional, dispõe-se de uma medida altimétrica precisa. Esse gigantesco arquivo de base foi recuperado e tratado matematicamente através de modelos que permitem reconstituir o relevo do país, como nas cartas topográficas, só que de forma digital e homogênea (MIRANDA, 2005).

Do ponto de vista prático, graças aos métodos e procedimentos inéditos desenvolvidos pela Embrapa, esta tecnologia apresenta diversos exemplos de aplicações para o desenvolvimento sustentável da agricultura e do País. Dentre eles destacam-se: programas de manejo de bacias hidrográficas, eletrificação rural, conservação de solos, preservação de recursos florestais, cumprimento do código florestal, gestão dos recursos hídricos, planejamento territorial, implantação de estradas rurais, melhoria da cartografia topográfica disponível (principalmente na Amazônia), zoneamento ecológico-econômico, monitoramento ambiental, etc.

Para a execução dos mosaicos estaduais disponibilizados no projeto Brasil em Relevo foram realizados procedimentos metodológicos, com a utilização de ferramentas de geoprocessamento e de tecnologia da informação, dentre os quais o refinamento do modelo digital de elevação do SRTM.

A equipe técnica da EMBRAPA fez um refinamento do modelo digital de elevação SRTM, este modelo digital de elevação (MDE) do SRTM, com 3 segundos de arco (aproximadamente 90 metros de resolução espacial). Todavia, ele contém imperfeições caracterizadas por depressões espúrias, picos anômalos e pontos ou áreas com ausência de dados.

Em função do grande volume de dados (cada pixel de 90 x 90 metros apresenta um valor altimétrico), a correção desses problemas demandou um complexo processamento computacional, envolvendo aplicativos específicos em geoprocessamento e disponibilização de grande capacidade de armazenamento em disco.

Dentre as operações realizadas na correção desses problemas, destacam-se os cortes e preenchimentos (corte e aterro) com patamares altimétricos bem definidos, interpolações e produção de dados vetoriais.

Assim, uma vez adquiridos os modelos digitais de elevação, procedeu-se a conversão do formato, a mosaicagem e correção dos dados para o Brasil, em Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum WGS84. Dentre esses processos destacam-se:

- Identificação de áreas sem informação;
- Preenchimento de grandes depressões espúrias;
- Remoção de picos;
- Geração de curvas de nível;
- Interpolação por meio do SIG ArcInfo, com o módulo Topogrid;
- Substituição das áreas vazias pelos dados interpolados.

O MNT SRTM fornecido pela USGS possui algumas falhas ou vãos (Valeriano, 2004) e os dados da EMBRAPA, oriundos da Missão SRTM já foram tratados; por isso, optou-se neste trabalho por utilizar os dados da EMBRAPA.

2.5 Utilização de dado SRTM para estudo de bacias hidrográficas

De acordo com Silva e Zaidan (2004) é inegável o que o Geoprocessamento criou para a pesquisa ambiental, uma dependência para com o processamento automático de dados. Entretanto, é igualmente inegável que o uso da computação eletrônica causou um desenvolvimento enorme e absolutamente desejável, em termos teóricos, relativo à capacitação para a inspeção de incidências locais convergentes de ocorrências de fenômenos ambientais.

Utilizando dados SRTM, Simões (1993) relata que algumas formas de análise, que simplesmente não poderiam ser realizadas eficientemente pelo processo manual, podem ser efetuadas com baixo custo como é o caso da realização de análises de terrenos na forma digital, tais como: cálculo da declividade, aspecto, intensidade do sol ao longo de uma área, delimitação automática de bacias hidrográficas, etc.

Para avaliar a aplicabilidade de técnicas de geoprocessamento em estudos de poluição difusas, identificar e delimitar as características físicas e de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, Fonseca e Zeilhofer (2007) utilizaram dados SRTM com resolução espacial de 90 m; com cálculo de camadas derivadas como direção de escoamento, fluxo acumulado e a delimitação automatizada das áreas de contribuição dos respectivos pontos de monitoramento. A utilização destas técnicas permitiu a realização de análises complexas, integrando dados de diversas fontes. E esses planos de informações puderam ser sobrepostos, facilitando a delimitação, cálculos e a definição das características físicas e ambientais das áreas de interesse, no caso a bacia do rio Teles Pires e as sub-bacias analisadas.

Martins *et al.* (2007) também utilizou dados SRTM, por possibilitar a atualização de bases já existentes e preencher uma grande lacuna devido à falta de informação de muitas regiões da Amazônia. A partir dos resultados obtidos, procuraram relacionar os padrões de drenagem e o controle estrutural das bacias hidrográficas com os processos tectônicos dominantes na Amazônia Oriental. Eles observaram que estudos desta natureza servem de base para um trabalho de análise estrutural a partir do comportamento da drenagem, utilização dos recursos hídricos, locação de hidrovias, turismo, dentre outros.

De acordo com Bernardes (2006), o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas, auxiliados por modelagem, têm sido utilizados para agilizar estudos ambientais. O mapeamento do meio físico, incluindo solo e relevo, bem como estudos sobre a dinâmica de ocupação das terras, podem ser mais facilmente realizados com o uso desta metodologia. Assim, para o cômputo dos mapas de declividade e geração do modelo de elevação digital, ele utilizou os dados do radar interferométrico SRTM, com resolução original de 90 metros.

O autor pretendia modificar os dados originais da SRTM para a geração de um modelo de elevação digital com as características desejáveis e a sua transformação em dados de declividade. Juntamente com outras características fisiográficas da área, o plano de informação, que incluía informações sobre declividade, possibilitou a definição das unidades da paisagem.

No trabalho de comparação dos modelos digitais de elevação gerados com dados SRTM e cartas IBGE na escala 1/250.000 na região da bacia do Camanducaia no estado de São Paulo; Gouvêa (2005) relata que o MDE gerado com dados SRTM apresenta maiores detalhes, pois as feições geomorfológicas do

tipo encostas estruturais, interflúvios e fundos de vales são melhores percebidas com os dados gerados pela SRTM. Consequentemente, os dados SRTM apresentam maior detalhamento e acurácia, como os mapas hipsométricos e de declividade gerados, que são melhores devido à maior resolução espacial.

Um outro exemplo é a aplicação de dados SRTM realizada por Grohmann *et al* (2007), onde a avaliação destes dados para a geomorfologia foi utilizada considerando parâmetros morfométricos, tais como declive, aspecto e aspereza de superfície. Os resultados alcançados foram satisfatórios quando comparados a um mapa topográfico na escala 1/50.000. Neste trabalho a análise foi executada com o software SIG GRASS.

2.6 Extração de atributos topográficos em bacias hidrográficas a partir de MDE

Nos trabalhos desenvolvidos por Hott e Furtado (2005) e Hott *et al* (2007), eles apresentam uma metodologia automatizada em Sistemas de Informações Geográficas que visa mensurar a topografia de bacias hidrográficas por meio da obtenção de parâmetros que denotam suas características geomorfológicas, fornecendo informações importantes sobre a capacidade de suporte das mesmas aos diversos usos da terra. O método usado para a determinação automática destes parâmetros morfométricos foi desenvolvido por meio da linguagem de macro do ArcInfo Workstation (AML - Arc Macro Language). A linguagem AML proporciona a confecção de aplicativos de fácil manuseio e execução, sendo sua estrutura bastante intuitiva.

O principal objetivo do trabalho de García-Puga e Hinojosa-Corona (2001) foi caracterizar a hidrologia superficial da zona costeira entre Puertecitos e São Luis Gonzaga, no México, através de um MDT, utilizando diferentes SIG (Arc/Info, GRASS e Rivertools).

Também utilizando o programa SIG-GRASS e gerando um DEM, fez Jha (2007) em seu trabalho para a bacia hidrográfica do Rio Bagmati, no Nepal. Esta área foi escolhida por causa de sua biodiversidade climática, diferenças de elevação do talwegues do vale até os ápices da montanha; onde o uso de terra está diretamente relacionado com a erosão que é considerada típica para as montanhas do Nepal. E o SIG GRASS foi utilizado por possuir importantes módulos de

gerenciamento de BH para a preparação do mapa de risco e cálculo da taxa de erosão.

Rennó (2004) apresenta em seu trabalho o Sistema de Análise de Simulação Hidrológica (SASHI), que utiliza o modelo numérico do terreno representado por curvas de nível para discretizar uma bacia hidrográfica em elementos irregulares (polígonos). Com este sistema, podem-se extrair automaticamente os limites das sub-bacias a partir da rede de drenagem e das curvas de nível. Os resultados dessa metodologia, de acordo com o autor, podem ser considerados bons, uma vez que se assemelham àqueles que seriam obtidos através da extração manual direta de cartas topográficas. O autor também cita que o SASHI não é um sistema completo nem definitivo, sendo apenas uma parte de um processo que levará à construção de sistemas ainda mais complexos e completos, de maneira a atender às demandas existentes.

Jenson e Domingue (1988) relatam a metodologia para a extração de estrutura topográfica, delineamento de bacias e indicação de caminhos do fluxo a partir de DEM.

Buarque (2007) já menciona que uma metodologia para a obtenção destas informações foi inicialmente proposta por Jenson e Domingue (1988). Onde uma das primeiras etapas para a extração de informações a partir do MNT consiste na determinação da direção de fluxo e na área acumulada de cada pixel.

Chaves (2002), como Jenson e Domingue (1988), também apresenta um detalhamento da metodologia para extração de feições fisiográficas de bacias hidrográficas, que passam inicialmente, na maioria dos casos, pela identificação da rede de drenagem.

Dessa forma, a rede de drenagem é definida a partir da simulação do caminho preferencial de escoamento superficial da água sobre o MDE, ou seja, o método padrão D8.

O método D8 (determinístico de oito células vizinhas) considera apenas uma das oito direções possíveis de escoamento para cada uma das células do MDE – norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste. Cada opção está associada a uma codificação numérica específica em um novo arquivo raster digital de mesma resolução espacial. As Figuras de 9.1 a 9.3 apresentam as oito possíveis direções de escoamento, para cada uma das células do MDE.

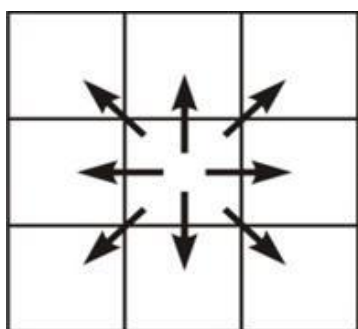


Figura 9.1

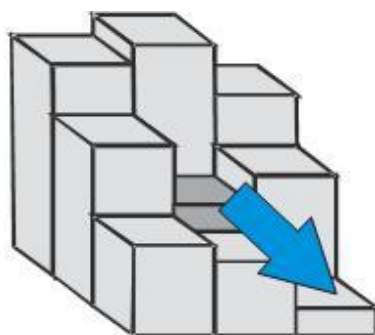


Figura 9.2

32 (NO)	64 (N)	128 (NE)
16 (O)		1 (E)
8 (SO)	4 (S)	2 (SE)

Figura 9.3

Figura 9 - As oito possíveis direções de escoamento, para cada uma das células do MDE (Chaves, 2002).

Cada pixel drena para um dos seus 8 vizinhos (Figura 9.1), e pode-se observar que o escoamento de um pixel segue para o seu vizinho com maior declividade (Figura 9.2). Ao final, tem-se um arquivo raster onde cada pixel recebe um código que indica a direção de escoamento (Figura 9.3).

A escolha do único caminho possível de deslocamento da água em cada uma das células do MDE é dada pela direção do maior declive (Figura 10).

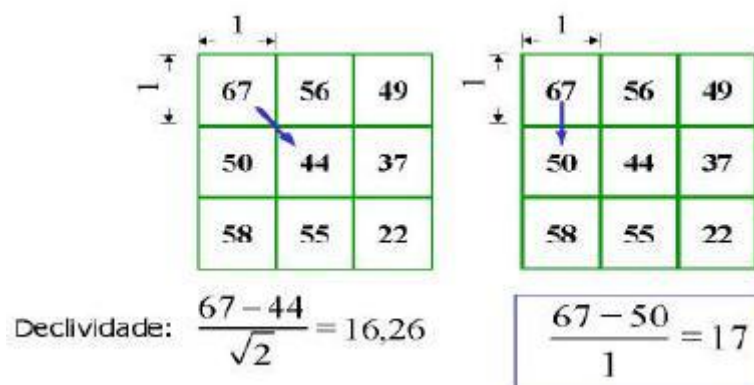
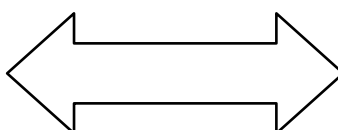


Figura 10 - Apresentação do cálculo preferencial da água, de acordo com o método D8 (RIBEIRO, 2000 *apud* CHAVES, 2002).

Conseqüentemente, a extração da drenagem apresentada nas Figuras de 11.1 a 11.4.

67	56	49	46	50
53	44	37	38	48
58	55	22	31	24
61	47	21	16	19
53	34	12	11	12

Figura 11.1



2	2	4	4	8
1	2	4	8	4
128	1	2	4	8
2	1	4	4	4
1	1	1	2	16

Figura 11.2

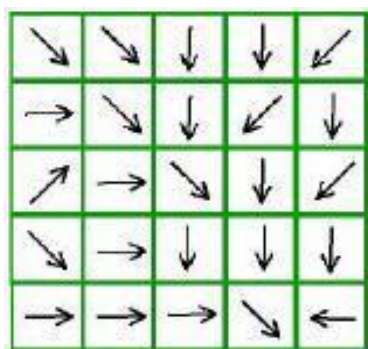


Figura 11.3

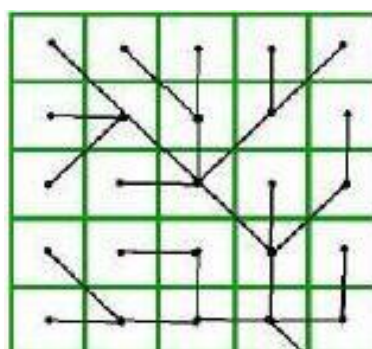


Figura 11.4

Figura 11 - Processo de extração da drenagem (Chaves, 2002).

Com os dados oriundos do MDE (Figura 11.1) e a utilização do padrão D8 (Figura 11.2), obtém-se a direção do escoamento superficial da água (Figura 11.3), ou seja, a obtenção do plano de direção do fluxo (Figura 11.4).

Portanto, existirá uma depressão, se todas as células do entorno tiver altitude maior do que a célula central. Mas, se todas as células apresentarem a mesma altura, esta será uma região plana.

O termo sistema de informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos (CASANOVA, 2005). Por isso, diversas são as finalidades pelas quais os algoritmos têm sido implementados nos SIG. Nos estudos com bacias hidrográficas pode ser citada a extração de atributos topográficos e hidrológicos, a partir do MDE.

A metodologia para extração de atributos, além do padrão D8, também utiliza o algoritmo de busca ATsearch (EHLSCHLAEGGER, 1989), conhecido como de “mínimo custo”. Este algoritmo organiza os dados de elevação e avalia a rede hidrológica de forma a procurar a menor trajetória entre um ponto de início e um destino, avaliando a trajetória através das células, segundo a direção do fluxo.

Através do procedimento é possível uma segmentação detalhada, na qual são extraídos parâmetros e índices a partir de um MDE, como por exemplo, as sub-bacias, as redes hidrológicas, o cálculo da área de cada bacia e o comprimento dos rios.

2.7 SOFTWARE LIVRE

O Geoprocessamento é um campo de atuação que se caracteriza pela multidisciplinaridade e uso de tecnologias, dentre as quais o uso de software.

Nas últimas décadas, têm-se como opção o software livre, mais precisamente, aos tipos de liberdade para os usuários de software, e que segundo a Fundação Software Livre (*Free Software Foundation*) são quatro as liberdades que definem o software livre:

- I. A liberdade de executar o programa, para qualquer propósito;
- II. A liberdade de estudar como o programa funciona e adaptá-lo para as suas necessidades. Acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade;
- III. A liberdade de redistribuir cópias, permitindo a ajuda ao próximo;
- IV. A liberdade de aperfeiçoar o programa e liberar os seus aperfeiçoamentos, de modo que toda a comunidade se beneficie. Acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade.

Software Livre (*Free Software*) é o software disponível com a permissão para qualquer um usá-lo, copiá-lo e distribuí-lo, seja na sua forma original ou com modificações, seja gratuitamente ou com custo. Em especial, a possibilidade de modificações implica que o código fonte esteja disponível. Se um programa é livre, potencialmente ele pode ser incluído em um sistema operacional também livre. É importante não confundir software livre com software grátis porque a liberdade associada ao software livre de copiar, modificar e redistribuir independe de gratuidade. Existem programas que podem ser obtidos gratuitamente, mas que não podem ser modificados, nem redistribuídos (HEXSEL, 2002).

E dentre vários programas *open source* existentes para Geoprocessamento, sobressai-se o SIG GRASS, prioritariamente utilizado neste trabalho.

2.7.1 O SIG GRASS

De acordo com Leite, Silva e Gomes (2007) o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos - GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) é um Sistema de Informação Geográfica - SIG com funcionalidades raster, topologia vetorial, processamento de imagens, visualização 3D e produção gráfica. O SIG GRASS é um software livre com licença GNU/GPL.

A documentação do SIG GRASS (GRASS, 2006) é gerenciada pelo Projeto de Documentação do GRASS que armazena toda a documentação disponível on-line sobre o SIG GRASS. Este projeto de documentação está dividido nas seguintes seções:

- Geral e Funcionalidades (descrição dos módulos do SIG GRASS, FAQs, artigos relacionados, comandos e manuais on-line de GRASS 4.x, GRASS 5.x, GRASS 6.x e seguintes);

- Livros e Tutoriais (tutoriais em diversos idiomas) e Cursos do SIG GRASS;

- Instalação e Programação: documentação em instalação e programação do SIG GRASS;

- Tópicos espaciais: banco de dados, modelagem, análises, etc.

Desta forma, o SIG GRASS apresenta uma grande capacidade para o gerenciamento de dados, tais como:

- Análises espaciais;

- Geração de cartas;

- Redes;

- Visualização de dados;

- Geração de dados a partir de modelos de simulação;

- Ligação com SGBDs (PostgreSQL, MySQL, ODBC, etc...).

3.0 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As informações aqui apresentadas para a caracterização da área de estudo têm como referência o PERH/PB - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 2006), Paraíba (2001), Rodriguez (1997) e Tavares (2004).

3.1 Aspectos gerais da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape

O Estado da Paraíba possui uma extensão territorial de 56.439,84 km², correspondendo a 3,63% da área da região Nordeste. Está situado entre as latitudes de 06° 00' 11,1" e 08° 19' 54,7" sul, e as longitudes de 34° 45' 50,4" e 38° 47' 58,3" oeste. A Paraíba limita-se ao norte com o estado do Rio Grande do Norte; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o estado do Ceará; e ao sul, com o estado de Pernambuco.

Dentre as bacias existentes no Estado da Paraíba; a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, objeto de estudo neste trabalho, possui uma população estimada em 452.656 habitantes.

A bacia hidrográfica do Rio Mamanguape encontra-se totalmente inserida no Estado, e de acordo com o PERH/PB (PARAÍBA, 2006), limita-se ao norte com as bacias hidrográficas dos rios Guaju e Camaratuba, a oeste com a bacia hidrográfica do Curimataú, ao sul com a bacia hidrográfica dos rios Paraíba e Miriri, e a leste com o Oceano Atlântico.

E abrange prioritariamente os seguintes municípios: Alagoa Grande, Alagoa Nova, Alagoinha, Araçagi, Arara, Areia, Areial, Baía da Traição, Bananeiras, Borborema, Casserengue, Cuité de Mamanguape, Cuitegi, Esperança, Guarabira, Itapororoca, Mamanguape, Marcação, Matinhas, Montadas, Mulungu, Pilões, Pilõezinhos, Pirpirituba, Remígio, Rio Tinto, São Sebastião de Lagoa de Roça, Serraria, Sertãozinho e Solânea.

Quanto aos municípios existentes e de acordo com os órgãos oficiais, a BH do Mamanguape, apresenta as seguintes características:

- Mesorregiões: Mata Paraibana e Agreste Paraibano.
- Microrregião: Guarabira, Litoral Norte, Brejo Paraibano, Curimataú Ocidental, Curimataú Oriental e Esperança.

- Região Geoadministrativa 1ª (João Pessoa), 2ª (Guarabira) e 3ª (Campina Grande).

O clima predominante na área é quente úmido, classificado como As' na escala de Köppen, o qual é caracterizado por uma estação chuvosa e temperatura média do ar sempre superior a 18°C.

A divisão do curso do Rio Mamanguape aqui apresentada em cursos - alto, médio e baixo, se dá não só em função do relevo e do clima, mas sobretudo do tipo de ocupação e das atividades econômicas que se desenvolvem ao longo do rio.

O Alto Curso compreende o trecho em que o rio está sobre o Planalto da Borborema, descendo a serra e passando por Alagoa Grande até a cidade de Mulungú.

Situado na região pertencente ao Agreste, no Médio Curso predomina a atividade pecuária. A retirada da vegetação em alguns pontos contribui para o assoreamento do rio.

Do ponto de vista ambiental, permanecem no médio curso os mesmos problemas observados no alto curso, ou seja, ausência de mata ciliar, retirada de areia e desmatamento das áreas florestadas.

O Baixo Curso compreende o tabuleiro costeiro, onde é praticada a atividade canavieira, onde também predomina os manguezais e a atividade pesqueira pelas populações ribeirinhas.

Forte crescimento demográfico e econômico, com ligeira acentuação da urbanização, de 58% para 60%, e queda mais que proporcional no setor agropecuário com relação ao pessoal ocupado, de 44% para 33%. O setor de serviços vem assumindo a liderança, respondendo por mais de 40% do emprego na região.

Mesmo com essas mudanças, ainda é bastante intenso o uso dos recursos hídricos para fins de irrigação, piscicultura, pecuária, carcinicultura, indústrias e abastecimento urbano (área urbana e rural). Desta forma, observa-se que há uma grande concentração de agentes de degradação e poluição dos recursos hídricos da bacia.

3.2 Caracterização Hidrogeológica - Sistemas Aqüíferos na Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape

As rochas que ocorrem no território paraibano constituem seis diferentes sistemas aqüíferos, a bacia hidrográfica do Rio Mamanguape está localizada sob o Sistema Cristalino, Sistema Paraíba-Pernambuco e Sistema Elúvio-Coluvial.

O Sistema Cristalino ocupa uma área de cerca de 49.000 km² (87% da área estadual), inserindo-se, todo ele, na região semi-árida do Estado, tendo seus recursos repartidos entre as bacias hidrográficas do Piranhas, Paraíba, Jacu, Curimataú, Mamanguape, Miriri, Camaratuba e Gramame. Trata-se de um sistema aqüífero descontínuo, heterogêneo, de dimensões volumétricas praticamente não avaliáveis, principalmente em relação aos limites de profundidade das fraturas. Relativamente à qualidade das águas subterrâneas, não existem análises físico-químicas completas em número suficiente para uma caracterização mais detalhada das águas do Cristalino paraibano.

O Sistema Paraíba-Pernambuco ocupa uma área de cerca de 3.400 km² na região litorânea, situada na parte leste do Estado. Os recursos subterrâneos deste sistema repartem-se entre as bacias hidrográficas que drenam a região litorânea dos rios Abiaí, Gramame, Paraíba (baixo curso), Miriri, Mamanguape (baixo curso), Camaratuba (médio e baixo cursos) e Guaju. As condições regionais de alimentação desses subsistemas são excelentes, em função das características climáticas e fisiográficas (destacando-se a morfologia) muito favoráveis. Não há maiores restrições qualitativas nas águas de todo o sistema, qualquer que seja o uso. Apenas na orla marítima, onde o aqüífero captado é o Beberibe/Itamaracá, há restrições em razão da alta dureza de suas águas, odor e sabor acres e um teor de ferro além do recomendado.

O sistema elúvio-coluvial ocorre principalmente na bacia do rio Piranhas. Na bacia dos rios Paraíba e Mamanguape. Ele se instala onde o relevo é mais acidentado, próximo aos divisores de bacias. Este sistema também está contido nas denominadas coberturas arenosas, que ocorrem na região do agreste paraibano, e, mais restritamente, próximo a Junco do Seridó. Essas coberturas preenchem depressões pretéritas do Cristalino.

4.0 METODOLOGIA

Neste trabalho, a extração dos atributos hidrológicos, ou seja, os produtos resultantes para a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, seguiu a metodologia apresentada por Jenson e Domingue (1988), onde a rede de drenagem é definida a partir da simulação do caminho preferencial de escoamento superficial da água sobre o MDE, ou seja, o método padrão D8.

4.1 Dados Geográficos SRTM EMBRAPA

Neste trabalho foram utilizados os dados do radar interferométrico de abertura sintética – InSAR, oriundos da Missão SRTM, disponível no site da EMBRAPA, projeto Brasil em Relevo, na seção Monitoramento por Satélite.

As características do arquivo obtido com o download do SRTM para o Estado da Paraíba são apresentadas a seguir:

- Formato: GEOTIFF.
- Resolução espacial: 90 metros.
- Unidade de altitude: metros.
- Sistema de Coordenadas Geográfica.
- Datum: WGS-84.

Este arquivo está disponível no site da EMBRAPA, na url: <http://www.relevobr.cnpemembrapa.br/download/pb/pb.htm>.

A Figura 12 apresenta a articulação para o Estado da Paraíba. De acordo com a EMBRAPA, esta articulação é compatível com a escala 1/250.000.

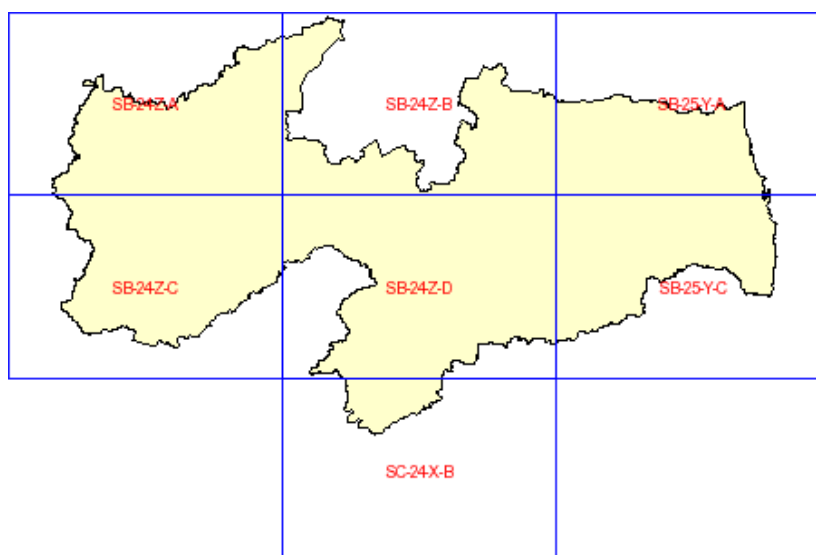


Figura 12 - Articulação para o download do SRTM do Estado da Paraíba (EMBRAPA, 2007).

A área de estudo, que contém a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape está inserida nas articulações: SB-24-Z-B; SB-24-Z-D; SB-25-Y-A; e, SB-25-Y-C.

4.2 Retângulo Envolvente

O retângulo envolvente, ou seja, a área de estudo (Figura 13) compreende uma Bacia Hidrográfica localizada no Nordeste do Brasil - a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, a qual está situada na porção nordeste do Estado da Paraíba.

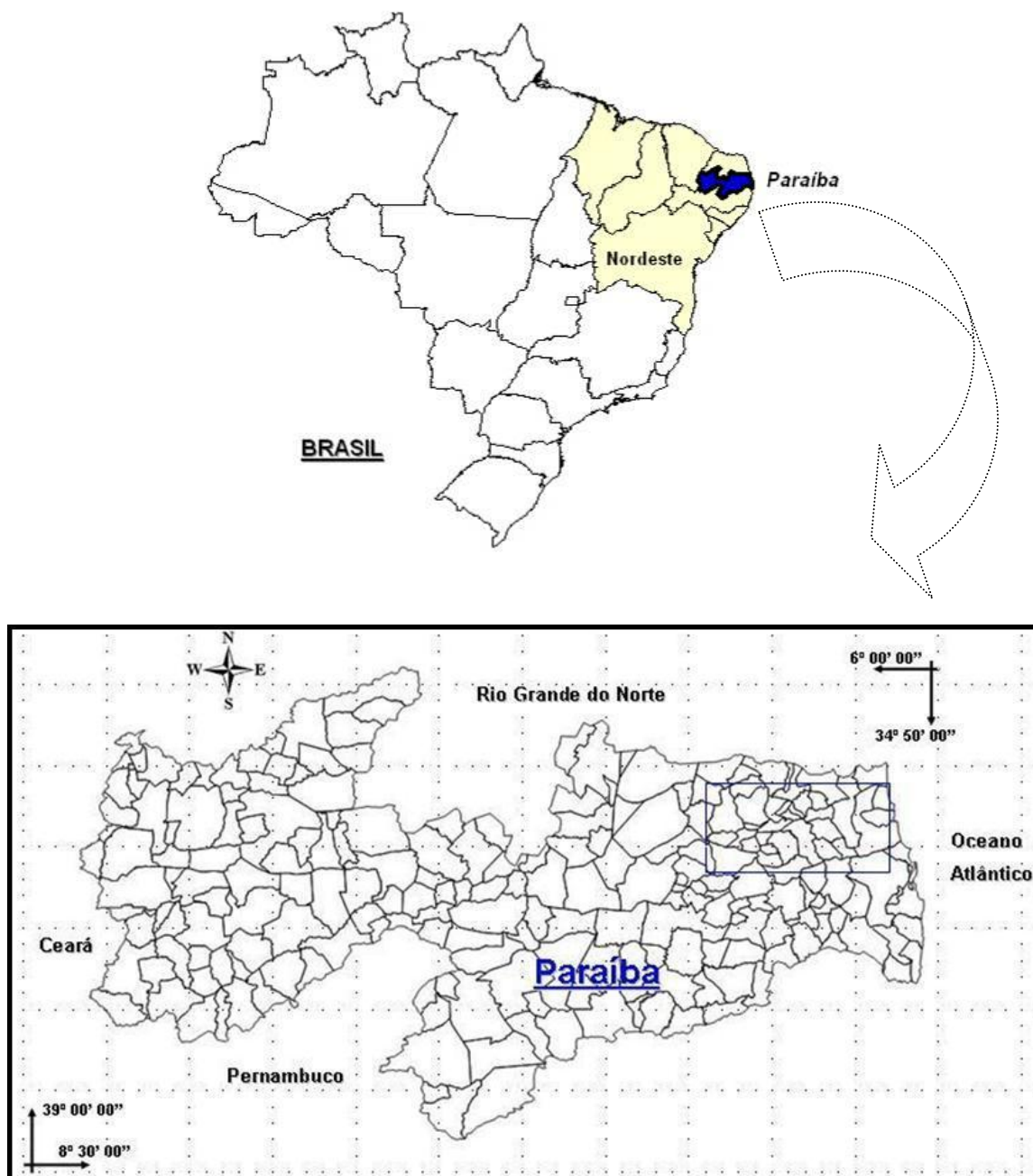


Figura 13 - Identificação da área de estudo no estado da Paraíba.

4.3 Equipamento Computacional

Os procedimentos para obtenção dos resultados a seguir apresentados, não foram executados em uma única versão, à medida que este trabalho foi sendo desenvolvido também foram sendo utilizadas outras versões do SIG GRASS.

As versões do SIG GRASS 6.1 e 6.2 foram instaladas no Sistema Operacional LINUX, como plataforma para compilação, instalação e utilização. A Figura 14 apresenta informações sobre o Sistema Operacional Linux.

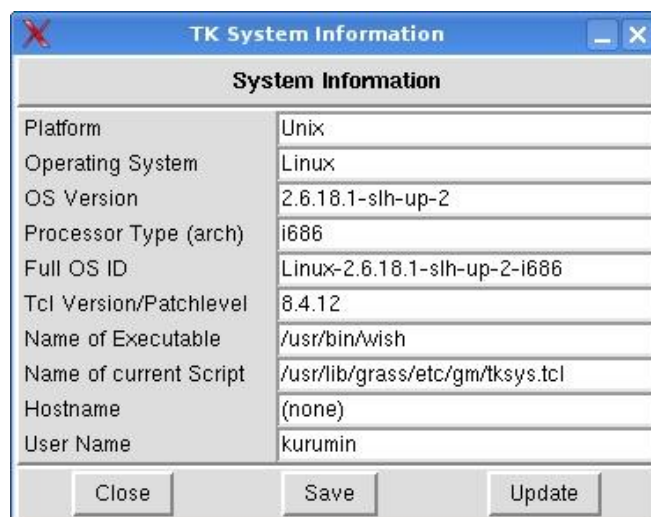


Figura 14 - Informações sobre o Sistema Operacional.

4.4 Programa Computacional

Foi utilizado o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos - GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) o qual é um SIG livre e de código aberto. O Programa SIG GRASS apresenta diversas funcionalidades conforme descrito no item 2.7.1. Ao longo do processo foram utilizadas as versões 6.2.1 e 6.3, sendo que entre elas não foi constatada nenhuma incompatibilidade. O programa SIG GRASS é distribuído gratuitamente na WEB (GRASS, 2006).

O Interpolador Bicúbico, no SIG GRASS está no módulo *r.resamp.interp*. Este refinamento bicúbico garante a continuidade de primeira e segunda ordem entre as funções que representam cada célula do modelo. Desta forma, a superfície resultante é suave nos pontos da grade e também ao longo dos segmentos que formam os retângulos, ou seja, a grade é mais suave e cada parte da grade é contínua e suave em relação aos seus vizinhos.

A metodologia no GRASS, para extração de atributos, além do padrão D8, também utiliza o algoritmo de busca ATsearch (Ehlschlaeger, 1989), conhecido como de “mínimo custo”. Este algoritmo organiza os dados de elevação e avalia a rede hidrológica. Dessa forma, procura a menor trajetória entre um ponto de início e um destino, avaliando a trajetória através das células, segundo a inclinação do fluxo.

No SIG GRASS, o módulo *r.watershed* é utilizado para análise de Bacia Hidrográfica. Neste módulo, também desenvolvido por Ehlschlaeger (1991), é possível uma segmentação detalhada, na qual são extraídos parâmetros e índices a partir de um MDE, como por exemplo, as sub-bacias, as redes hidrológicas, o cálculo da área de cada bacia e o comprimento dos rios.

No desenvolvimento desse trabalho, os módulos do SIG GRASS foram utilizados para importação dos dados obtidos na EMBRAPA (*r.in.gdal*), junção das articulações (*r.mapcalc*), Importação e conversão dos dados vetoriais (*v.to.rast*), delimitação do retângulo da área de trabalho (*g.region*), criação da máscara no SIG GRASS (*r.mask*), construção do modelo digital de elevação 90 m (*v.surf.rst*), refinamento do MDE 90 m para MDE 30 m (*r.resamp.interp*), visualização tridimensional (NVIZ) e geração dos produtos referentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, tais como: Relevo Sombreado (*r.shaded.relief*), Mapa do Relevo Sombreado renderizado com o MDE 30 m, Aspecto e Declividade (*r.slope.aspect*) e análise da Bacia Hidrográfica (*r.watershed*).

Na Figura 15 é dado um destaque aos itens e as etapas desenvolvidas para a obtenção dos resultados.

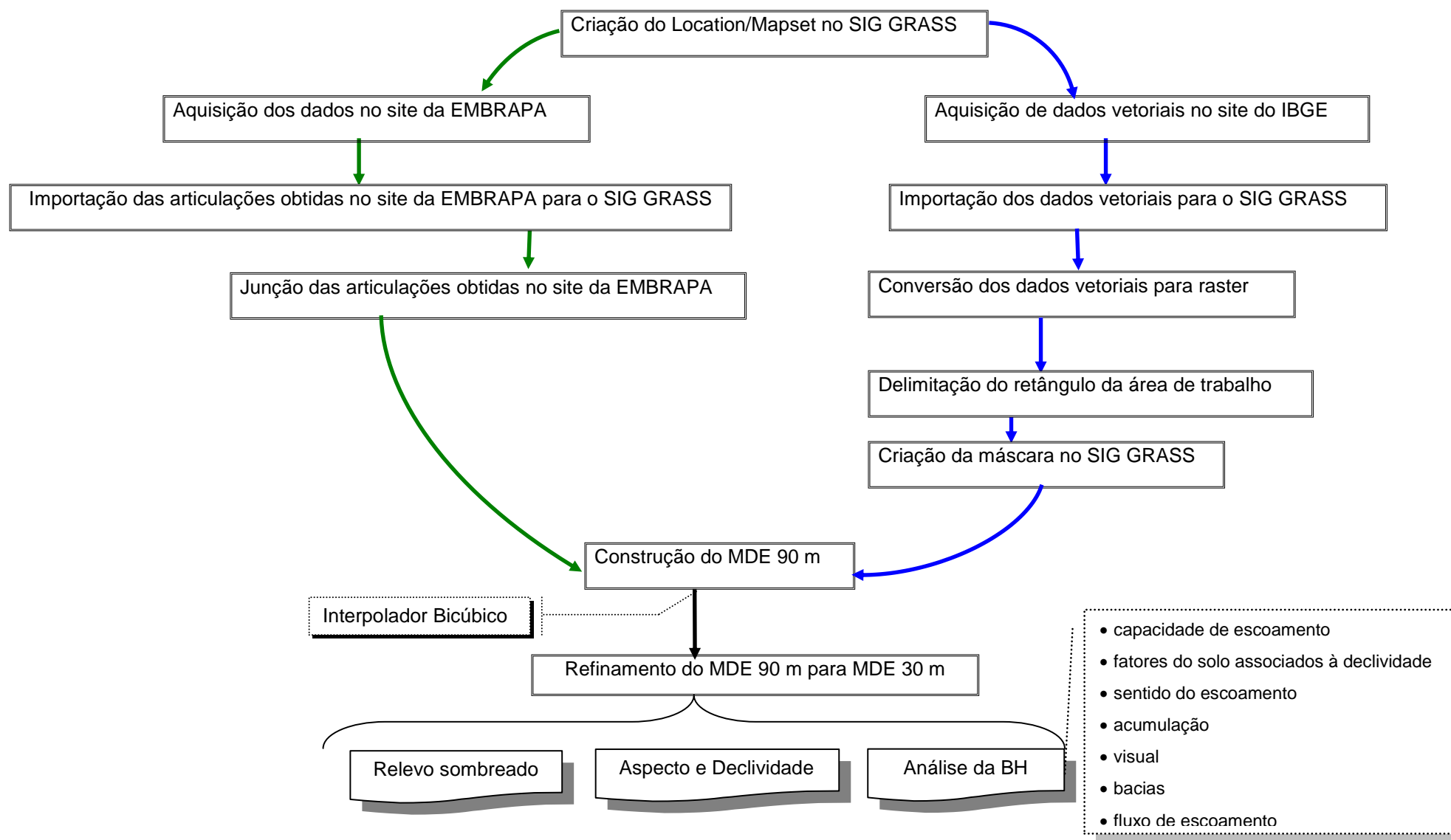


Figura 15 - Representação Esquemática das etapas desenvolvidas.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Importação dos dados da EMBRAPA para o SIG GRASS

A área de estudo está inserida nas articulações SB-24-Z-B; SB-24-Z-D; SB-25-Y-A; e, SB-25-Y-C (download do SRTM Paraíba oriundo da EMBRAPA), os quais originalmente, estão no formato “.HGT”.

Foi utilizado o módulo *r.in.gdal* para importação de cada uma das quatro articulações, como dado de entrada (*input*) e utilizou-se o mesmo nome do arquivo para o dado de saída (*output*).

5.2 Junção das Articulações no SIG GRASS

Após a importação de cada arquivo correspondente à articulação da área de estudo, foi feita a junção dos dados com o módulo *r.mapcalc*. Neste módulo, foi utilizada a seqüência de agrupamento descrita a seguir:

1. Dado de entrada (*input*): articulações SB-24-Z-B + SB-24-Z-D

Dado de saída (*output*): mde_embropa_a.

2. Dado de entrada (*input*): articulações SB-25-Y-A + SB-25-Y-C

Dado de saída (*output*): mde_embropa_b.

3. Dado de entrada (*input*): embropa_a + embropa_b.

Dado de saída (*output*): mde_embropa.

Na Figura 16 é apresentada a junção do mde_embropa_a com o mde_embropa_b; e na Figura 17 a seqüência de agrupamento que resulta na junção de todas as articulações - o mde_embropa, o qual abrange toda a área de estudo.

A Figura 18 mostra a composição do mde_embropa e os dados SRTM com aspectos geomorfológicos da região, na qual está inserida a área de estudo.

E dessa forma na Figura 19 pode-se observar a composição do dado SRTM-EMBRAPA (mde_embropa) com o estado da Paraíba, representado através dos seus municípios.

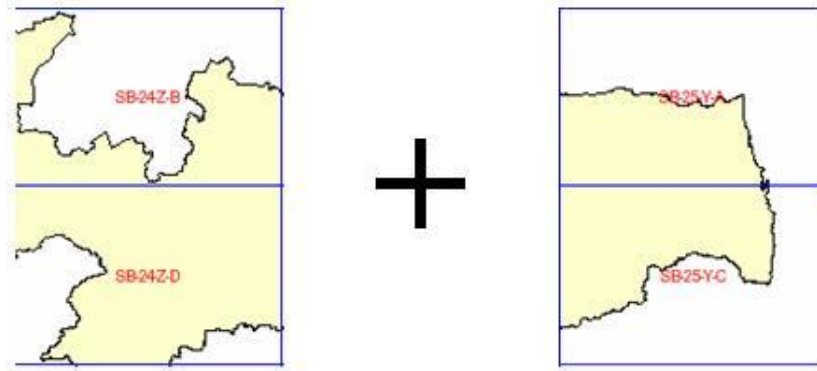


Figura 16 - Junção do mde_embraa_a com o mde_embraa_b.

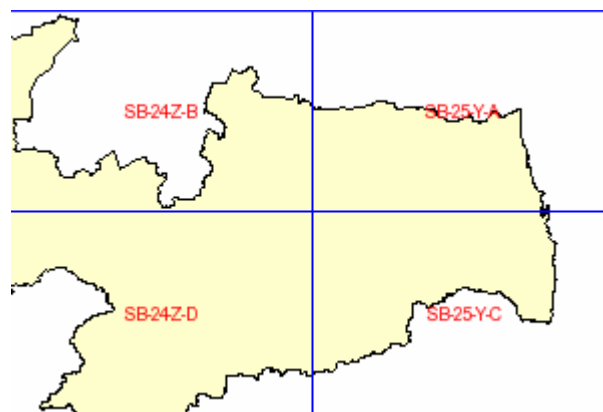


Figura 17 - MDE_embraa.



Figura 18 - MDE_embraa no SIG GRASS.

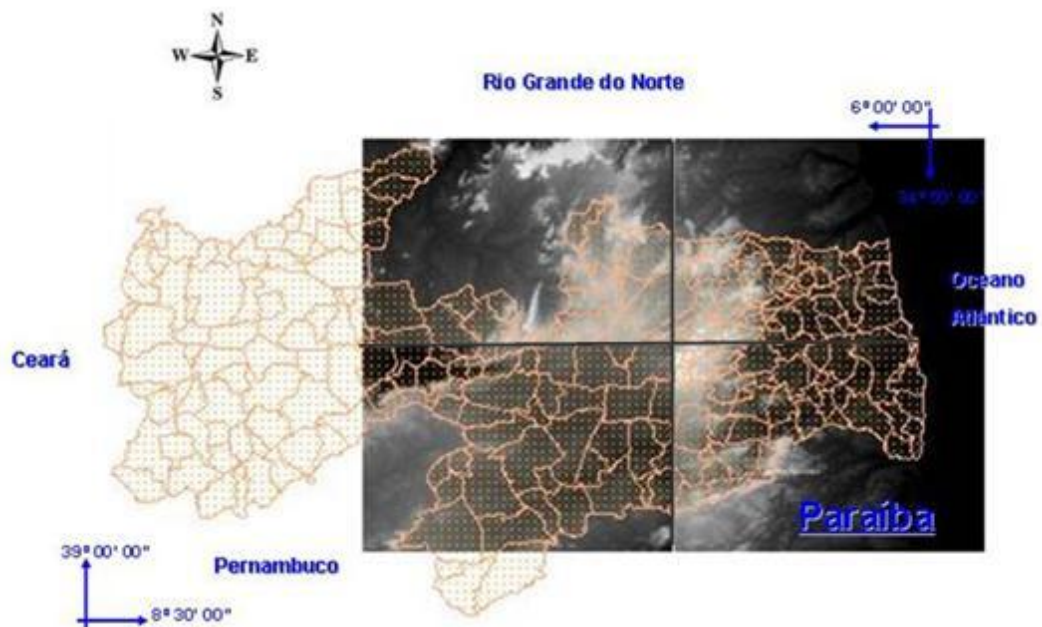


Figura 19 - Composição do dado SRTM-EMBRAPA com o estado da Paraíba.

Na identificação do arquivo de saída, foi utilizada a palavra “mde”, entretanto, ressalta-se que na etapa seguinte é que foram executados os procedimentos para a construção do MDE - Modelo Digital de Elevação.

5.3 Construção do MDE 90 m

Para obtenção do MDE 90m, foi usado o algoritmo Spline com Tensão Regularizada, implementado no módulo *v.surf.rst* do SIG GRASS. A Figura 20 apresenta o MDE 90 m compreendida pelo retângulo envolvente da área de estudo.

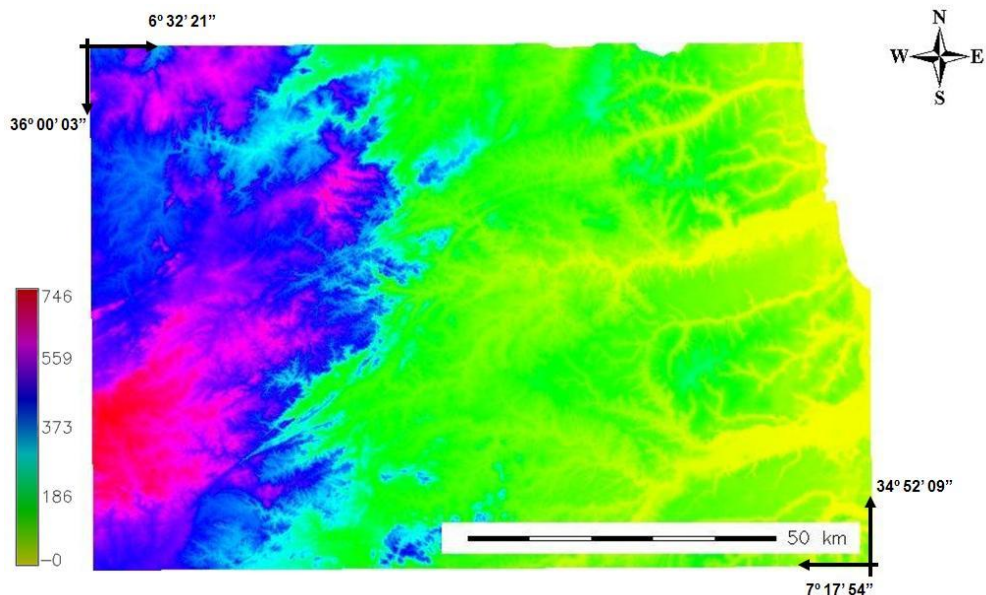


Figura 20 - Modelo Digital de Elevação na resolução espacial de 90 m.

5.4 Refinamento do MDE 90 m para MDE 30 m

Para o alcance de melhores resultados, o MDE 90 m obtido inicialmente, foi submetido a um processo de refinamento de 90 m para 30 m de resolução espacial, com a utilização do Interpolador Bicúbico existente no módulo *r.resamp.interp*.

O módulo *r.resamp.interp* também utiliza o algoritmo Spline com Tensão Regularizada, o qual corresponde a uma função de base radial, com condição de minimização dos desvios entre valores observados e calculados, ao mesmo tempo, em que produz a suavização da superfície obtida.

Dessa forma, o módulo reinterpola e processa a análise topográfica possibilitando a apresentação do resultado (dado de saída - *output*) com uma resolução diferente do dado de entrada (*input*).

Como o objeto de estudo é uma bacia hidrográfica, foi utilizado o valor de 40 (*default*) para a tensão, já que o programa também verifica a estabilidade numérica do algoritmo no cálculo de valores em determinados pontos e assim o aumento da tensão é sugerido, caso a diferença seja inaceitável; o que não ocorreu nos procedimentos executados.

O MDE 30m de resolução espacial é apresentado na Figura 21.

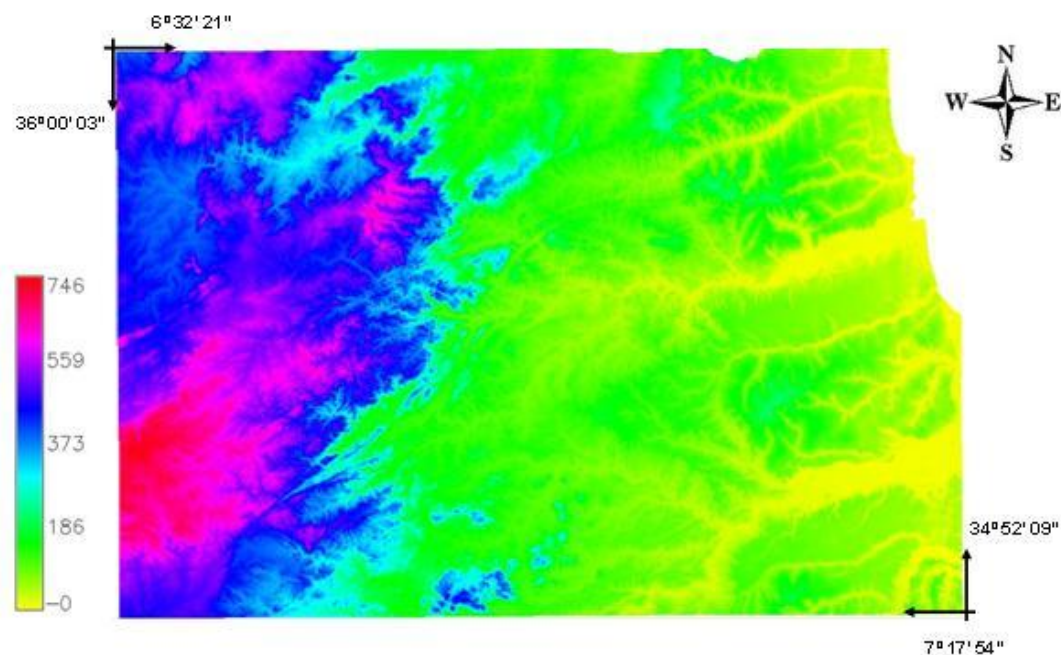


Figura 21 - Modelo Digital de Elevação na resolução espacial de 30 m.

Os maiores e menores valores de altitudes observados no MDE 30m, foram respectivamente, 746 m e -0,080 m.

Na Figura 21, os setores correspondentes aos tons de rosa e vermelho correspondem aos maiores valores de altitude. Por sua vez, as áreas em tons de amarelo são relativas às menores altitudes e servem para identificar fundos de vale, que dividem os planos de duas encostas ou até curso de água.

O resultado do refinamento (Figura 22.a) possibilita uma melhor visualização (Figura 22.2), além de também inferir melhores resultados no produto resultante.

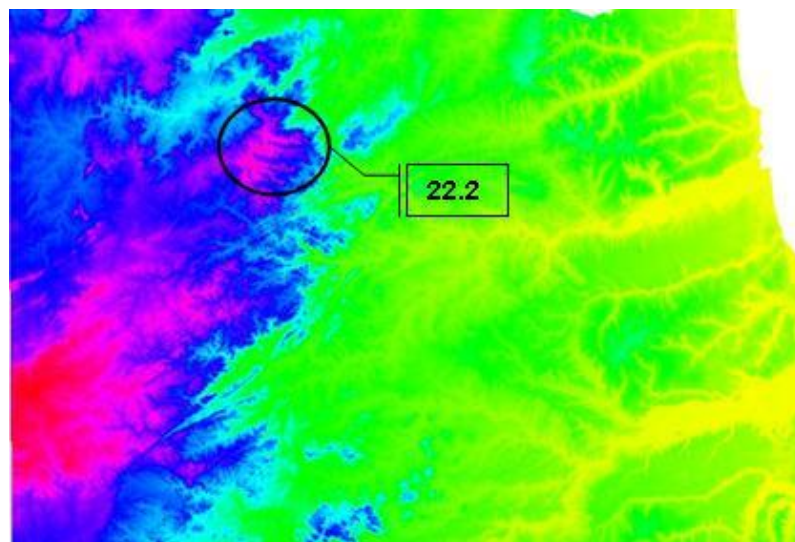


Figura 22.a - Área do MDE 30 m em destaque após o refinamento.

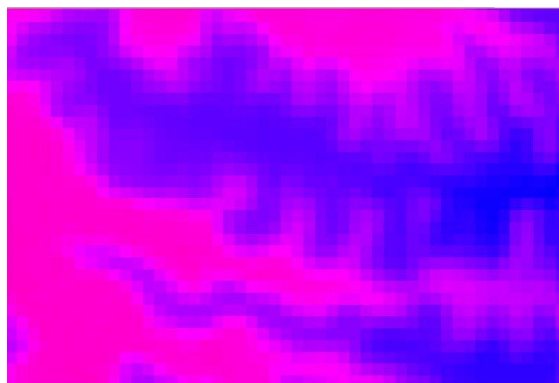


Figura 22.1

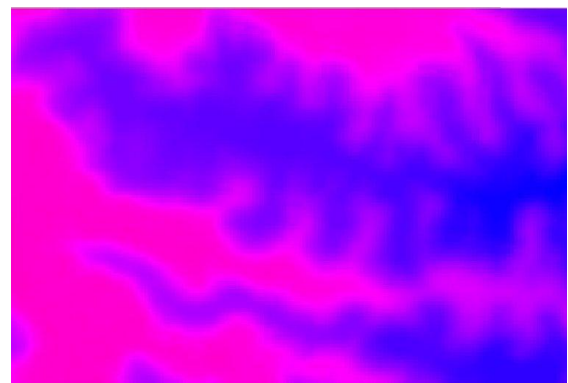


Figura 22.2

Figura 22 - Comparação entre os MDE 90 m (Figura 22.1) com o MDE 30 (Figura 22.2), da área em destaque após o refinamento (22.a).

O arquivo de contorno do estado da Paraíba utilizado foi obtido no Servidor de Mapas do IBGE, que originalmente em formato vetorial, foi convertido em raster para ser utilizado como máscara. Dessa forma, os procedimentos de interpolação

corresponderam estritamente à área da Bacia Hidrográfica pertencente ao Estado da Paraíba.

Os módulos para a modelagem hidrológica disponíveis no SIG GRASS, além de refinar, também possibilitaram inserir consistência hidrológica no modelo digital de elevação; para que o fluxo do escoamento superficial pudesse ser melhor visualizado; e assim auxiliar na delimitação da bacia e sub-bacias, como também na obtenção de outras variáveis que são importantes no estudo de Bacia Hidrográfica.

Como exemplo, a visualização tridimensional do retângulo envolvente da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape (Figura 23), obtida no NVIZ, que também é um módulo do SIG GRASS e onde é permitido aos usuários observar a superfície da área de estudo em um espaço 3D.

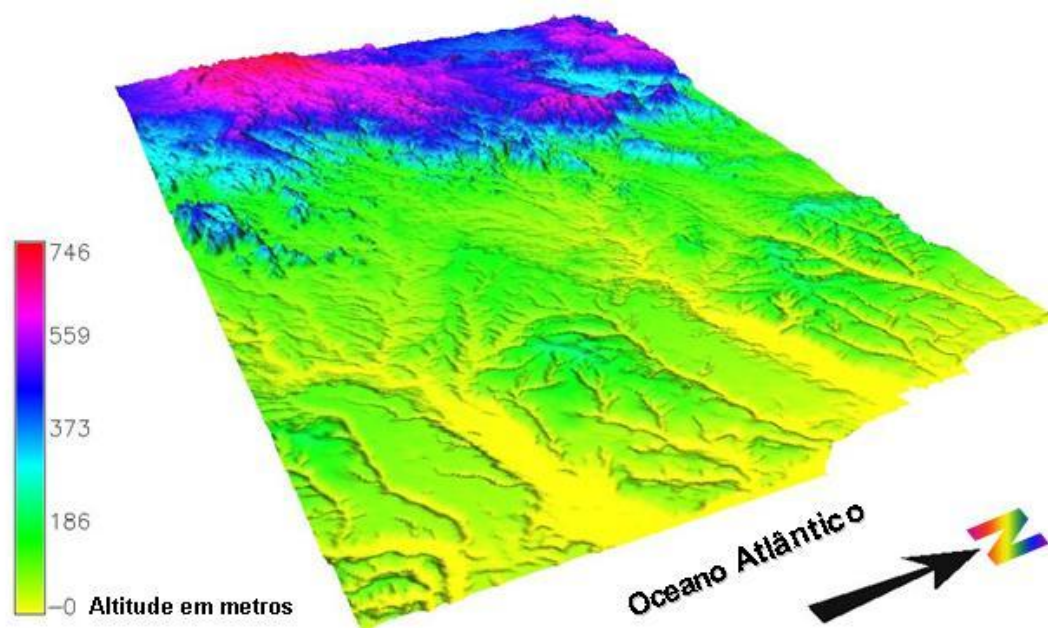


Figura 23 - Visualização tridimensional do retângulo envolvente da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.

Na visualização tridimensional compreendida pelo retângulo envolvente da área de estudo, é possível observar as linhas de cumeadas e as conformações dessas direções, que materializam os vales existentes entre as elevações ou a rede de drenagem.

Esse resultado, obtido através do módulo NVIZ, o qual permite uma rapidez na exibição das mudanças, por possuir um conjunto de ferramentas com diversas funções para fixar a posição, direção e perspectiva, à escolha do usuário.

5.5 Produtos Resultantes

5.5.1 Relevo Sombreado

O relevo pode ser representado por um mapa de sombreado ou iluminação da topografia. Dessa forma, a variável representada é uma simulação do nível de luz ou de sombra refletida pelo relevo ao ser iluminado pelo sol situado numa determinada posição geográfica.

Com o MDE 30 m (MDE de referência) e utilizando o módulo *r.shade.relief* foi obtido o mapa de relevo sombreado, o qual é apresentado na Figura 24.

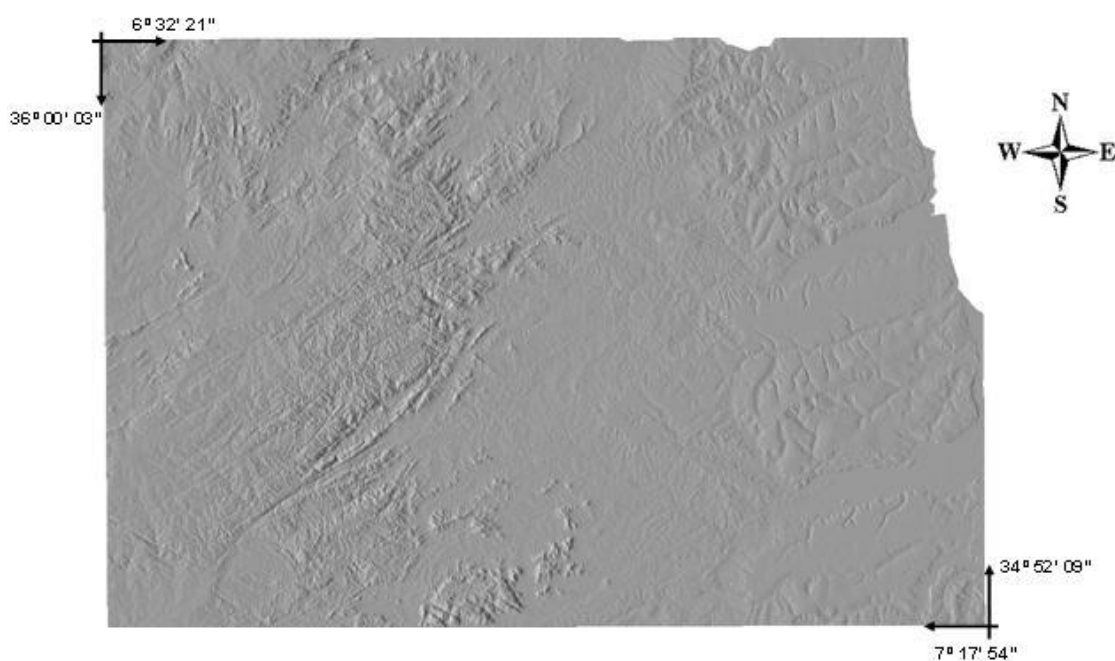


Figura 24 - Mapa do Relevo Sombreado obtido com o módulo *r.shaded.relief*.

O módulo *r.shaded.relief*, desenvolvido por Jim Westervelt, é um script que envolve a utilização de álgebra de mapas (Shapiro e Westervelt, 1991) e tem como parâmetros de entrada (*input*) o MDE de referência, a altitude do sol e o azimute, dentre outros valores de entrada escolhidos pelo usuário.

Foi utilizado como dado de entrada os valores default apresentados pelo próprio programa, ou seja, para a altitude do sol acima do horizonte (30°); e, para o azimute do sol no sentido horário (270°).

Depois da execução no módulo, o mapa resultante é apresentado numa escala de cinza com um MDE sombreado (Figura 24). As áreas de maior declividade, que se encontram expostas ao Sol, refletirão muita luz e assim são mais

visíveis; todavia, as áreas que se encontram nas encostas não iluminadas diretamente pelo sol, não refletirão luz e aparecerão escuras no modelo.

Por isso, para melhor inferência, o produto resultante sombreado foi renderizado com o MDE 30 m que está apresentado na Figura 25.

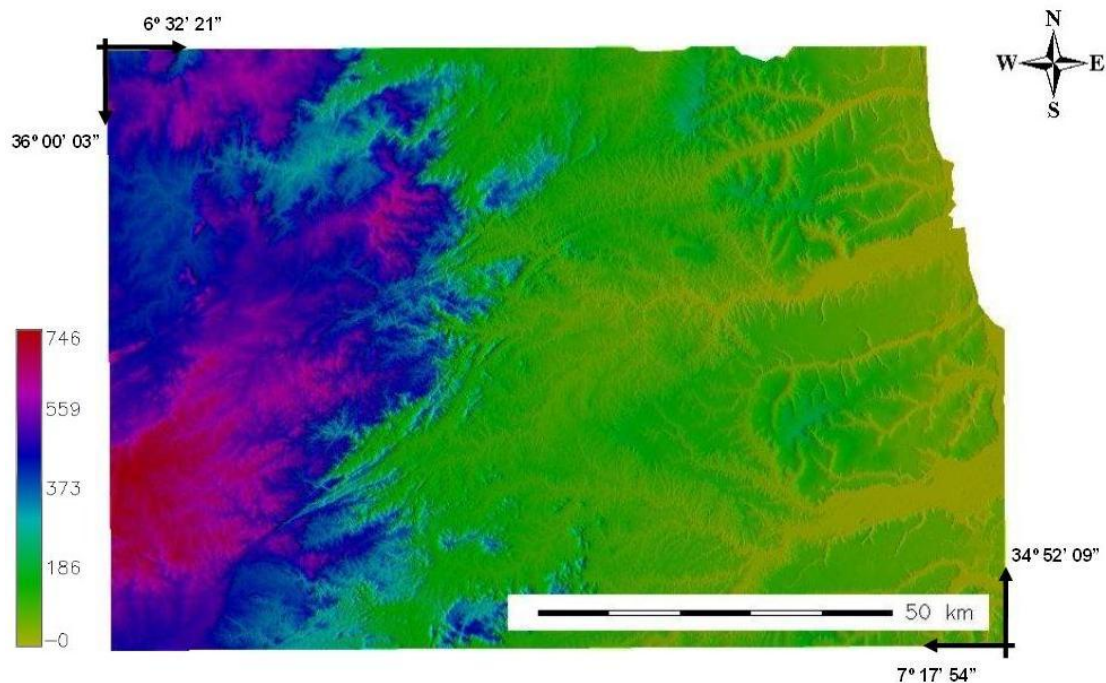


Figura 25 - Mapa do Relevo Sombreado renderizado com o MDE 30 m .

Este produto (*shaded relief*) também é muito utilizado em estudos ecológicos, onde é importante o conhecimento dos fluxos anuais de energia solar e a percepção do relevo (geomorfologia e erodibilidade).

De acordo com o observado na Figura 25 as vertentes dos rios e afluentes existentes na bacia na sua porção leste, seguem o padrão predominante nos Baixos Planaltos Costeiros. Apresentam-se bem dissecadas, com sulco principal aprofundado, que pode ter ocorrido pelo escoamento superficial ou pela ação humana.

Já na região oeste da área de estudo, se encontram as maiores cotas em relação ao nível do mar, o que possibilita maiores velocidades do escoamento superficial, podendo ocasionar erosão (ravina e/ou voçoroca). É importante ressaltar que nesta área encontra-se a nascente do Rio Principal, ou seja, o maior tributário e onde começa toda a rede de drenagem a qual será analisada em outro item juntamente com os dados de declividade e relevo. Desse modo, é possível avaliar o

papel dos contornos no relevo, além de possibilitar uma análise da declividade derivada dos mesmos.

5.5.2 Aspecto e Declividade

O relevo tem uma importância primordial na formação do escoamento superficial da bacia. O tempo de concentração da bacia, tempo que leva a gota de chuva para ir do limite mais externo da bacia até a calha fluvial, é tanto menor quanto maior for a declividade da bacia e o aspecto por ela apresentado.

No módulo *r.slope.aspect*, a partir de um dado raster, diferentes resultados são gerados, entre os quais podem ser citados os mapas de aspecto e declividade.

Neste trabalho foram adotados os seguintes parâmetros para a declividade e o aspecto:

- O Aspecto indica a direção das declividades, e neste módulo ele é calculado no sentido anti-horário partindo do leste. Ele está dividido em norte, sul, leste, oeste e sem aspecto (quando a declividade é plana).

- As classes de declividades serão discriminadas em seis intervalos distintos proposto pela classificação da EMBRAPA:

- a) 0-3% - relevo plano.
- b) 3,1-8% - relevo suavemente ondulado.
- c) 8,1-20% - relevo ondulado.
- d) 20,1- 45% - relevo fortemente ondulado.
- e) 45,1- 75% - relevo montanhoso.
- f) > 75,1% relevo fortemente montanhoso.

No módulo *r.slope.aspect* o usuário pode escolher entre apresentar os resultados para a declividade em graus ou porcentagem. Os resultados obtidos Mapa de Aspecto e o Mapa de Declividade são apresentados nas Figuras 26 e 28, respectivamente.

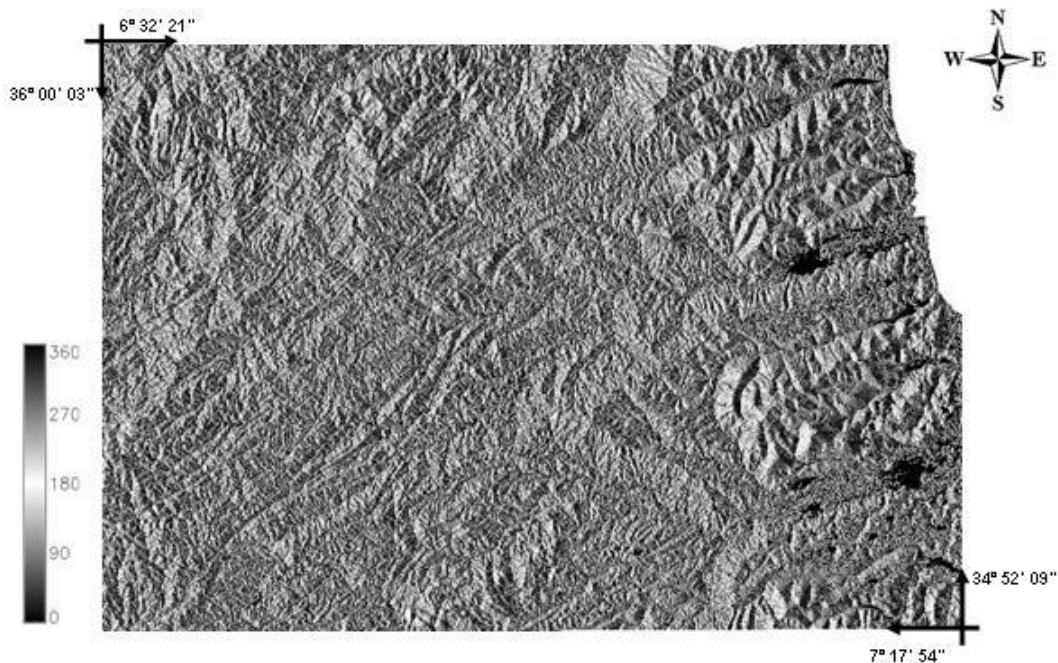


Figura 26 - Mapa de Aspecto.

A orientação da declividade de um determinado ponto no terreno ou exposição é definida como sendo o azimute em graus ou o ponto cardinal para o qual se encontra orientado o plano de máxima declividade nesse ponto. Na Figura 27 estão indicadas as posições convencionais para as classes de exposição do terreno.

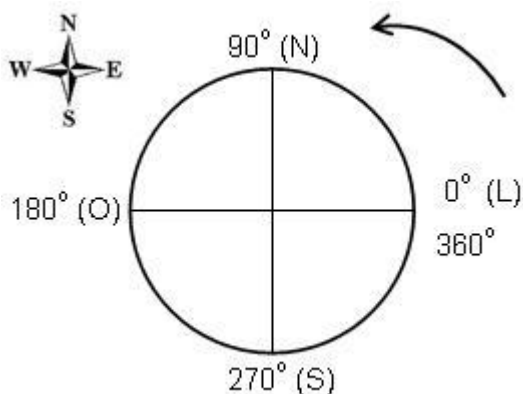


Figura 27 - Representação esquemática adotada para a exposição do terreno.

Observa-se no Mapa de aspecto que na parte leste da área de estudo, há uma predominância no direcionamento das declividades para o leste e para o norte, o que demonstra que a área apresenta uma maior concentração de áreas com declividade na faixa de até 16%, conforme a Figura 28.

E, na parte oeste, onde estão as maiores altitudes e as áreas de maior percentual para a declividade. No Planalto da Borborema o aspecto apresenta a orientação da declividade, prioritariamente para o norte, o qual é ratificado com as feições geomorfológicas da área.

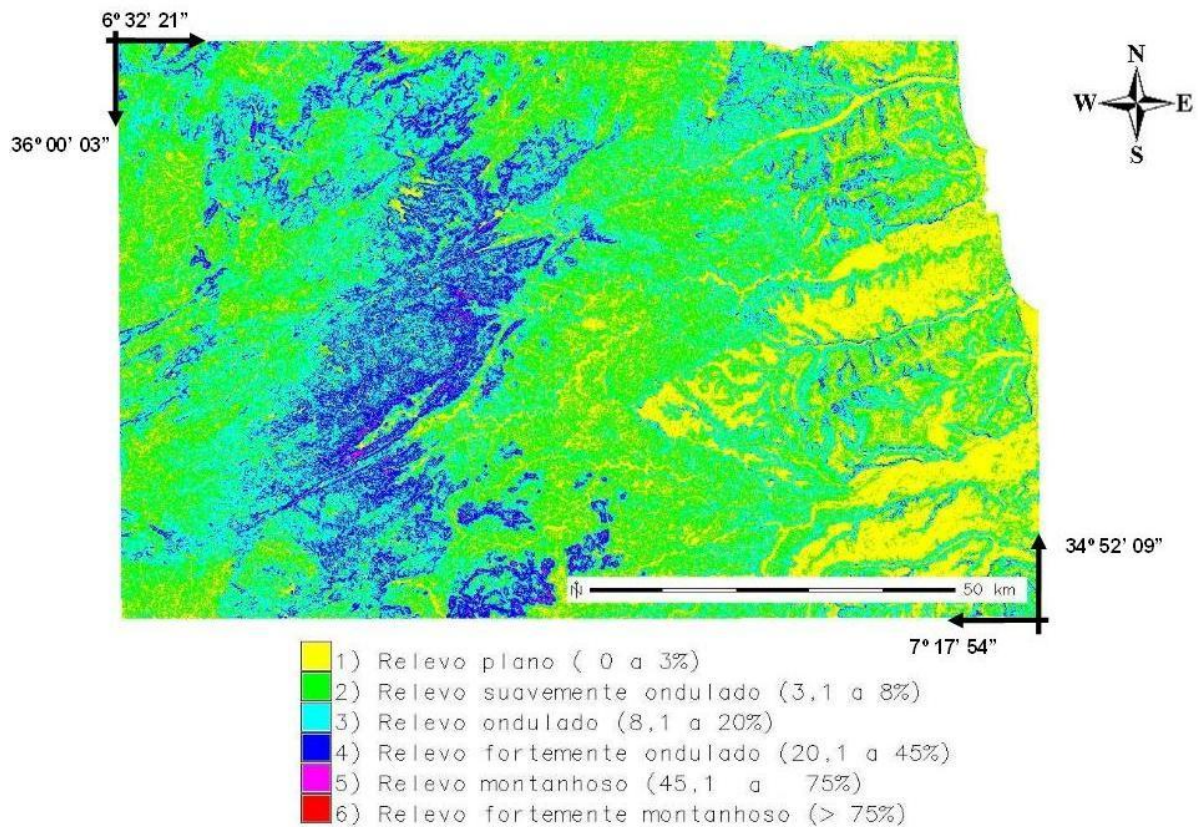


Figura 28 - Mapa de Declividade (legenda em %).

A declividade do terreno é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. Esta imagem resultante (Figura 28) foi fatiada em classes de declividades conforme os seis intervalos distintos sugeridos pela EMBRAPA (1979).

Com as informações topográficas fornecidas pelo MDE 30m, foi possível realizar o processamento no SIG GRASS, o qual forneceu os valores de declividade, ou seja, a inclinação do terreno. No procedimento existente no módulo, ele não atribui valores às bordas da região.

Observa-se que na parte Leste da bacia estão os menores valores de declividade com áreas de relevo plano a relevo ondulado. E na parte Oeste, estão os maiores valores de declividade, onde o relevo pode ser classificado como relevo

fortemente ondulado e relevo montanhoso, tendo sido encontrado na área de estudo o valor máximo de 63% para a declividade.

A declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem. A magnitude dos picos de enchente e a maior ou menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos depende da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia.

Assim a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, de acordo com a área, apresenta um relevo plano, ondulado e até montanhoso.

5.5.3 Análise da Bacia Hidrográfica

No SIG GRASS, o módulo *r.watershed* permite que sejam obtidas outras variáveis para análise da Bacia Hidrográfica objeto do estudo. Com este módulo, desenvolvido por Ehlschlaeger (1991), é possível uma segmentação detalhada da qual são extraídos parâmetros e índices hidrológicos a partir de um MDE. Assim são obtidas as bacias e sub-bacias, zonas de acumulação, o sentido e o fluxo de escoamento.

A utilização do algoritmo de busca AT (Ehlschlaeger, 1989), conhecido como de “mínimo custo”, organiza os dados de elevação e avalia a rede hidrológica, seguindo a inclinação do fluxo, onde avaliando a trajetória através das células, é procurado o menor caminho entre um ponto de início e um destino.

É importante ressaltar que a inclinação do fluxo segue o método D8, que considera apenas uma das oito direções possíveis de escoamento para cada uma das células do MDE – norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste.

Mesmo apresentando diversos resultados, este módulo pode ser acessado diretamente do terminal, digitando o comando *r.watershed* ou a partir da barra de ferramentas: *raster > hydrologic modeling > watershed analysis*.

Assim, apenas com o MDE 30m, como dado de entrada (*input*) e o auxílio do módulo *r.watershed*, o qual permite que seja feita a análise da Bacia Hidrográfica; foram gerados como arquivos de saída (*output*) os mapas de Capacidade de Escoamento (*drain*); Fatores do solo para USLE associados com a declividade

(*length.slope*); Sentido do escoamento para USLE (*slope.steepestness*); Acumulação (*accum*); Visual (*Visual*); Bacias (*basin*) e Fluxo de Escoamento (*stream*). Entre parênteses está a terminologia utilizada no SIG GRASS, para cada resultado obtido.

Para cada produto os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras de 29 a 44.

a) Mapa da capacidade de escoamento (*drain*)

O produto de Informação aqui gerado corresponde ao “aspecto” do fluxo para cada célula. O valor 0 (zero) indica que a célula é uma área de depressão (oriundo do dado de entrada). Outros valores negativos indicam que o escoamento na superfície sai dos limites do atual região geográfica. O valor absoluto negativo destas células indica a direção do fluxo.

A escolha do único caminho possível de deslocamento da água em cada uma das células do MDE é dada pela direção do maior declive

A Figura 29 apresenta o mapa de drenagem, ou seja, a capacidade de escoamento da drenagem e onde também estão realçadas as feições topográficas da área de estudo.



Figura 29 - Mapa da capacidade de escoamento em que valor 0 = área de depressão; valor negativo está fora dos limites região geográfica corrente e valor positivo indica a direção do fluxo, seguindo o padrão D8.

b) Fatores do solo para USLE associados com a declividade (*length.slope*)

Os dados apresentados neste Mapa são referentes à declividade associado a fatores relacionados ao solo, presente na USLE, que é a equação universal da perda de solo.

A USLE (*Universal Soil Loss Equation*) foi originalmente desenvolvida como uma ferramenta para ser usada em desenvolvimento de planos de manejo da terra, para controlar a erosão e manter o solo produtivo. Mas, depois a USLE começou a ser usada para estimar a produção de sedimentos para projeto de pequenos reservatórios. Como a consciência dos problemas com a qualidade da água tem crescido, ela tem sido mais amplamente usada para estimar a produção de sedimentos (RUHOFF, 2004).

A USLE é dada por: $A = R K L S C P$

Onde:

A: é a perda de solo calculada por unidade de área;

R: é um fator que representa o poder de erosão da chuva e do escoamento;

K: é um fator de erodibilidade do solo;

L: é um fator de comprimento da rampa;

S: é um fator de declividade da rampa;

C: é um fator de cobertura, uso e manejo;

P: é um fator da prática de conservação do solo.

A precipitação ao atingir uma superfície irá se comportar em função da sua altitude, declividade e orientação da vertente da mesma. Se uma vertente tiver pouca declividade, a infiltração é favorecida, enquanto que, se a superfície possuir maior declividade ocorre um aumento no escoamento superficial. Assim, o escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações.

Um dos elementos básicos do ciclo hidrológico, de maior importância é o escoamento superficial, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os efeitos causados pelo seu deslocamento.

A Figura 30 apresenta os resultados dos fatores L e S, associados à declividade existente na área de estudo.

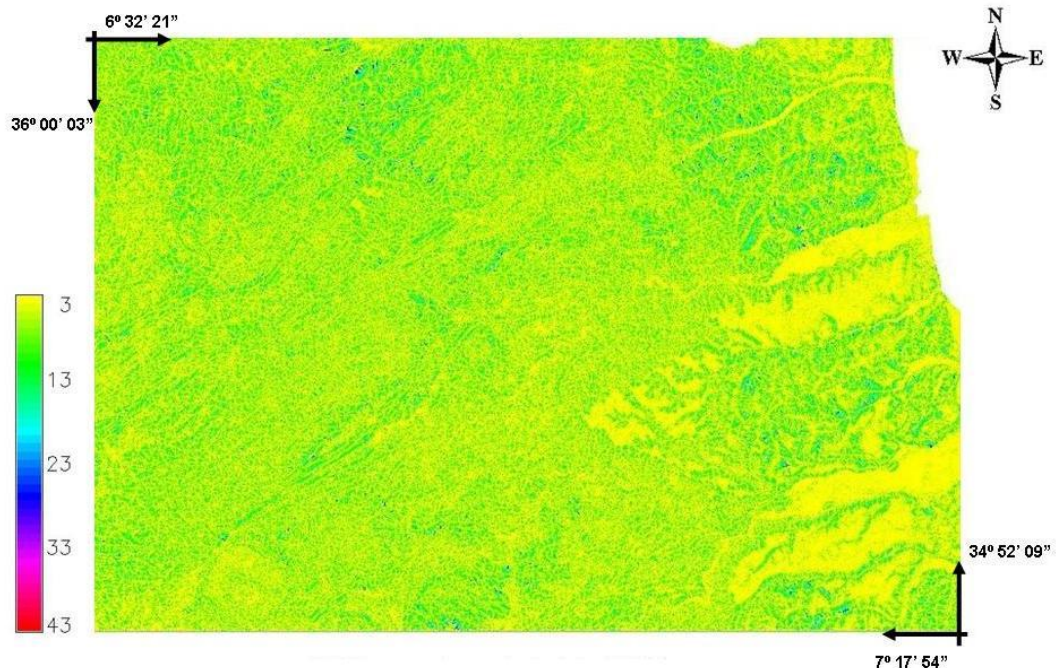


Figura 30 - Mapa de fatores do solo para USLE associados à declividade - valores declividade e comprimento do declive (LS), multiplicados por 100.

Os resultados obtidos estão relacionados aos fatores L (comprimento do declive) e S (declividade) associados à declividade da região, os quais são fatores da USLE. Uma vez que o fator LS é um número pequeno (geralmente inferior a um), o mapa de saída GRASS é do tipo DCELL (célula do tipo float), por isso cada valor apresentado é resultado da multiplicação do valor obtido por 100 (WELTZ M. A. *et al*, 1987).

Os menores valores estão situados na parte Leste da bacia, tendo sido encontrado valores no intervalo de 3 a 13.

E na parte Oeste da bacia, onde se encontram as maiores declividades também está os maiores valores, sendo encontrado o valor máximo de 43 para a região. Este resultado refere-se à mudança de elevação existente entre as células do MDE ao longo da direção do fluxo e o comprimento percorrido pelo mesmo.

O fator LS interfere na dinâmica erosiva através do comprimento da vertente e da inclinação do relevo, são fatores fundamentais para a compreensão do processo do escoamento hídrico superficial.

c) Sentido do escoamento para USLE (*slope.steepness*)

A declividade de declive é um parâmetro fundamental na maioria dos modelos de erosão. E o método mais eficiente para sua determinação é através de um modelo digital de elevação.

Nos estudos de bacias hidrográficas o comportamento do relevo é muito importante, visto que as precipitações que entram na bacia também contribuem para o transporte dos sedimentos, como também aquele resultante da ação humana que tem aterrado o solo, seja com entulho, resíduos sólidos ou até com o próprio solo. A Figura 31 apresenta o mapa de comprimento dos declives.

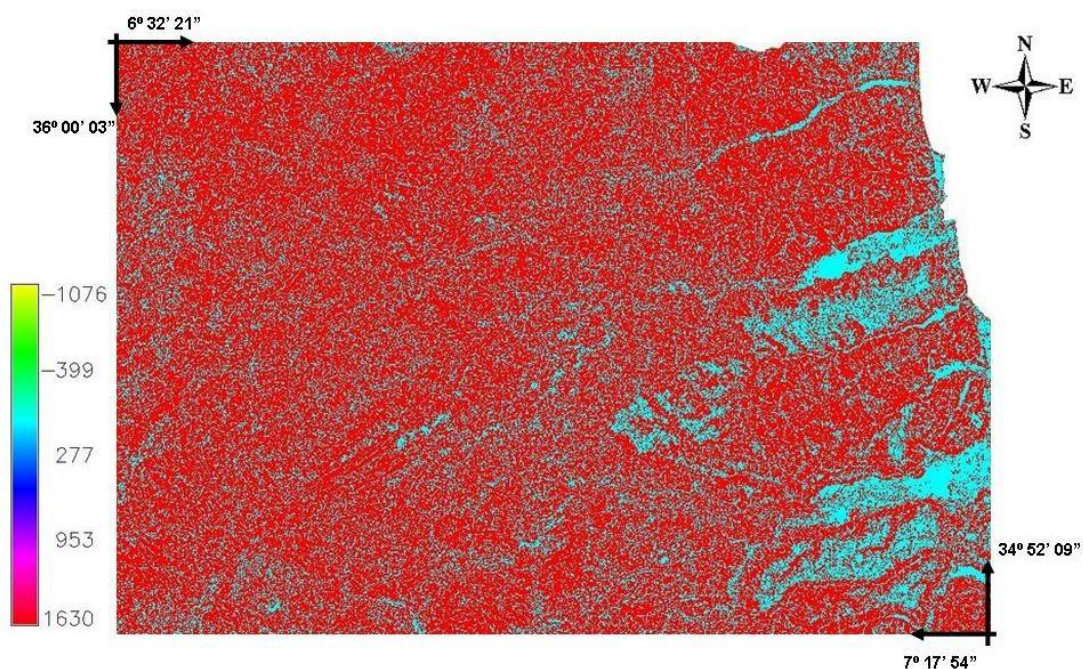


Figura 31 - Mapa de comprimento dos declives (*slope.steepness*) onde os valores do fator de comprimento de declividade são multiplicados por 100.

O resultado apresentado refere-se ao escoamento, associado ao fator S, o qual representa a declividade das vertentes da área de estudo. Uma vez que o fator S, fator de declividade da rampa, de acordo com a equação da USLE, normalmente apresenta valor inferior a um, o programa SIG GRASS, automaticamente multiplica-os por 100. Os valores negativos representam que são pontos limítrofes da área geográfica de estudo.

Assim, há na área de estudo uma predominância do valor 1630. E também foi constado valores fora da área de estudo, a partir de -399.

É importante notar que esta aproximação considera as oito direções possíveis para o declive (padrão D8) ao longo do MDE 30m.

Os processos de erosão e sedimentação são dirigidos pelos processos hidrológicos de precipitação e escoamento. Logo, alguns fatores interferem diretamente na erosão e sedimentação. Assim qualquer análise de erosão, transporte de sedimentos podem também ser observados a partir de uma Bacia Hidrográfica com suas características e atributos.

Neste momento, não é objetivo deste trabalho a construção de um MDEHC – Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente.

d) Mapa de acumulação (*accum*)

O aspecto e a declividade contribuem para a direção do fluxo de uma região e conseqüentemente a rede de drenagem da Bacia Hidrográfica em estudo. O mapa de acumulação permite identificar as áreas com os maiores fluxo de recebimento.

As áreas de acumulação representam a contribuição de fluxo recebida de outras células da área de estudo. Foi definido que uma área de fluxo acumulado é resultante da contribuição de fluxo, de no mínimo 500 células, ou seja, 4,5 hectares.

A visão geral do Mapa de Acumulação na área de estudo está apresentada na Figura 32.

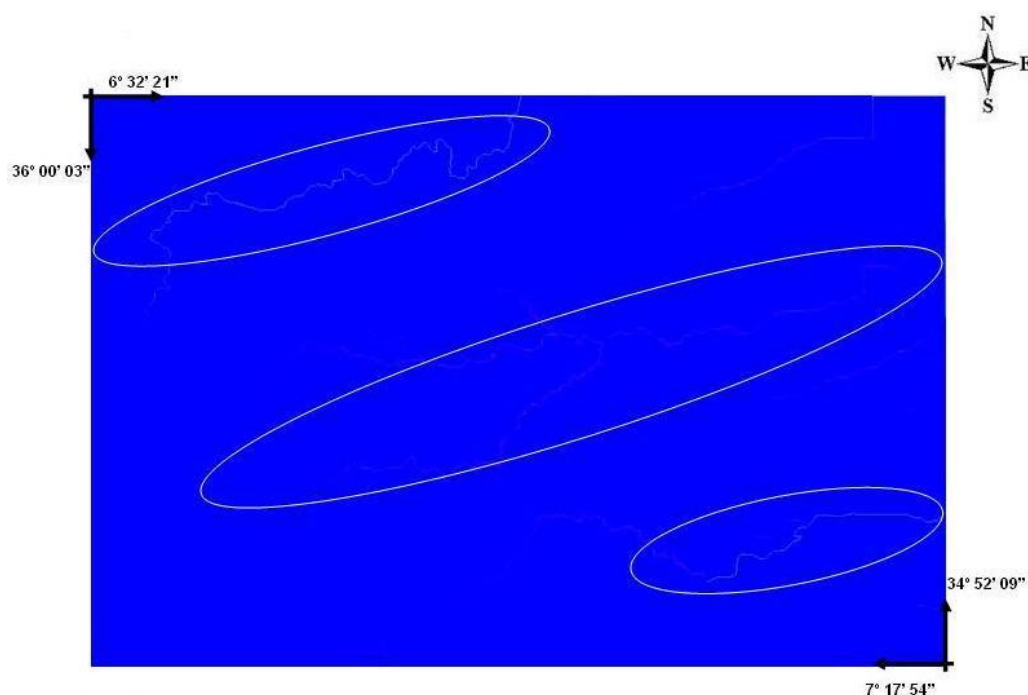


Figura 32 - Visão parcial da área de estudo através do mapa de acumulação, elaborado com base no número células de contribuição para cada canal da rede de drenagem.

É onde se podem observar os locais que, visivelmente, há as maiores concentração de fluxo na região de estudo. Na Figura 33 é exibido um detalhe do Mapa de Acumulação na área de maior concentração.

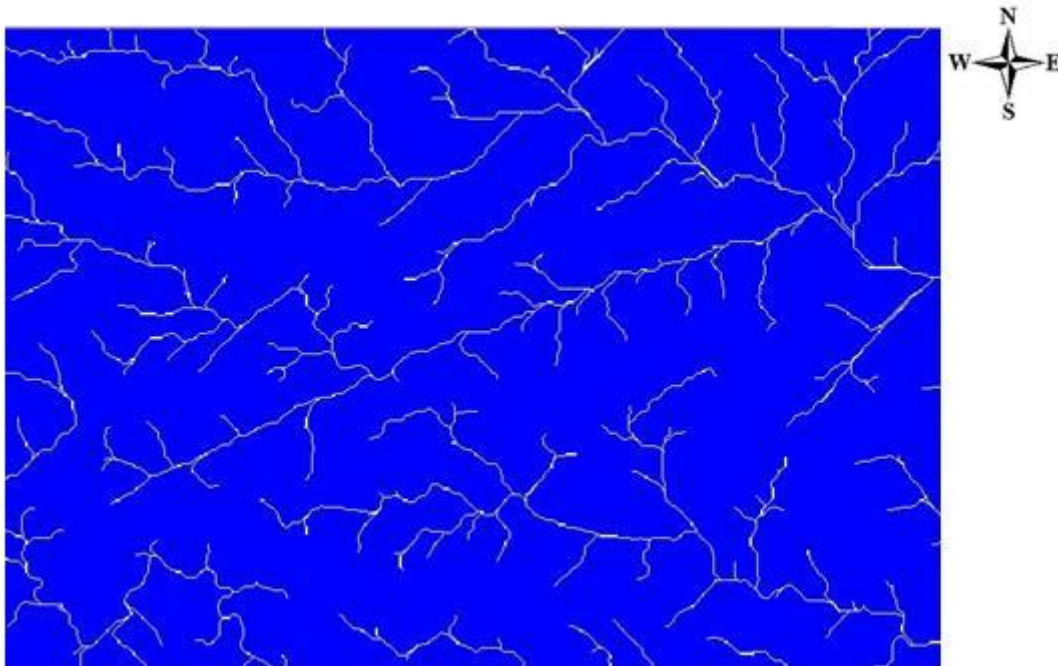


Figura 33 - Detalhe do mapa de acumulação.

Estas áreas de acumulação de fluxo ocorrem prioritariamente à jusante, mas também identificam os pontos de saída, por que o Mapa de Acumulação tem como fundamento o algoritmo de busca A^t que procura o menor caminho entre as células.

As células com alta acumulação de fluxo identificam as áreas dos canais de fluxo. As células com acumulação zero de fluxo são os locais com as maiores altitudes e identificam os cumes e os valores negativos indicam que as células têm o seu destino final, fora da atual região geográfica.

e) Mapa de Visual (*Visual*)

O mapa visual é útil para a visualização dos resultados. Ele apresenta a acumulação na superfície da área de estudo para possibilitar uma melhor exibição. A Figura 34 apresenta o mapa visual onde a gradação de cores é em função da acumulação de fluxo.

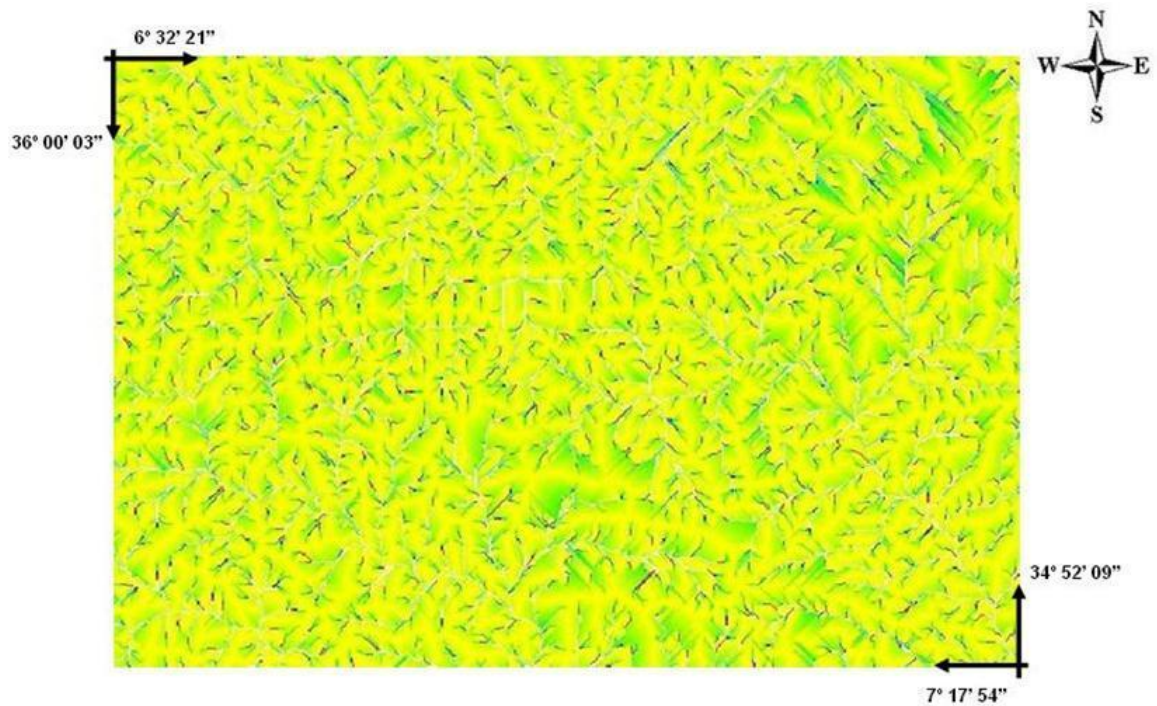


Figura 34 - Visão parcial da área de estudo através do mapa visual, onde a graduação de cores é em função da acumulação de fluxo.

Na Figura 35 é exibido um detalhe do mapa visual em função da acumulação de fluxo na rede de drenagem, onde pode ser observada a hierarquia dos tributários e os segmentos do fluxo. Dessa forma, a bacia será delimitada a partir das junções de fluxo existente.

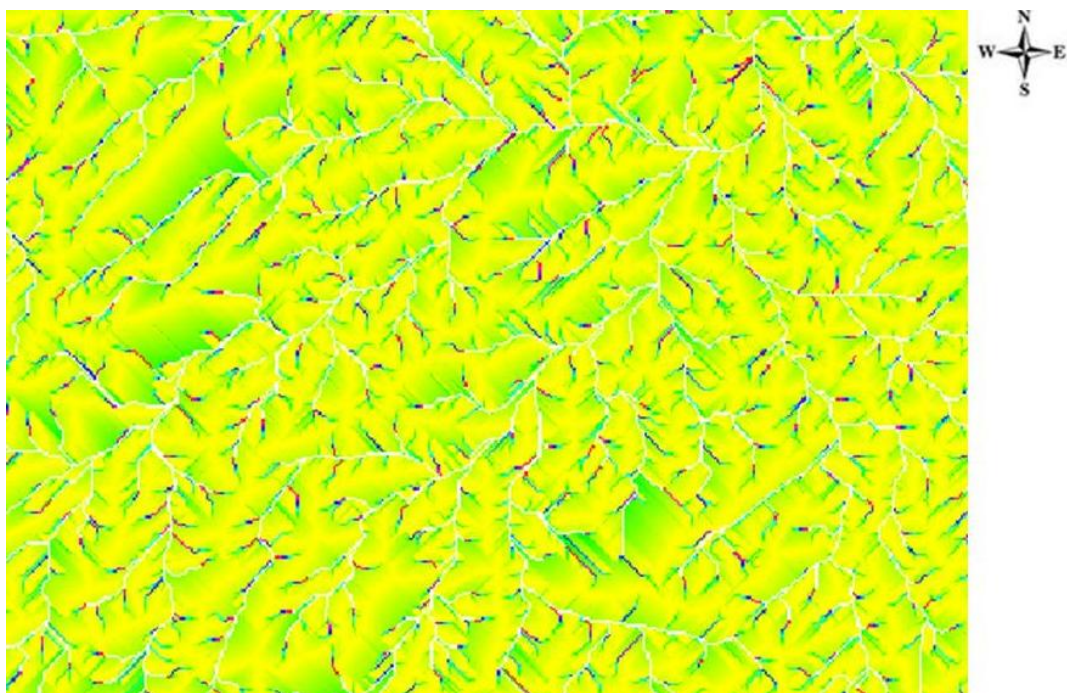


Figura 35 - Detalhe do mapa visual.

f) Mapa de bacia (*basin*)

A bacia de drenagem ou bacia hidrográfica exerce a função de um coletor natural das águas pluviais precipitada em sua área de ação, recolhendo-as e conduzindo-as como escoamento, ao exutório da bacia ou da seção considerada através da rede existente a partir do relevo.

O mapa de bacia apresenta que uma única variável é atribuída para cada bacia resultante. O delineamento das bacias ocorre a partir de 3 variáveis: o algoritmo de busca A^t existente no módulo, o método D8 e as áreas de acumulação. E assim, os cumes e limites da bacia hidrográfica de estudo podem ser identificados. A Figura 36 apresenta, delineada na cor branca, a área que contém inteiramente a bacia de estudo, ou seja, a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.



Figura 36 - Mapa de bacias.

Os limites da área que compreende a bacia hidrográfica são definidos topograficamente como os pontos que limitam as vertentes que convergem para uma mesma bacia ou exutório. A delimitação de cada bacia hidrográfica é feita no MDE 30m, seguindo as linhas das cristas das elevações circundantes da seção do curso d'água em estudo. Cada bacia é assim, sob o ponto de vista topográfico, separada das bacias vizinhas restantes.

No delineamento das bacias, que compõem a Bacia Hidrográfica de estudo, toma-se como princípio que as áreas acima do declive contribuem com o fluxo para um determinado local.

Dessa forma, uma sub-bacia é simplesmente parte de uma hierarquia, significando que a mesma faz parte de uma bacia maior, onde são observadas a direção do fluxo e a contribuição das células para determinada área. E estas sub-bacias são delineadas a partir das junções existentes na rede de fluxo.

g) Mapa do Fluxo de Escoamento (*stream*)

Em uma bacia hidrográfica, o sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários. Para o método D8, a partir de um determinado ponto na área da bacia hidrográfica existem oito direções de escoamento, relativo às oito células adjacentes, na qual o fluxo pode escoar.

A direção do fluxo é determinada a partir da declividade, isto é, a descida mais íngreme. E o módulo *r.watershed* calcula esta distância a partir do centro das células. Por isso, no delineamento da rede de fluxo as áreas de acumulação foram definidas pelo número mínimo de células contribuintes. E assim a rede de fluxo é extraída a partir do número de células que drenam por cada uma delas.

Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 37 e 38 (38.a e 38.b). Onde a cada segmento, o programa atribui uma cor, a qual está relacionada com as bacias resultantes do Mapa de Bacias.

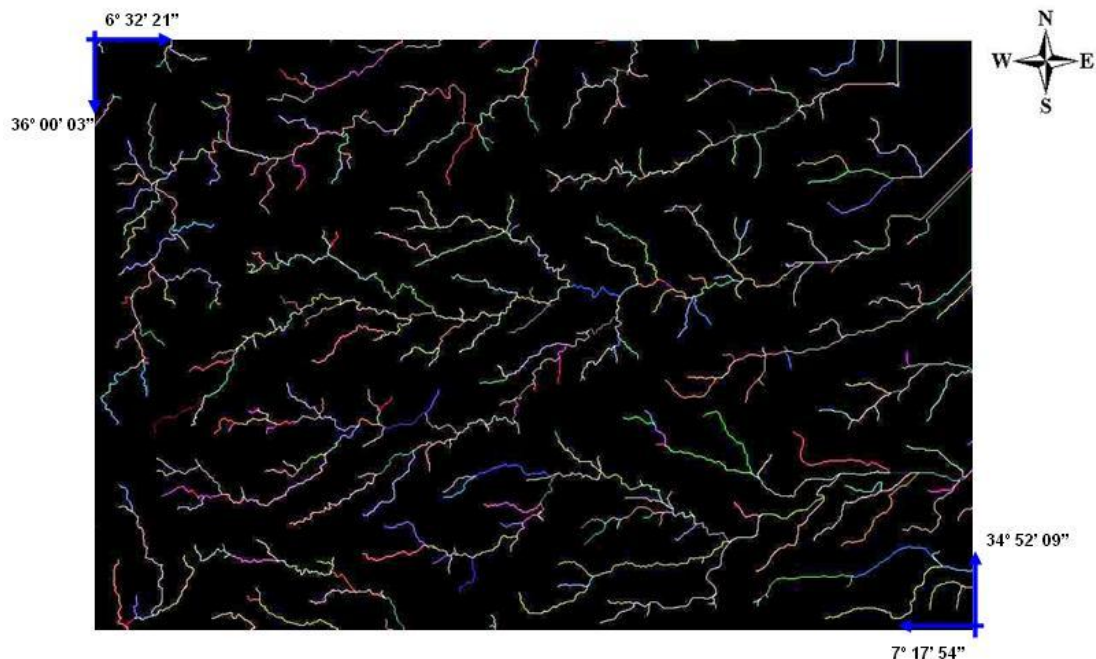


Figura 37 - Mapa do fluxo de escoamento.

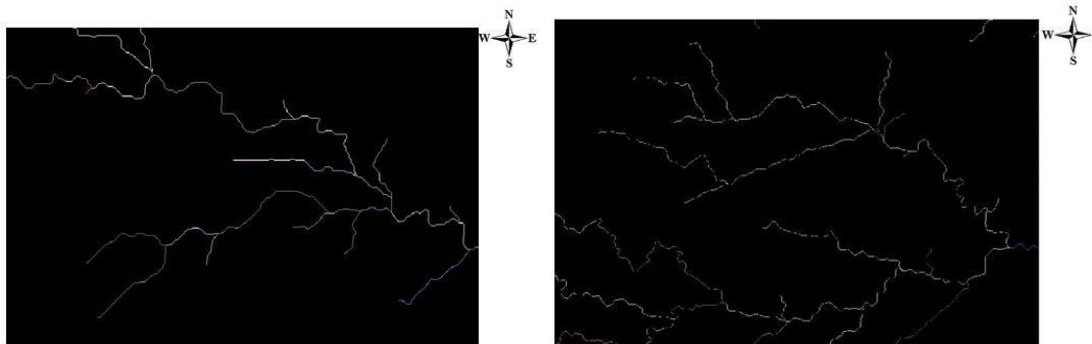


Figura 38.a

Figura 38.b

Figura 38 - Detalhes da rede de fluxo a partir do Mapa do Fluxo de Escoamento.

Assim, foram identificadas as linhas de drenagem que seguem o padrão de escoamento característico da forma dendrítica, conforme pode ser visualizado na área da bacia com a sua drenagem principal (Figura 39). Por que a forma de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, tempo que a água leva dos limites da bacia para chegar à saída da mesma – o exutório.

Em um evento de chuva, as bacias com formato alongado apresentam fluxos de água que atingem o exutório em diferentes tempos conforme o seu posicionamento na bacia. Assim, os fluxos iniciados nas cabeceiras da bacia percorrem um caminho mais longo, levando assim, um tempo maior do que aqueles das nascentes próximas do exutório.



Figura 39 - Área da BH com a drenagem principal.

A Figura 40 apresenta o detalhe das sub-bacias com a drenagem, obtido a partir da BH principal, conjuntamente com o resultante das sub-bacias e a representação da drenagem. A área de drenagem constitui a área plana delimitada pelo divisor de águas, dado fundamental para definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica. Também pode ser observada a forma dendrítica, a qual caracteriza o padrão de escoamento.

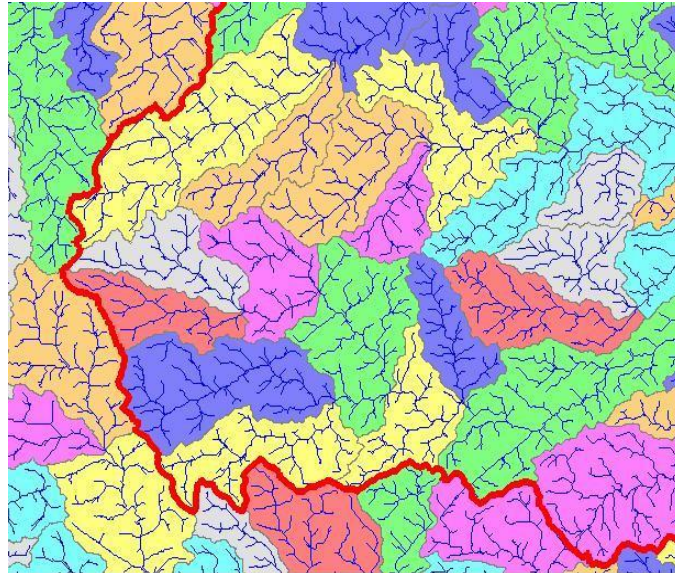


Figura 40 - Detalhe das sub-bacias com a drenagem.

O resultante da composição das sub-bacias, com a drenagem e o MDE 30 m (MDE de referência) é exibido na Figura 41 e utilizando o módulo *r.shade.relief* onde é possível avaliar o contorno do relevo, além de possibilitar uma análise da declividade derivada dos mesmos.



Figura 41: Detalhe das sub-bacias com *shaded relief* e o MNT.

Este trabalho não tem como objetivo executar a hierarquização dos fluxos dos cursos d'água em ordens específicas. Todavia, a representação gráfica das características da bacia, obtidas através dos módulos do SIG GRASS, permite melhor compreender a identidade da bacia, possibilitando assim comparações entre diferentes regiões hidrológicas.

Na Figura 42 está representado, o limite final da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape com as sub-bacias sobre o MDE 30 m (MDE de referência).

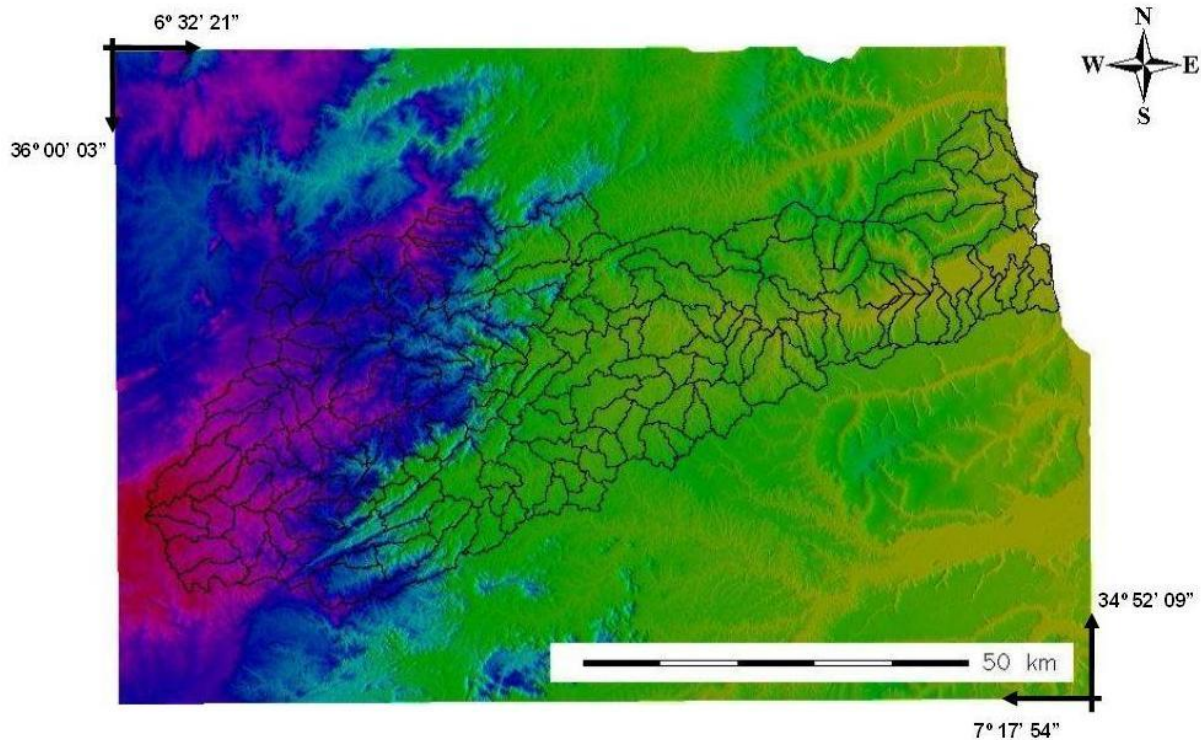


Figura 42 - Limite final da BH Mamanguape com as sub-bacias.

O limite final da bacia obedece a parâmetros topográficos, onde o algoritmo do SIG GRASS traça uma linha pelos pontos mais elevados do terreno, atravessando o curso d'água apenas no ponto de saída - seu exutório. Na Figura 43 é apresentado um detalhe da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape com as sub-bacias, sobre o MDE 30 m (MDE de referência).

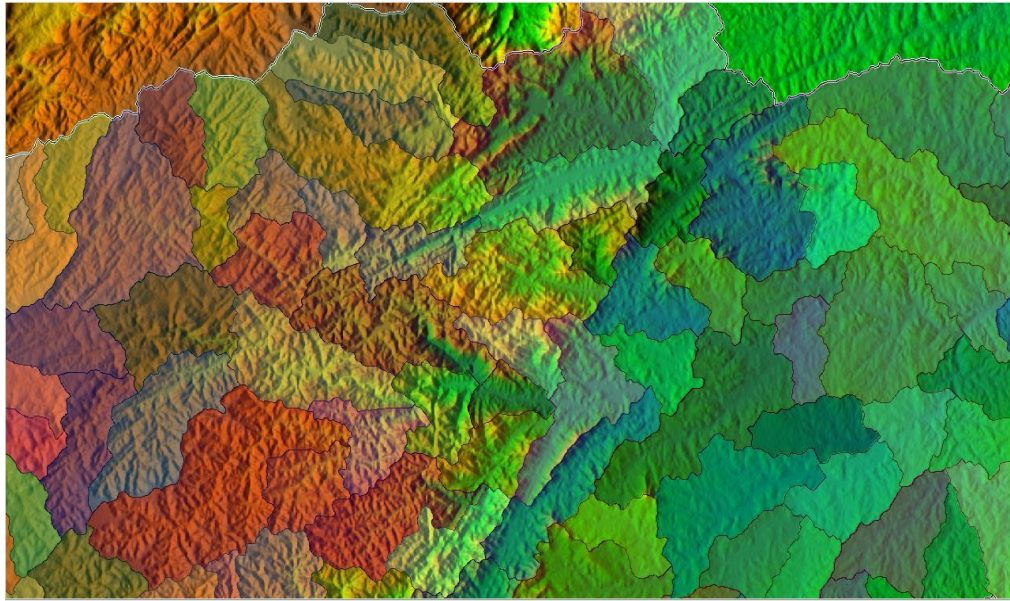


Figura 43 - Detalhe da BH Mamanguape com as sub-bacias.

Todavia, é importante ressaltar que no Ciclo Hidrológico, as águas que atingem a seção de determinado curso d'água, poderão provir não só do escoamento superficial como também do escoamento subterrâneo, que poderá ter origem em bacias vizinhas. E, inversamente, parte do escoamento superficial poderá concentrar-se em lagos ou lençóis subterrâneos que não têm comunicação com o curso de água em estudo. Assim é importante salientar o que já está definido na Lei N° 9.433/97 que a bacia hidrográfica constitui uma unidade territorial de planejamento e quanto aos aspectos hidrológicos pode ser tratada como um sistema onde há entradas, saídas e mudanças.

Dessa forma, após o emprego da metodologia para a obtenção da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, a partir da delimitação automatizada com a utilização do SIG GRASS e de dados SRTM extraído do MNT_EMBRAPA, foi obtida a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, a qual está representada na Figura 44.

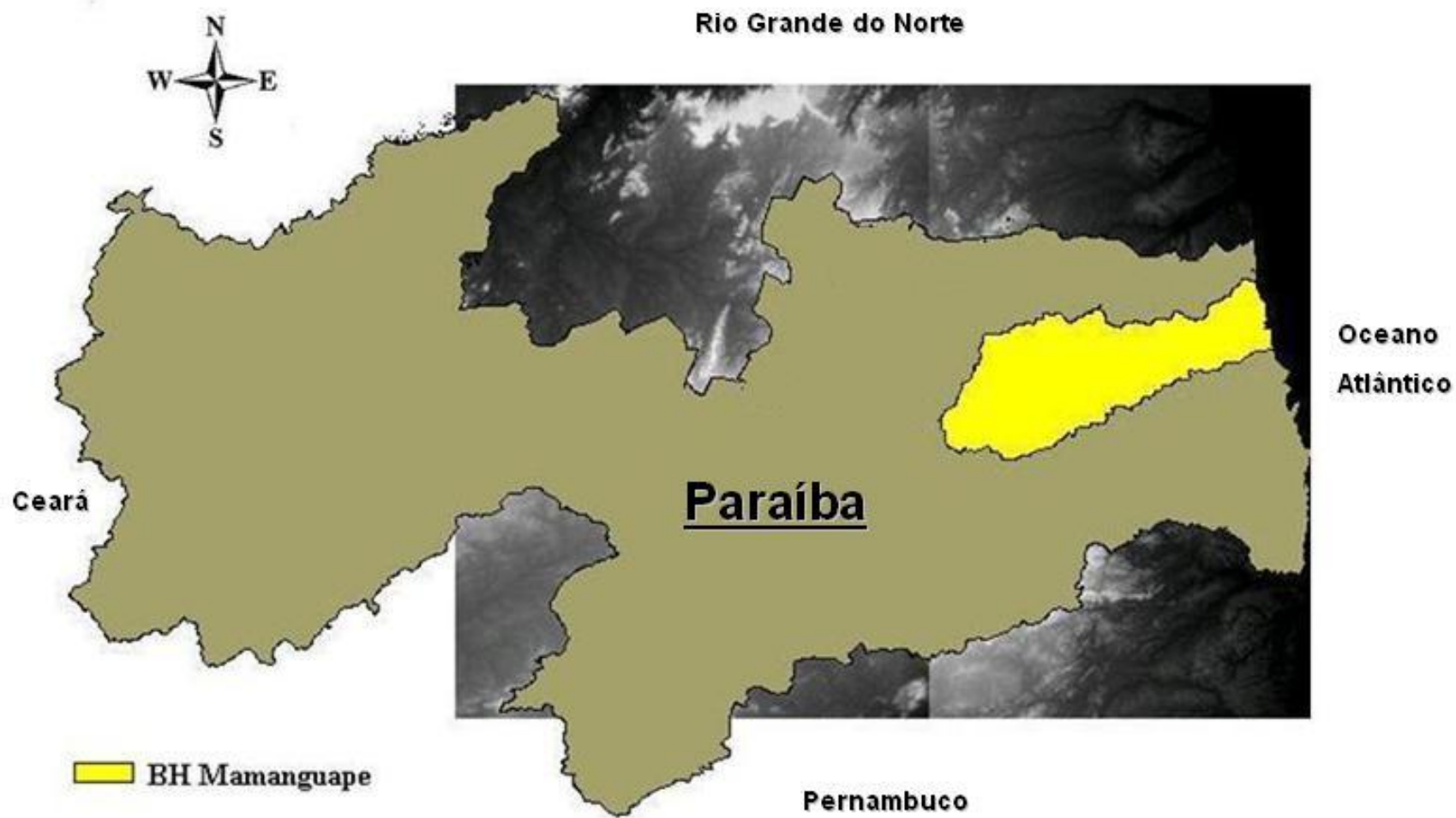


Figura 44 - Representação da BH Mamanguape sobre o mnt_embra e o contorno do Estado da Paraíba.

6.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia apresentada com o propósito de delimitar automaticamente e extrair atributos hidrológicos de uma bacia hidrográfica a partir de dados SRTM, utilizando software livre, mostrou-se exequível. Esta asserção é deduzida a partir dos 3 aspectos a seguir relacionados:

6.1 Dados SRTM

Os dados obtidos através da missão SRTM representam um ganho para a sociedade, tanto do ponto de vista científico como econômico. E o trabalho desenvolvido pela Equipe Técnica da EMBRAPA proporciona aos usuários dados já corrigidos, tratados, organizados e de grande utilidade para aqueles que necessitam de informações do Território Brasileiro.

Dessa forma, também se recomenda o uso dos dados SRTM para as áreas onde não existam informações em escala compatível para a análise ambiental e/ou planejamento urbano. Vale ressaltar que os dados SRTM estão disponíveis gratuitamente na WEB.

6.2 Programa SIG GRASS

É trabalhosa e demorada a extração de parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas, quando se faz uso de métodos analógicos ou até computacionais com a interação do usuário.

Atualmente, os recursos disponibilizados pelas Geotecnologias, possibilitam a obtenção de dados sobre os elementos e fenômenos existentes na estrutura das bacias, de forma mais rápida e com precisão.

O SIG GRASS é uma opção de software, que pela grande quantidade de módulos existentes no programa, atende aos requisitos daqueles que trabalham nesta área. Por ser um software open source, não apresenta nenhum custo para sua aquisição, o que representa uma alternativa para os Órgãos Públicos.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas duas versões: 6.2.1 e 6.3; todavia, não foi constatada nenhuma incompatibilidade entre elas. Mas mesmo assim, o SIG GRASS mostrou-se eficiente por possibilitar uma flexibilização na execução de procedimentos e apresentar uma grande diversidade de módulos pertinentes ao estudo realizado.

6.3 Extração de Atributos Hidrológicos

Depois da Lei 9433/97, a Bacia Hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade de gerenciamento territorial, ou seja, como unidade físico-territorial para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos. Com a utilização do SIG GRASS e dos dados SRTM foram obtidos os seguintes resultados para a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.

A Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, encontra-se totalmente inserida no estado da Paraíba e apresenta as seguintes coordenadas:

N: 6:36:43.17435 S

S: 7:11:18.472841 S

E: 34:54:24.539737 W

W: 35:58:19.482 W

O Modelo Digital de Elevação obtido permitiu a caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. Os MDEs têm sido utilizados para delinear redes de drenagem e limites de bacias hidrográficas, calcular as características de área, declividade e orientação do terreno. Estes índices, os quais são iniciais, mas não conclusivos, objetivam auxiliar estudos hidrológicos e de outra natureza.

Com o método de interpolação espacial, existente no módulo *r.resamp.interp* que utiliza o algoritmo Spline com Tensão Regularizada, o MDE 90 m foi reinterpolado e após o processamento, o resultado é apresentado com uma resolução diferente do dado de entrada (*input*).

Assim, todos os resultados obtidos têm como referencia o MDE 30 m. Entre os componentes da modelagem hidrológica assistida por SIG citam-se os dados provenientes da análise do terreno e da rede de drenagem.

O mapa de relevo sombreado foi obtido utilizando o módulo *r.shade.relief*, tendo como resultado o mapa numa escala de cinza com um MDE sombreado. As áreas de maior declividade, que se encontram expostas ao Sol, refletirão muita luz e assim são mais visíveis; todavia, as áreas que se encontram nas encostas não iluminadas diretamente pelo sol, não refletirão luz e aparecerão escuras no modelo.

Por isso, para melhor inferência, o produto resultante sombreado foi renderizado, e assim, observado as vertentes dos rios e afluentes existentes na bacia, as quais seguem o padrão predominante nos Baixos Planaltos Costeiros e apresentam-se bem dissecadas, com sulco principal aprofundado.

Já na região oeste da bacia, se encontram as maiores cotas em relação ao nível do mar, o que possibilita maiores velocidades do escoamento superficial,

podendo ocasionar erosão (ravina e/ou voçoroca). Desse modo, foi possível avaliar o papel dos contornos no relevo, além de possibilitar uma análise da declividade derivada dos mesmos.

Na parte leste da área de estudo, há uma predominância no direcionamento das declividades para o leste e para o norte, o que demonstra que a área apresenta uma maior concentração de áreas com declividade na faixa de até 16%. E, na parte oeste, as maiores altitudes e as áreas de maior percentual para a declividade. No Planalto da Borborema o aspecto apresenta a orientação da declividade, prioritariamente para o norte, o qual é ratificado com as feições geomorfológicas da área.

A declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem. Assim a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, de acordo com a área, apresenta um relevo plano, ondulado e até montanhoso.

Com o módulo *r.watershed*, existente no SIG GRASS, foi possível realizar uma análise da bacia em estudo, obtendo de uma única vez diferentes resultados, tais como: Capacidade de Escoamento (*drain*); Fatores do solo para USLE associados com a declividade (*length.slope*); Sentido do escoamento para USLE (*slope.steepest*); Acumulação (*accum*); Visual (*Visual*); Bacias (*basin*) e Fluxo de Escoamento (*stream*).

O Mapa de Drenagem apresenta a capacidade de escoamento da Drenagem e também realça as feições topográficas da área de estudo.

Os resultados da associação dos fatores L (comprimento da rampa) e S (declividade da rampa) associados à declividade da região são menores na parte Leste da área de estudo, tendo sido encontrado valores no intervalo de 3 a 13.

E na parte Oeste, onde se encontram as maiores declividades também está os maiores valores, sendo encontrado o valor máximo de 43 para a região. Este resultado refere-se à mudança de elevação existente entre as células do MDE ao longo da direção do fluxo e o comprimento percorrido pelo mesmo.

Quanto aos resultados referentes ao escoamento, associado ao fator S, representa a declividade das vertentes na área de estudo. Assim, há na área de

estudo uma predominância do valor 1630. E também foi constatado valores fora da área de estudo, a partir de -399.

Os processos de erosão e sedimentação são dirigidos pelos processos hidrológicos de precipitação e escoamento. Logo, alguns fatores interferem diretamente na erosão e sedimentação. Por isso, qualquer análise de erosão e transporte de sedimentos podem também ser observados a partir de uma Bacia Hidrográfica com suas características e atributos.

O Mapa de Acumulação apresenta as áreas de contribuição de fluxo recebida de outras células da área de estudo. Neste trabalho, foi definido que uma área de fluxo acumulado é resultante da contribuição de fluxo, de no mínimo 500 células. As células com alta acumulação de fluxo identificam as áreas dos canais de fluxo. Já as células com acumulação zero de fluxo são os locais com as maiores altitudes e identificam os cumes e os valores negativos, indicam que as células, possivelmente, têm o seu destino final, fora da atual região geográfica.

Também como resultado oriundo do módulo *r.watershed*, temos o mapa visual, o qual é útil para a visualização dos resultados. Ele apresenta a acumulação na superfície da área de estudo para possibilitar uma melhor exibição. E assim, em função da acumulação de fluxo na rede de drenagem da área de estudo, onde se podem observar a hierarquia dos tributários e os segmentos do fluxo. Dessa forma, a bacia será delimitada a partir das junções de fluxo existente.

Para a identificação dos limites da área que compreende a bacia hidrográfica foram definidos topograficamente pelo SIG GRASS, os pontos que limitam as vertentes e convergem para uma mesma bacia ou exutório. A delimitação de cada bacia hidrográfica foi feita no MDE 30m seguindo as linhas das cristas das elevações circundantes da seção do curso d'água em estudo. Cada bacia é assim, sob o ponto de vista topográfico, separada das bacias vizinhas restantes.

No delineamento das bacias, que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, tomou-se como princípio que as áreas acima do declive contribuem com o fluxo para um determinado local.

E assim, nas etapas posteriores foram geradas as bacias que compõem a bacia principal, onde a partir disso podem ser criadas sub-bacias, originárias das anteriores atendendo a critérios de gerenciamento, definidos pelo usuário. No programa SIG GRASS, as bacias são divididas em lado esquerdo e direito e uma variável única é atribuída para cada metade da bacia hidrográfica.

A direção do fluxo é determinada a partir da declividade, isto é, a descida mais íngreme. E o módulo *r.watershed* calcula esta distância a partir do centro das células. Por isso, no delineamento da rede de fluxo, a partir do MDE 30m; as áreas de acumulação são definidas pelo número mínimo de células contribuintes. E assim a rede de fluxo é extraída a partir do número de células que drenam por cada uma delas. Neste momento foi possível identificar que as linhas de drenagem, as quais seguem o padrão de escoamento característico da forma dendrítica.

Dessa forma, a representação gráfica das características da bacia, obtida através dos módulos do SIG GRASS, permitiu melhor compreender a identidade da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. E a metodologia desenvolvida com base na utilização de métodos computacionais para o estudo de Bacias Hidrográficas, permite a obtenção de informações de forma mais rápida, eficiente e padronizada. Os resultados obtidos indicam a sua viabilidade de aplicação.

6.4 Considerações finais

Após a explanação dos resultados anteriormente descritos, são apresentadas algumas considerações para futuros trabalhos, objetivando o alcance de uma melhor eficácia com uma maior acurácia.

1. Construção de vários MDE, a partir da combinação de diferentes valores de tensão, de suavização e do número de pontos a serem interpolados por vez e utilizando as análises estatísticas, tais como o Erro Quadrático Médio, o Critério de Informação de Akaike e o Coeficiente de Determinação para apreciação e escolha do melhor MDE;

2. Refinamento do MDE 90 m para MDE 30 m com utilização de outros interpoladores presente no SIG GRASS;

3. Avaliação da exatidão obtida com o MDE SRTM gerado, tendo como referência, pontos cotados oriundos de restituição fotogramétrica e de coleta em campo com estação total ou pontos de GPS com alta precisão – Receptores Geodésicos, para que possam ser atingidas precisões centimétricas;

4. Utilização de outros módulos existentes no SIG GRASS para a geração de outros produtos;

5. Criação de tabelas com mais atributos, a serem apreciados para as bacias e sub-bacias da área de estudo;

6. Estabelecer a APP - Área de Preservação Permanente ao longo da rede de drenagem da bacia hidrográfica;

7. Extração de parâmetros morfométricos, que possibilitem uma análise temporal da evolução dos elementos, tais como os canais fluviais, para que sejam aplicadas medidas mitigadoras, voltadas para o gerenciamento dos rios;

8. Análise da distribuição espacial resultante do processo de urbanização;

9. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica;

10. Extensão da metodologia apresentada para as outras Bacias Hidrográficas do estado da Paraíba.

Assim, pode-se observar que trabalhar com os Recursos Hídricos é uma atividade que tem como base a utilização de um recurso vital para a sociedade - a água. Portanto, esta atividade deve ser planejada, e nesse campo a presença do Geoprocessamento é indispensável. Todavia, é importante reforçar de que não basta disponibilizar uma ferramenta capaz de elaborar bonitos resultados, o essencial é utilizar todo este aparato tecnológico para a realização de um ordenamento no território que proporcione o desenvolvimento integrado e de forma racional.

7.0 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BELTRAME, A. da Veiga. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BERNARDES, Tiago. **Caracterização do ambiente agrícola do complexo Serra Negra por meio de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica.** Lavras, UFLA, 2006. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2006. Disponível em: <<http://www.epamig.br/geosolos/MaterialSite/Teses/Tiago/Tiagodissertacao.pdf>>.

Acesso em: Jun.2008.

BEZERRA, M. C. L.; MUNHOZ, T. M. T. (coord.) **Gestão dos recursos naturais: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira.** Brasília: MMA/IBAMA/ Consórcio TC/BR/FUNATURA, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese.** Brasília: MMA, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **GEO Brasil: Recursos Hídricos.** Brasília: PNUMA/MMA/ANA, 2007.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 8 de janeiro de 1997.

BUARQUE, Diogo Costa. **Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos.** 2007. Porto Alegre: IPH. Disponível em:

<http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/HIDP_23/trabalhos_2007-1/Trabalho_Final_Diogo.pdf>. Acesso em: Jun.2008.

CÂMARA, G. *et al.* **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. São José dos Campos, INPE, 1996. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/10.07.13.36/doc/anatomia.pdf>>. Acesso em: Mar.2007. **INPE-11454-RPE/770**

CÂMARA, G. *et al.* **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: Jan.2007.

CASANOVA, M. A. *et al.* Banco de Dados Geográficos. Curitiba: MundoGEO, 2005. 506p.

CHAVES, M. A. **Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica**. Viçosa, UFV, 2002. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, 2002. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=93>. Acesso em: Mar.2009.

CORREA, Antonio Bonet. **Las claves del Urbanismo**. Barcelona: Ariel, 1989.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia**. São José dos Campos, INPE, 2004. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/SRTM_Imagens.pdf>. Acesso em: Jun.2007. INPE-11238-RPQ/761.

DLR - Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt. **3D – Mapping with Interferometry: step by step**. Disponível em: <http://www.dlr.de/SRTM/level1/howto_en.htm> Acesso em: Mar.2007.

EHLSCHLAEGER, C. **The GRASS/Mathematical: Developing hydrologic models in geographic information systems interfaced with computer algebra systems.** USA:U.S. Army construction engineering research Lab,1991.

EHLSCHLAEGER, C. **Using the AT Search Algorithm to Develop Hydrologic Models from Digital Elevation Data.** Proceedings of International Geographic Information Systems (IGIS) Symposium 89, pp. 275-281. Disponível em: <<http://faculty.wiu.edu/CR-Ehlschlaeger2/older/IGIS/paper.html>>. Acesso em: Mai.2008.

FALCÃO, Ermano. **Sensoriamento Remoto.** João Pessoa: CEFETPB, 2005. Notas de Aula.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação.** São José dos Campos, INPE, 2001. Tese de Doutorado em Computação Aplicada, 1999. Disponível em: <<http://mtc-m05.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/2001/08.03.12.35/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: Mai.2009. INPE-8180-TDI/760.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de textos, 2002. 97 p.

FONSECA, Gizelle Prado da Silva; ZEILHOFER, Peter. **Técnicas de geoprocessamento aplicadas na análise de poluição difusa da bacia do Rio Teles Pires - MT.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2597-2604. Disponível em: <<http://martemarte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.56/doc/2597-2604.pdf>>. Acesso em: Set. 2007.

FONTES, Aracy L. **Caracterização Geoambiental da Bacia do Rio Japarutuba (Se).** Rio Claro, UNESP. Tese (Doutorado em Geografia). 1997. 298p.

GARCÍA-PUGA, José L.; HINOJOSA-Corona, A. **Aplicación de tres métodos de sistemas de información geográfica para la caracterización de la hidrología**

superficial en la región de Puertecitos-San Luis Gonzaga, B.C. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A.C., Agosto, 2001. Disponível em: <<http://www.ugm.org.mx/pdf/geos01-2/Garcia-Puga01-2.pdf>>. Acesso em: Mar.2008.

GDAL. **Geospatial Data Abstraction Library.** Disponível em: <<http://www.gdal.org/>>. Acesso em: Jan. 2007.

GRASS. **Site oficial do projeto GRASS - Geographic Resource and Analysis Support System.** Disponível em: <<http://grass.itc.it>>. Acesso em: Dez. 2006.

GROHMANN, Carlos Henrique. **Introdução à Análise Digital de Terreno com GRASS-GIS.** USP: Instituto de Geociências, 2006. Disponível em: <http://www.igc.usp.br/pessoais/guano/downloads/tutorial_grass6.pdf>. Acesso em: Jul.2007.

GROHMANN, Carlos Henrique *et al.* **SRTM-based morphotectonic analysis of the Poços de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil.** Computers & Geosciences. Volume 33, Issue 1, January 2007, Pages 10 -19. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V7D-4KB1_153-1-R&_cdi=5840&_user=10&_orig=browse&_coverDate=01%2F31%2F2007&_sk=999669998&_view=c&_wchp=dGLbVzb-zSkWA&_md5=a6e773f72da27e334aa1919274a7cc07&_ie=/sdarticle.pdf>. Acesso em: Jul.2007.

GOUVEA, J. R. F. *et al.* Comparação dos modelos digitais de elevação gerados com dados SRTM e cartas IBGE na escala 1:250.000 na região da bacia do Camanducaia no Estado de São Paulo. **Anais.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiania, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2191-2193. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.12.09/doc/2191.pdf>>. Acesso em: Set. 2008

HEXSEL, Roberto A. **Propostas de Ações de Governo para Incentivar o Uso de Software Livre.** Relatório Técnico do Departamento de Informática da UFPR,

004/2002. Disponível em:
<http://www.inf.ufpr.br/info/techrep/RT_DINF004_2002.pdf>. Acesso em: Mai.2007.

HOTT, M. C.; FURTADO, A. L. S. **Metodologia para a determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. ISSN 0103-78110. Disponível em:
<http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/doc43_bachidr_morf.pdf>. Acesso em: Abr.2008.

HOTT, M.C. *et al.* Determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no município de Campinas – SP. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Brasil, Florianópolis, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3381-3388. Disponível em:
<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.27.20.00/doc/3381-3388.pdf>>. Acesso em: Abr.2008.

IESCHECK, A. L. **Dados espaciais e interpolação qualitativa: algumas questões**. Porto Alegre: UFRGS/LAGEO, 2000. Disponível em:<http://www.ufrgs.br/lageo_geodesia/iisapgu/iescheckAL.pdf>. Acesso em: Mai. 2009.

INPE/SELPER. **Processamento Digital de Imagens - Teórica**. São José dos Campos: INPE/SELPER, 2000. Apostila de curso.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Volume 54, N° 11, November 1988, p. 1593 - 1600. Disponível em:
<<http://edna.usgs.gov/Edna/pubs/extractingtopographicstructure1.pdf>>. Acesso em: Jan.2009.

JHA, Raghunath. **Watershed management approach using GRASS GIS in Bagmati basin**. Disponível em:
<<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/env/123.pdf>> Acesso em: Jun.2007.

LEITE, Eugênio P. Fernandes; SILVA, Jussara Severo; GOMES, Giseliene da Silva. Obtenção de Modelo Numérico do Terreno de alta resolução utilizando o Interpolador spline com tensão regularizada. **Anais** II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, João Pessoa, Brasil, 23-30 novembro 2007, CONNEPI. CD-ROM.

LEITE, Eugênio P. Fernandes. **Sistemas de Informações Geográficas Livres**. João Pessoa: CEFETPB, 2007. Notas de Aula.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. Uniderp, 2006.

MARTINS, Elainy do Socorro Farias *et al.* Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM. **Anais** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6827-6834. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.27/doc/6827-6834.pdf>. Acesso em: Out.2007.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>. Acesso em: Jul.2007.

MITASOVA, H.; MITAS, L. **Interpolation by regularized spline with tension: Theory and implementation**. In: **Mathematical Geology**. v25. p. 641–655. 1993. Disponível em: <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/papers/MG-I-93.pdf>. Acesso em: Set.2007

MITASOVA, H. *et al.* **Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS**. In: **International Journal of Geographical Information Systems**. 9(4), 433–446. Leicester. UK.1995.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 3ª ed. 320p.

NOVO, Evlyn M. I. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. Editora Edgard Blücher LTDA. 2ª Ed. São Paulo, Brasil: 1992.

PAIVA, João Batista Dias *et al* (Org). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PARAÍBA. **Anuário Estatístico da Paraíba – Versão 2000**. João Pessoa: IDEME, 2001. Secretaria de Planejamento. CD-ROM.

PARAÍBA. **PERH-PB - Plano estadual de recursos hídricos: resumo executivo & atlas**. Brasília: Consórcio TC/BR & Concremat, 2006. SECTMA/ AESA.

PINHEIRO, Eduardo da Silva. Comparação entre Dados Altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, Cartas Topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 58/01, 2006. ISSN 1808-0936. Disponível em: <http://www.rbc.ufrrj.br/pdf_58_2006/58_01_1.pdf>. Acesso em: Abr.2008.

PINTO, Nelson L. de Sousa *et al*. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

RABUS, Bernhard *et al*. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. Issue 4, n. 57, February 2003. p. 241- 262. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=PublicationURL&_tockey=%23TOC%236000%232003%23999429995%23383620%23FLA%23&_cdi=6000&_pubType=J&_auth=y&_acct=C000067426&_version=1&_urlVersion=0&_userid=5473397&md5=a8a21d2180316c7e25f7d1ef30048a4>. Acesso em:Jun.2007.

RENNÓ, Camilo Daleles. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. São José dos Campos, INPE, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/camilo_tese.pdf>. Acesso em:

Set.2007. INPE-10437-TDI/925. Tese de Doutorado do Curso da Pós-Graduação e Sensoriamento Remoto, 2003. INPE-10437-TDI/925.

RODRIGUEZ, Janete Lins (Coord.). **Atlas Escolar Paraibano – Espaço Geo-Histórico e Cultural**. João Pessoa: Ed. Grafset, 1997. 96 p.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora:Ed. do autor, 2000. 220 p.

RUHOFF, Anderson Luis. **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: Modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. Santa Maria, UFSM, 2004. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, 2004. Disponível em: <falta pegar link>. Acesso em: Set.2008.

SANTOS, Paulo Roberto Alves dos *et al.* **Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia**. Revista Brasileira de Cartografia. N° 58/01, 2006. ISSN 1808-0936. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.16.24/doc/4473.pdf>>. Acesso em: Set.2007.

SHAPIRO, Michael; WESTERVELT, Jim. **An Algebra for GIS and Image Processing**. U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory, 1991. Disponível em: <<http://grass.itc.it>>. Acesso em: Set. 2007.

SILVA, Jorge Xavier; ZAIDAN, Ricardo Tavares (Org.). **Geoprocessamento & Análise Ambiental: Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368p.

SILVESTRE, Paschoal. **Hidráulica Geral**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

SIMÕES, Margareth Gonçalves. **Modeladores Digitais de Terreno em Sistemas de Informação Geográfica**. Rio de Janeiro, 1993. COPPE/UFRJ, Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação. Universidade Federal do Rio de Janeiro,

COPPE. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/~rmpillat/Art4.pdf>>. Acesso em: Set.2007.

SPIRN, Anne whiston. **O jardim de Granito: A natureza no desenho da cidade.** São Paulo: EDUSP, 1995. Tradução de Paulo Renato Mesquita pellegrino.

TAVARES, L. **Projeto Águas - Rio Mamanguape.** Informativo Para'iwa, 2004. Disponível em: <<http://www.paraiwa.org.br/projetoaguas.htm>>. Acesso em: Mar.2009.

TUCCI, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH, 2002. 3ª ed.

VALERIANO, M. M. **Modelo Digital de Elevação com Dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos, INPE, 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/downloads/SRTM/publicacao.pdf>>. Acesso em: Mai.2009.

VENTURI, Luis Antônio Bittar. **Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental.** São Paulo: Oficina de textos, 2005.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: UFMG/DESA, 1995.

WELTZ, M. A. *et al.* Revised Universal Soil Loss Equation for Western Rangelands. In: **U.S.A./Mexico Symposium of Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones** (Tucson, AZ, 12-16 Oct. 1987). Disponível em: <http://grass.itsc.it/gdp/html_grass63/r.watershed.html>. Acesso em: Mar.2009.

[
Estudo do reaproveitamento dos resíduos sólidos industriais na região metropolitana de João Pessoa \(Bayeux, Cabedelo, João Pessoa e Santa Rita\) - PB is licensed under a \[Creative Commons Atribuição-Uso Não-Comercial-Não a obras derivadas 3.0 Unported License.\]\(http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/\)](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/)

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](#)