



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA

GEÓRGIA KÉRCIA DE MEDEIROS DANTAS

**Estudo Geomorfológico a partir do uso de Sistema de  
Informações Geográficas (Landsat 8 e Topodata): um  
estudo de caso na sub-bacia do Riacho Santana-RN**

**Natal**

**2016**



**GEÓRGIA KÉRCIA DE MEDEIROS DANTAS**

**Estudo Geomorfológico a partir do uso de Sistema de  
Informações Geográficas (Landsat 8 e SRTM/NASA): um  
estudo de caso na sub-bacia do Riacho Santana-RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito obrigatório para obtenção do título mestre em Geografia, sob a orientação do professor Dr. Ermínio Fernandes, no âmbito da Geomorfologia.

**Natal**

**2016**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes – CCHLA

Dantas, Georgia Kércia de Medeiros.

Estudo geomorfológico a partir do uso de sistema de informações geográficas (Landsat 8 e Topodata): um estudo de caso na sub-bacia do Riacho Santana-RN / Georgia Kércia de Medeiros Dantas. - 2016.

132f.: il. color.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Humanas Letras e Artes. Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia, Natal, RN, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Ermínio Fernandes.

1. Relevo - Dissertação. 2. Geomorfologia - Dissertação. 3. Cartografia geomorfológica - Dissertação. I. Fernandes, Ermínio. II. Título.

RN/UF/BS-CCHLA

CDU 551.4(813.2)





## EPÍGRAFE

### ***Todo Fraco é Forte***

*Eu sonhei em desistir.*

*Não foi o meu melhor, mas foi meu maior esforço.*

*Dentro de todas as minhas fraquezas,*

*Eu tive que perder para ganhar, e ganhei*

*Uma das minhas maiores lições de vida.*

*Pare quando tiver de parar, respire quando tiver de respirar, e*

*Volte quando for a hora.*

*Eu tive que perder para ganhar...*

*E, descobri que nem todo perdedor é fracassado,*

*Que nem toda desistência é arrependimento, que todo fraco também é forte.*

*E ressurgi!*

*Descobri a força que existe dentro de mim.*

*Não deixei meu destino ser mudado, e concluí.*

*Chorei lágrimas da quase derrota, e hoje ouço o riso da vitória.*

*Eu consegui!*

*Não foi o meu melhor, mas foi a prova viva da minha esperança*

*Que não mais sonharia o sonho da desistência.*

*E não sonhei! Eu o esqueci ao acordar!*





## DEDICATÓRIA

Dedico aos anjos que me cercaram no período final deste mestrado (amigos), em especial Jânio e Orquidea, além dos anjos virtuais. Todas as pessoas que me conhecem através da Geografia (a turma do mestrado, intercâmbio e graduação).

Ao meu esposo, à minha amada família menor (George Batista, Neide Dantas, Gizelle Dantas, Diógenes Dantas e Silvani), a minha família maior (família Dantas, família da minha maesinha, filha de Nozin, e da minha sogra), além das professoras Rita e Helena, que mesmo sem saberem me fortaleceram. Ao Rubson Maia, Bruno Tavares e meu orientador Ermínio Fernandes.

*In memória* aos meus avós amados Vô Branca (um amor de tão doce), e minha vó Alberniza (pura intensidade e alegria), eles me deixaram isto de herança.

Aos que lerem esta conversa acadêmica, como você. E, minha amada professora Iralde, que me ensinou a escrever.

A todos os enfermos (seja qual for a doença, aguenta firma meu vô Nozin), descreditados, desiludidos; a todos os refugiados, a todos os excluídos socialmente, a todos os que sofrem xenofobia, a todos os escravizados, a todos os analfabetos que não puderam estudar como eu estudei, a todos os cotistas, a todos os desabrigados, a todos os drogados, a todos os índios, a todos os sertanejos, aos ativistas do meio ambiente, aos ativistas das causas femininas e dos direitos humanos, e ao autor da novela inspiradora e atual Velho Chico (minha distração nas horas difíceis).

Chegou a hora da minha pouca retribuição, para mim, este é o valor da ciência.

E, por fim a todos os grandes autores que viveram a vida por esta ciência tão linda-  
GEOGRAFIA.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu bom Deus, que nunca me deixa de lado, mesmo nas maiores dificuldades; ao meu orientador Ermínio, com toda a sua paciência, ao não ter desistido de mim; e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRN, em especial às duas professoras coordenadoras (Profa. Rita e Profa. Helena), que não me deixaram desistir.

Agradeço ao meu esposo Rummenigge (anjo), que segurou a barra durante toda esta pesquisa; e aos meus amados pais que, ao falarem que eu deixava tudo pela metade, fizeram-me mais forte para prová-los que eu poderia concluir. Também agradeço aos meus irmãos; e aos meus anjos virtuais, que, de uma forma ou de outra me ajudaram. As redes sociais também são úteis para a ciência, como percebi durante conversas virtuais com Vitor Hugo, Felipe (UNESP), Bruno Tavares, Clístenes, Leolene, Bernardino (Riacho de Santana), Brum, meu ex-professor de Geomorfologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Cristina de Moraes (UNESP), Jânio e Mara e a amada Marília.

Agradeço aos amigos da Alemanha, em especial a família Souto.

Agradeço a todos os meus ex-professores maravilhosos que a vida me deu, em especial ao carrasco Rubson Pinheiro Maia, monstro da Geomorfologia – Morfotectônica do Rio Grande do Norte e Nordeste; e ao Ornelas, professor de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Francisco Hilário, Antônio Brum, Venerando e demais.

Agradeço ainda aos meus parentes da família Dantas; aos meus parentes da família do meu avô Nozinho, pai da minha mãe; e a da minha sogra.

Agradeço aos amigos do Facebook, e da Geografia, do grupo Maluco Beleza; aos amigos que todos os dias a vida me apresenta e reapresenta; aos meus amigos do curso de Capacitação de Agente Local de Inovação (SEBRAE-CNPQ), onde tive que perder para ganhar, pois assim não conseguiria finalizar esta fase.

Agradeço ao meu amigo, jornalista e escritor, Nestor Burlamaqui, que me ajudou a revisar este texto de agradecimentos.

Perdoem-me aqueles que ficaram de fora dessa lista, mas também são especiais.



## RESUMO

Os estudos de âmbito ambiental, como por exemplo, aqueles de planejamento físico-territorial, os quais necessitam levar em consideração tanto os aspectos físicos-ambientais, bem como o contexto de ocupação do espaço, são privilegiados pelo levantamento das informações geomorfológicas de determinada região geográfica. Os SIGs (Sistema de Informações Cartografia) são em muitas vezes responsáveis pelo levantamento das informações mencionadas, fazendo parte da cartografia geomorfológica. Esta por sua vez se encaixa neste contexto como um importante meio de representação das feições do relevo terrestre, que conta, atualmente, com recursos avançados para o levantamento, análise e gerenciamento de tais informações. Sendo assim, o presente trabalho objetivou realizar a compartimentação do relevo a partir de um estudo geomorfológico da sub-bacia do Riacho Santana-RN, por meio da utilização ferramentas de ambientes SIG, como o sensoriamento remoto/geoprocessamento), fazendo-se uso das imagens de SRTM (NASA), imagens de Landsat 8, além do banco de dados de geociências do TOPODATA tendo como principal embasamento teórico os pressupostos de Ross (1992), observações do Projeto RadamBrasil (1971/1981), além do Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 1994). Todos disponíveis de forma gratuita e de pouco acesso. Usou-se como exemplo um caso de estudo para lhes mostrarem de que forma podemos produzir dados usados na ciência geográfica e geomorfológica. Foram delimitados na área de estudo os quatro primeiros táxons da classificação proposta por esse autor, tendo sido possível verificar que a utilização dos materiais e métodos adotados se mostrou eficiente, contribuindo para a elaboração da Carta de Compartimentação Geomorfológica da sub-bacia do Riacho Santana –RN.

**Palavras Chaves:** relevo, geomorfologia e cartografia geomorfológica.



## ABSTRACT

Studies of physical and territorial planning needs to take into account both the physical and environmental aspects as well as the space occupation of context and are privileged relevantly the survey of geomorphological information given geographic region. Cartography geomorphological fits in this context as an important means of representation of the features of the Earth's relief, which currently has with advanced features for the survey, analysis and management of such information. Therefore, this study aimed to present the geomorphological compartmentation of the sub-basin of the Santana-RN Creek, through the use of geoprocessing techniques (SIGs), SRTM images (NASA) Landsat 8 images, in addition to the database geosciences the TOPODATA having as theoretical basis the Ross assumptions (1992). the observations of the RadamBrasil Project (1971/1981), and the Technical Manual of Geomorphology (IBGE, 1994). All available for free and with little access. A case study was used as an example to show them how we can produce data used in geographic and geomorphological science. Were defined in the study area the first four taxon of the classification proposed by this author, it was possible to verify that the use of materials and methods adopted proved effective, contributing to the preparation of geomorphological compartmentation map area of the Riacho Santana -RN sub-basin.

**Keywords:** relief, geomorphology and geomorphological mapping





## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	23
1.1 A Geomorfologia e o Sistema de Informações Geográficas .....	27
1.2 Problemática e justificativa da pesquisa .....	31
1.3 Objetivos da pesquisa .....	35
1.4 Estrutura do Trabalho .....	37
<b>2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	39
2.1 Pressuposto teórico-metodológico na Geografia Física: abordagem sistêmica .....	39
2.2 Teoria Geral dos Sistemas (TGS) .....	41
2.3 Correntes Geomorfológicas (Davis – 1899, Penck- 1924, King-1953).....	43
2.4 Cartografia Geomorfológica.....	47
2.4.1 Mapeamento Geomorfológico - Taxônias .....	51
2.5 Dados Topográficos .....	61
2.5.1 Modelos Digitais de Elevação.....	61
<b>3 – MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	73
3.1 Materiais .....	73
3.2 Revisão Bibliográfica .....	75
3.3 Levantamento de Campo .....	77
3.4 Sensoriamento Remoto /Geoprocessamento .....	79
3.4.1 Variáveis Morfometrias .....	83
3.4.2 Delimitação da área de estudo.....	83
3.4.3 Delimitação de Curvas de Nível .....	85
3.4.4 – Síntese das ações de geoprocessamento .....	87
3.5 Classificação Taxonômica do Relevo .....	89
<b>4 – CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO SANTANA</b> .....	101
4.1 Localização.....	101
4.2 Características físico-ambientais .....	105
4.2.1 Clima .....	105
4.2.2 Vegetação.....	113
4.2.3 Solos .....	119
4.2.4 Geologia.....	124
4.2.5 Tectônica Regional e Influência na Geomorfologia .....	129
4.2.6 Questões Ambientais da Bacia.....	131
4.3 Contexto Geomorfológico da sub-bacia do Riacho Santana.....	135
4.3.1 Breve história evolutiva das paisagens do Nordeste .....	135
4.3.2 Evolução do Relevo do Rio Grande do Norte .....	137
4.3.3 Evolução do Relevo Regional/ Maciço Pereiro.....	139
<b>5 – GERAÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS PARA ESTUDOS DO RELEVO</b> .....	143
5.1 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS .....	143
5.1.1 Modelo Digital de Terreno .....	143
5.1.2 Modelo 3D .....	149
5.1.3 Relevo Sombreado (shaded-relief ou gradient).....	149
5.1.4 Curvas de Nível (Contour) .....	155

5.1.5 Hipsometria .....	163
5.1.6 Declividade .....	167
5.2 Drenagem .....	173
5.2.1 Flow Diretion – Direção de Fluxo .....	179
5.2.2 Flow Accumulation – Fluxo Acumulado .....	185
<b>6 – CLASSIFICAÇÃO DO RELEVO DA SUB-BACIA DO RIACHO SANTANA .....</b>	<b>189</b>
6.1 Classificação taxonômica do relevo da sub-bacia do Riacho Santana .....	189
6.2 Compartimentação geomorfológica da Sub-bacia do Riacho Santana .....	223
<b>7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>235</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>241</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema dos dados do TOPODATA. ....	71
Figura 2: Fluxograma de ações de geoprocessamento. ....	87
Figura 3: Classificação Taxonômica do Relevo proposta por Ross (1992). ....	91
Figura 4: Mapa de Localização da Sub-bacia do Riacho Santana. ....	103
Figura 5: Gráfico acumulativo de precipitação mensal e anual do município Rafael Fernandes. ....	111
Figura 6: Gráfico acumulativo de precipitação mensal e anual do município Água Nova. ....	111
Figura 7: Gráfico acumulativo de precipitação mensal e anual do município Riacho de Santana. ....	113
Figura 8: Diferentes aspectos da vegetação da sub-bacia do Riacho Santana. Na imagem A tem as áreas de fundos de vales com vegetação rasteira e de maior porte. B, C e D são nas vertentes e nos altos (relevo ondulado) com espécies da Caatinga de médio porte. ....	117
Figura 9: Representação dos Solos da Sub-bacia do Riacho Santana. ....	122
Figura 10: Unidades Geológicas ....	127
Figura 11: Representação do Maciço do Pereiro com destaque para a sub-bacia do Riacho Santana ....	133
Figura 12: Modelo de evolução das escarpas do Maciço Pereiro. ....	141
Figura 13: Modelo Digital de Elevação – MDE Sub-bacia Santana. ....	147
Figura 14: Modelo Digital de Elevação – MDE Sub-bacia Santana, em 3D com o uso do software Global Mapper, com exagero vertical de 20 vezes. ....	149
Figura 15: Representação do Relevo Sombreado com azimute de 45°. ....	153
Figura 16: Representação das curvas de nível com equidistância de 20m. ....	157
Figura 17: Representação das curvas de nível paralelas e muito próximas umas das outras indicadas pelas setinhas pretas na imagem. Equidistância de 20m e curvas mestras de 100m. ....	159
Figura 18: Relevo sombreado ( <i>gradient- Global Mapper</i> )/ Figura C: Relevo através da imagem do Landsat 8. ....	161
Figura 19: Curvas de Nível da Sub-bacia do Riacho Santana, com presença de morros isolados. ....	161
Figura 20: Relevo sombreado e de satélite evidenciado os morros isolados. ....	163
Figura 21: Carta Hipsométrica da Sub-bacia do Riacho Santana. ....	165
Figura 22: Esquema dos processos que atuam na declividade. ....	167
Figura 23: Carta de Declividade da Sub-bacia do Riacho Santana. ....	171
Figura 24: Representação da hierarquização da drenagem da sub-bacia do Riacho Santana. ....	175
Figura 25: Imagem mostrando a drenagem dissecando as facetas triangulares. ....	177
Figura 26: Imagem mostrando a drenagem encaixada em uma falha geológica. ....	179
Figura 27: Exemplo de execução da função “Flow Direction”. ....	179
Figura 28: Direção de Fluxo das águas da Sub-bacia do Riacho Santana. ....	183
Figura 29: Exemplo de determinação de fluxo acumulado. ....	185
Figura 30: Representação do Fluxo Acumulado da Sub-bacia do Riacho Santana. ....	187
Figura 31: Mapa geológico simplificado do Estado do Rio Grande do Norte e enquadramento da área da sub-bacia Santana no Domínio Jaguaribeano. ....	191
Figura 32: Depressão Sertaneja rodeada pelos maciços residuais. ....	195
Figura 33: Bloco diagrama esquemático de Inselbergue e Depressão Sertaneja. ...	197

Figura 34: Entalhamento de vales na Serra do Camelo, vertente da porção Leste (E) da sub-bacia. ....	199
Figura 35: Vertentes na Sub-bacia do Riacho Santana. As Setas indicam os aprofundamentos de drenagem separados geralmente por vales em “V”. ....	201
Figura 36: Padrões de Formas Semelhantes da Sub-bacia do Riacho Santana. ....	205
Figura 37: Perfis topográficas em diferentes setores da sub-bacia elaborados no software Global Mapper v.11.0. ....	213
Figura 38: Vertente W- Escarpa de falha da serra de São José. ....	219
Figura 39: Incelbergs. ....	221
Figura 40: Compartimentação do Relevo da Sub-bacia do Riacho Santana.....	225
Figura 41: Município Riacho de Santana rodeado pelas serras de São José (foto superior) e do Camelo (foto inferior). ....	231

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classificação Taxonômica dos Fatores Geomorfológicos .....	53
<b>Tabela 2:</b> Legenda das abreviações dos dados do TOPODATA. ....	71
<b>Tabela 3:</b> Quadro síntese com a nomenclatura das formas de relevo (4 <sup>o</sup> táxon). ....	97
<b>Tabela 4:</b> Quadro síntese com a matriz de dissecação do relevo (5 <sup>o</sup> táxon). ....	99
<b>Tabela 5:</b> Padrões de Formas Semelhantes.....	203
<b>Tabela 6:</b> Matriz dos índices de dissecação do relevo. ....	209
<b>Tabela 7:</b> Síntese de compartimentação do relevo .....	227



# 1 – INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são comumente estudadas no seu quesito gestão, em que podemos usar como exemplo os comitês de bacias hidrográficas, e assim usam os seus limites geográficos a nível de planejamento tanto do gerenciamento da água, como o controle, qualidade e conservação, além de o uso e ocupação do solo dentro desta delimitação territorial. Estas variáveis mencionadas são analisadas dentro da perspectiva ambiental, ao que denominamos de planejamento ambiental. Desta forma, para a compreensão do planejamento ambiental nesta pesquisa a partir de um estudo de caso, faz-se importante o entendimento do conceito de bacia hidrográfica, como se pode ver a seguir.

O termo bacia hidrográfica pode ser definido como uma área da superfície terrestre, delimitada por divisores de água, cuja drenagem é composta por um rio principal e seus tributários, em que a água que ali se precipita, escoar para um único exutório (BOTELHO, 1999; IBGE, 2004). Nos últimos anos, a bacia hidrográfica vem sendo adotada como unidade territorial fundamental para pesquisa, planejamento e gestão ambiental (BOTELHO E SILVA, 2004), mas que até então não era tão utilizada. No Brasil, essa tendência se acentuou principalmente com a adoção da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 1997), na qual é prevista a criação de comitês e agências para a elaboração de planos diretores de bacias hidrográficas (ABDON, 2004).

Dentro dos limites da bacia hidrográfica, a partir da caracterização do meio físico, é possível compreender as inter-relações entre os diversos componentes fisiográficos: os elementos litológicos, os tipos de relevo, as características climáticas, os diferentes tipos de solos, as variações de cobertura vegetal e o comportamento hidrológico, com as intervenções antrópicas ali ocorridas. Dentre os elementos do meio físico, acima relacionados, o relevo é um dos aspectos mais importantes que determinam o uso e a ocupação do solo. Seria dizer que é o ponto de partida para se estudar o meio físico e todas as suas dinâmicas e inter-relações.

Entendido a definição acerca da bacia hidrográfica, vem ao caso a abordagem de um dos elementos geográficos pertencentes à referida unidade territorial de maior expressividade a nível de uso e ocupação do solo, o relevo.





Quanto ao termo relevo, este é uma expressão resultante do conjunto de processos associados às dinâmicas internas e externas que vem atuando na superfície da Terra ao longo do tempo geológico, responsável por modelar as formas que observamos todos os dias nas paisagens (DANTAS & FERREIRA, 2010). Os processos internos (ou endógenos) estão relacionados às atividades que envolvem processos ou variações físicas e químicas das rochas que acontecem no interior da Terra, tais como: mobilização do magma, formando vulcões e intrusões plutônicas; orogênese (movimentos intensos com dobramentos e falhamentos); epirogênese (movimentos verticais lentos) e terremotos, processos esses associados ao contexto geológico em escala global até local. Esses processos levam à formação dos relevos estruturais, a exemplo das cadeias montanhosas e dos planaltos sedimentares soerguidos.

Os processos externos (ou exógenos) relacionam-se à ação da atmosfera (precipitação, ventos e temperatura) e dos organismos vivos sobre as rochas, levando à sua desintegração, provocada por agentes intempéricos, sejam eles físicos e/ou químicos, seguido pelos processos de erosão, transporte e deposição dos fragmentos rochosos (sedimentos). Esses fatores são os condicionantes responsáveis pela modelagem e esculturação das mais diversas formas dos relevos estruturais, resultando em diversas paisagens (DANTAS & FERREIRA, 2010). Toda esta dinâmica ao longo do tempo foi responsável para toda a modelagem da paisagem que é vista hoje.

As formas dos relevos são os objetos de estudo da Geomorfologia, que alcança a compreensão das formas através do estudo da gênese, composição (litologia) e os processos atuantes no desenvolvimento do relevo e da paisagem atual. Os estudos da Geomorfologia quando relacionados com o estudo dos demais componentes da natureza, tais como as águas, o clima e a vegetação se constituem como um estudo vital ao planejamento físico-territorial, que por sua vez, deve levar em consideração tanto os aspectos naturais (potencialidades e fragilidades ambientais) quanto os sociais (culturais e econômicos). Desta forma, os estudos geomorfológicos e ambientais remetem ao atendimento das diversas necessidades político-administrativas e sociais, servindo como instrumento de apoio técnico e como garantia de um aproveitamento sustentável das variáveis oferecidas pela natureza (ROSS, 1992). Nos projetos de gerenciamento ambiental, tais como, nos Estudos de Impactos



Ambientais (EIAS) e Relatórios de Impactos sobre o Meio Ambiente (RIMAS), a Geomorfologia vem sendo largamente empregada como uma das bases operacionais (ARGENTO, 1995) (VALENÇA FERREIRA, 2008).

## **1.1 A Geomorfologia e o Sistema de Informações Geográficas**

Há muito que existem as técnicas de confecção de mapas, mas elas evoluíram, assim como o mundo evoluiu, e chegou ao século 21 com quase total aproveitamento da era da tecnologia. E isto fez surgir suporte para diversas ciências, que vão desde a Pedologia, Engenharia Ambiental, Agronomia, Educação, Geologia e Geografia. E então assim pode-se dizer que contamos com o Sensoriamento Remoto, que através do Geoprocessamento revolucionou estas ciências. No entanto, não há o máximo aproveitamento desta ferramenta, uma vez que por diversas razões, como por exemplo, custos de equipamentos, licenças de softwares, ainda se torna longe da realidade de muitos estudantes brasileiros. Por isto, deve-se compartilhar ao máximo o acesso à ciência através dos bancos de dados (SIG – Sistema de Informação Geográfica) livres e gratuitos, para que assim possamos entender que a falta de recursos não podem ser razões para a não realização de pesquisas.

As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto se fazem importantes para a aquisição de informações relacionadas aos aspectos geomorfológicos de uma área. O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações envolvendo: a cartografia digital; o processamento digital de imagens; e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (LONGLEY et al, 2001).

A Cartografia Digital é a tecnologia destinada ao levantamento, organização e desenho de mapas (ROBINSON et al, 1995). O Processamento Digital de Imagens (PDI) é o conjunto de procedimentos e técnicas destinadas a manipulação numérica de imagens digitais, cuja finalidade é corrigir distorções das mesmas e melhorar o poder de discriminação dos objetos na superfície terrestre (MATHER, 1999). Os SIG são sistemas destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise, recuperação e apresentação de dados geográficos, ou seja, dados referenciados espacialmente ou georreferenciados (BURROUGH & MCDONNELL, 1998).



Nesse contexto, os mapeamentos temáticos, dentre eles o geomorfológico, vêm se adequando às novas tecnologias computacionais, nas quais, os SIG são uma importante ferramenta, tanto para o mapeamento em si, como para a análise e interface com outros temas ambientais (geologia, solos, vegetação, dentre outros) que estão inseridos no âmbito da pesquisa geomorfológica.

A extração e análise de índices morfométricos, visando a compartimentação do relevo em unidades homogêneas da paisagem, podem ser feitas através da utilização de produtos de sensoriamento remoto, tais como imagens de satélite, de radar e fotografias aéreas verticais, e de modelagem de informações altimétricas do terreno, como curvas de nível e pontos cotados, a exemplo dos Modelos Digitais do Terreno (MDT), que já podem ser obtidos automaticamente pelo próprio SRTM da Nasa (resolução de 30m) ou do Topodata (90 metros que precisa reangular por meio de técnicas de *krigagem*), ou ainda usar de softwares como o ArcGis.

Um MDT, também referido como Modelo Digital de Elevação (MDE), é definido como qualquer representação quantitativa digital da variação contínua do relevo sobre o espaço, ou seja, um mapa de elevação, que pode ser utilizado para derivar diferentes atributos topográficos (BURROUGH & MCDONNELL, 1998; WILSON & GALLANT, 2000). As principais fontes utilizadas para geração de um MDT, para os quais diferentes técnicas podem ser aplicadas são: pontos cotados e curvas de nível, obtidos de cartas topográficas digitais (ou digitalizadas) e dados obtidos a partir de sensores de imageamento por radar, a exemplo do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA. Esse projeto da NASA gerou um modelo de elevação a partir da missão do ônibus espacial Endeavour, que fez a cobertura da superfície da terra até os paralelos de 60º norte e sul. Os dados disponíveis para a América do Sul têm uma resolução espacial de 90 m, sendo compatível com escalas iguais ou maiores que 1:100.000. (CREPANI & MEDEIROS, 2004; VALERIANO, 2004). Esta é a situação de quando necessário, e dependendo da escala de trabalho usar a *krigagem*.

A utilização de MDT na elaboração de mapas geomorfológicos, tem se mostrado de grande utilidade, acentuadamente quando associado a imagens multiespectrais de sensores remotos orbitais, a exemplo dos satélites LANDSAT e SPOT, ou de fotografias aéreas pancromáticas. Os elementos de textura, inerentes às imagens de satélite e fotografias aéreas, faltam ao MDT, o que dificulta a identificação de determinadas feições do relevo. A aplicação destes recursos, tem-se mostrado



eficiente nos estudos geomorfológicos, tanto na compartimentação do relevo, como para extração de dados morfométricos, principalmente no estudo de bacias hidrográficas (FLORENZANO, 1998; ROS & BORGA, 1998; HUTCHINSON & GALLANT, 2000; HANCOCK & WILLGOOSE, 2001; HANCOCK, 2005; SMITH & CLARK, 2005; DYMOND et al, 2006; VALERIANO, 2005). As técnicas de delimitação automática de bacias hidrográficas, que no caso usam as ferramentas das geotecnologias, como o geoprocessamento, vêm apresentando bons resultados quando comparados aos processos analógicos de delimitação de bacias hidrográficas, conforme verificado nos trabalhos de O'callaghan e Mark (1984); Jenson e Domingue (1988); Pilesjö e Zhou (1997); Ramme e Kruger (2007); Fan e Collischonn (2009).

## **1.2 Problemática e justificativa da pesquisa**

A motivação para a execução desta pesquisa não é apenas contribuir para os estudos ambientais da área em questão, pois já se somam dois estudos nesta microbacia bacia do Riacho Santana-RN. O caso de Laerton Bernadino da Costa (2015), que realizou sua dissertação sobre “Análise e proposta de zoneamento geoambiental da sub-bacia hidrográfica do Riacho Santana, sudoeste do Rio Grande do Norte, e a tese de Silvana Praxedes de Paiva Gurgel (2012) sobre a “Evolução Morfotectônica do Maciço Estrutural, Província Borborema”, uma vez que estes foram importantes para o levantamento bibliográfico da área. É uma justificativa que visa alcançar o máximo de estudantes possíveis para o reconhecimento de que mesmo não havendo financiamento para se pesquisar nas instituições de ensino superior mais remotas, há diversas formas de se conseguir obter dados importantes para pesquisas ambientais, sobretudo na Geomorfologia, a partir de bancos de dados, como o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), disponíveis de graça na rede desde 6 de maio de 2009; o Geoportal do Exército Brasileiro (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), com uma disponibilidade variada de dados; o GEOBANK do Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Catálogo de Metadados do IBGE e a base de banco de dados do Serviço Geológico Americano, que disponibiliza através da NASA (*National Aeronautics and Space Administration – Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço*), dados SRTM (*Shuttler Radar Topography Mission*). São diversos bancos de dados disponíveis, e que foram de





alguma forma ou outra aproveitados para a execução desta pesquisa.

Os resultados apresentados até aqui sobre o uso das geotecnologias aplicadas nos estudos geomorfológicos evidenciam que o mapeamento geomorfológico feito por meio do uso de técnicas e metodologias adequadas a escala do objeto de estudo, permitem ao especialista em geomorfologia mapear, medir e estudar uma variedade de fenômenos geomorfológicos. E, esta é a proposta pretendida com o desenvolvimento desta pesquisa de mestrado, uma abordagem sobre uma discussão da geografia física, a partir do ponto de vista do planejamento ambiental de bacias hidrográficas com base na Cartografia Geomorfológica, tendo como caso de estudo a Sub-bacia do Riacho Santana – RN, localizado no extremo Oeste do estado do Rio Grande do Norte. É uma forma de mostrar ao leitor que embora muitas regiões careçam de estudos, sejam eles em quaisquer esferas, quando se tratam de assuntos relacionados às Geociências, principalmente, em razão da disponibilidade, muitas vezes de forma gratuita, dos Sistemas de Informações Geográficas e aplicabilidades das geotecnologias, é possível a produção de diversos dados cartográficos que venham a contribuir para estudos ambientais, sobretudo na área de Geomorfologia, sem deixar que a não disponibilidade de certos produtos cartográficos sejam causas de não execução de pesquisas.

Os estudos ambientais na área se justificam pela presença de comunidades as margens dos rios. Essas comunidades utilizam os recursos naturais para sua subsistência, praticando agricultura, pecuária, extrativismos e outras atividades. Por isso podemos considerar que caracterização de uma bacia deve levar em consideração, além dos aspectos hídricos, os aspectos ambientais, socioeconômicos e culturais. Segundo Guerra e Cunha (1996), as bacias hidrográficas abarcam em si aspectos naturais e aspectos humanos, pois as mudanças no processo de ocupação humano nos entornos de uma bacia afetaram diretamente os aspectos naturais. Costa (2015) aponta que a bacia deve ser vista como “ um sistema aberto, onde ocorrem trocas e fluxos de matéria e energia”, e quando ocorre alguma alteração nessas trocas e fluxos o sistema entra num processo de desequilíbrio. E, ainda pela razão de que o planeta terra vive em constante transformação, e que as histórias das paisagens podem não apenas serem contadas pela evolução geomorfológica, mas sobretudo a partir de que o homem faz com a mesma, havendo assim a necessidade de se preservar, afinal o homem faz parte desta paisagem, e é um dos mais ativos agentes



transformadores em pequena escala de tempo, que se reflete sem outra escala sem precedentes.

Desta forma, no Rio Grande do Norte, a segunda maior Bacia Hidrográfica, denominada Apodi Mossoró, está localizada na região oeste do estado, e nela está situada a sub-bacia localizada próxima à fronteira com o estado da Paraíba, denominada Riacho Santana. Costa (2015) aponta que área está sofrendo uma “intensa descaracterização ambiental” ao longo dos anos e que esse problema decorre do uso “técnicas rudimentares e inadequadas” de manejo do ambiente no entorno da sub-bacia, e não apenas isto. Ela tem grande potencial turístico que pode ser explorado a partir destes estudos realizados, somados à compartimentação geomorfológica. E, as técnicas de obtenção de dados nesta pesquisa ajudarão a desenvolver na área mais projetos nas temáticas de zoneamento ambiental, estudos de impactos ambientais, planos diretores, geoparques entre outros. E, ainda servirá como uma modelo a ser replicado em diversas outras bacias hidrográficas.

### **1.3 Objetivos da pesquisa**

Os estudos feitos neste trabalho sobre a sub-bacia hidrográfica do Riacho Santana estão focados na análise geomorfológica, tendo como objetivo geral:

- Realizar um estudo geomorfológico da sub-bacia hidrográfica do Riacho Santana-RN com uma compartimentação do relevo, através do uso da metodologia principal proposta por Ross (1992), mas fazendo paralelo com as discussões do RADAMBRASIL (1971,1981) e o Manual de Geomorfologia do IBGE (1994), por meio das ferramentas das geotecnologias disponíveis,

Como objetivos específicos da pesquisa destacam-se:

- Caracterizar o quadro natural da área (geologia, geomorfologia, solos, hidrografia, clima, recursos hídricos, vegetação), tendo como base estudos anteriores sobre a área;
- Realizar levantamento bibliográfico acerca da Cartografia Geomorfológica;



- Executar compartimentação do relevo com a identificação das unidades geomorfológicas de acordo com a classificação taxonômica de Ross (1992);
- Obter dados cartográficos geomorfológicos por meio do uso de técnicas de geoprocessamento, com base em imagens de sensores óticos (Landsat8), imagens de radar (SRTM), e SIGs como Valeriano (2005), IBGE e INPE.
- Oferecer a possibilidade de se trabalhar com banco de dados das geociências de forma livre e gratuita, a partir de um modelo de estudo de caso.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

Após esta introdução, que representa o primeiro capítulo deste trabalho, segue a fundamentação teórica, no capítulo 2. O capítulo 3 trata-se de materiais e métodos, de modo que seguiu uma metodologia principal (ROSS, 1992), mas ao mesmo tempo esta caminha em paralelo com discussões dos estudos clássicos da geomorfologia brasileira (termos metodológicos), como por exemplo, os levantamentos de estudos de cunho ambiental para reconhecimento das riquezas naturais de todo o Brasil, em pequenas escalas, na década de 70, o Projeto RadamBrasil. Além de o Manual Técnico de Geomorfologia, da coleção de manuais técnicos de geociências, do IBGE (1994 e 2009). Por sua vez o capítulo 4 é a apresentação da área de pesquisa a partir de revisão bibliográfica intitulada de “Caracterização dos componentes naturais da sub-bacia do Riacho Santana – RN”. O 5º capítulo é a parte que já adentra os resultados idealizados nesta pesquisa, e que está intitulado de “Geração de Dados Cartográficos para Estudo do Relevo. E, por fim o último capítulo é o 6º que trata da finalização deste trabalho, em que tentou-se discutir o relevo a partir da sua modelagem fazendo-se a interligação com geomorfologia regional do Maciço Pereiro, e a elaboração da carta de compartimentação geomorfológica por meio da classificação taxonômica de Ross (1992). Na sequência, a conclusão com as expectativas alcançadas após a execução desta fase de pesquisa.



## **2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Pressuposto teórico-metodológico na Geografia Física: abordagem sistêmica**

Não é de hoje que a Ciência Geográfica é tida no cenário do conhecimento científico como uma ciência com divergências quanto ao uso de seus métodos e seus preceitos teóricos metodológicos. Há muito que esta ciência vive no embate entre a Geografia Física e a Geografia Humana, sendo esta uma das causas que contribui para esta sua indefinição metodológica, uma vez que diante desta dualidade do conhecimento muitas vezes não é possível o arranjo de teorias que abarquem estes dois ramos, o que causa certa apreensão por parte dos estudiosos que se colocam diante de situações que se deve ver a Geografia Física e Geografia Humana como uma só.

Para que fossem possíveis as resoluções quanto às questões metodológicas aplicadas na Geografia, seria interessante a retomada de seus estudos filosóficos, mais adensamento de conhecimento, em que haveriam novos apontamentos para novos rumos e paradigmas, permitindo-se uma maior aproximação entre questões humanas e de estudos do meio físico, sem essa separação que sempre existiu, e que provavelmente não mudará. Porém, nas tentativas de buscas pelos métodos e metodologias que se aplicassem na ciência geográfica, surgiu como iniciativa as primeiras tentativas metodológicas na Geografia Física. É o advento dos estudos integrados da natureza como nova perspectiva surgida no seio geográfico. Portanto, é a partir deste contexto que se adentra sobre o método geossistêmico, em que logo mais adiante passa a perceber o homem como parte deste seio.

Os estudos geográficos orientados a partir da abordagem geossistêmica cresceram entre os geógrafos de todo o mundo. Junto a isto, começou a busca incessante de seu aperfeiçoamento metodológico, principalmente à medida que se conjuga a Geografia Física com um número cada vez maior de outras ciências tidas como multidisciplinares. Diante disto, faz-se necessário entender o contexto histórico de surgimento de tal método, sabendo-se de qual vertente este foi reproduzido nas ciências, em especial na Geográfica.

No final do século XVIII e princípios do século XIX, começaram a surgir estas ideias de ter uma visão totalizadora das interações da Natureza com a Sociedade na





academia, a partir de estudiosos como Kant, Humboldt e Ritter. A tentativa de análise destas interações Natureza-Sociedade foram aplicadas dentro da Ciência Geográfica e contabilizaram o aparecimento de duas formas de analisar a configuração do planeta Terra: sendo uma destas formas com uma visão voltada para a própria Natureza (concepções principalmente de Humboldt, e posteriormente de Dokuchaev), em que deu início as bases para a Geografia Física e a Ecológica Biológica; e a outra focada a no Homem e na Sociedade, que foi a concepção da Geografia Humana ou a Antropogeografia de Karl Ritter (SILVA & RODRIGUES, 2009).

## 2.2 Teoria Geral dos Sistemas (TGS)

A Teoria Geral dos Sistemas, também conhecida como TGS, foi quem influenciou vários segmentos do conhecimento científico, no qual o destaque é a Geografia Física. Esta abordagem tem suas bases na Escola Alemã de Alexander Von Humboldt, no século XIX, em que tinha a preocupação de conhecer a complexidade do meio a interdependência entre os elementos formadores da paisagem. Esta foi apresentada em caráter inaugural no seminário filosófico em Chicago, em 1937 pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy, que de acordo com o mesmo é possível compreender a concepção sistêmica:

“É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo” (BERTALANFFY, 1973; p. 53).

Diante da existência dessa Teoria Geral dos Sistemas, em que se passava a estudar as partes integrantes de um sistema, seja aberto ou fechado, de maneira integrada, e não isoladamente como anteriormente, a partir dos anos 60 do século XX, surge um especialista siberiano de nome Víctor Sotchava, que a luz da TGS tentou pela primeira vez elaborar a então difundida Teoria dos Geossistemas. Este autor teve como pilar teórico a Teoria das Paisagens (*Landschaft*) termo em alemão para “paisagem natural”, difundida pela Escola Russa. O próprio Sotchava classificava as paisagens naturais com critérios biogeográficos, em homogêneas ou diferenciadas em três níveis: planetário, regional e topológico.

A partir desta perspectiva, a paisagem passou a integrar uma formação



sistêmica e, assim, o conceito de paisagem passou a ser sinônimo de geossistema (GUERRA, SOUZA E LUSTOSA, 2012). Porém, esta abordagem teórico-metodológica não era bem aplicada fazendo-se necessário outras concepções a fim de solucionar os problemas de aplicabilidade de tal teoria. É então quando George Bertrand, em 1968, faz uma revisita a Teoria Geossistêmica e faz uma nova classificação da paisagem, desta vez atribuindo uma melhor hierarquia das paisagens com uma tipologia às ordens taxonômicas do relevo, ao prisma de uma perspectiva espaço-temporal, em um esboço sobre uma Geografia Física Global, definindo as Unidades Superiores (Zona, Domínio e Região Natural) e Unidades Inferiores (Geossistemas, Geofácies e Geótopo).

É importante perceber que há divergência nestas duas formas de classificação da paisagem até então citadas. Esta diferenciação ocorre por meio da classificação das unidades de paisagem, uma vez que a Escola Russa de Sotchava utiliza como atributo as formações biogeográficas, e enquanto isto a Escola Francesa Bertraniana faz uso da Geomorfologia como parâmetro-chave para a delimitação de tais unidades (GUERRA, SOUZA & LUSTOSA, 2012).

É evidente dentro da Geografia o suporte metodológico da TGS à própria Geografia Física, uma vez que deu origem a diversas contribuições e sistematizações de padrões conceituais, que perpassam pela Geomorfologia (sistemas geomorfológicos), pelos sistemas hidrológicos, sistemas socioeconômicos, sistemas urbanos, sistemas ambientais físicos (geossistemas) (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 2).

Por fim, pode ser dito que a paisagem vista desta forma, com um conceito integrador, passou a representar uma nova visão da Geografia Física, em oposição à óptica tradicional da análise isolada dos componentes naturais, em que não era permitida a interpretação das influências mútuas entre os elementos naturais, conforme as abordagens metafísica e mecanicista até então aplicadas a Geografia (SILVA & RODRIGUES, 2009).

### **2.3 Correntes Geomorfológicas (Davis – 1899, Penck- 1924, King- 1953)**

Em se tratando de um estudo de discussão geomorfológica, faz-se necessário saber das teorias clássicas que consubstanciam a Geomorfologia. Os principais



teóricos quanto aos estudos de evolução do modelado geomorfológico são eles a saber: William Morris Davis (1899) que fazia parte da escola anglo-americana, que posteriormente influenciou também autores de expressão francesa e inglesa. O marco fundamental deste autor foi a publicação da obra “The Geographical Cycle”. Davis (1899) descreveu a teoria do ciclo geográfico que define que o relevo se altera de forma cíclica por influência de três variáveis: estrutura geológica, processo atuantes e o tempo. De acordo com esse autor, os movimentos tectônicos geram forças que deformam o relevo, resultando em um rápido soerguimento, seguido de uma estabilidade tectônica. Depois o relevo seria gradualmente rebaixado e dissecado formando uma superfície aplainada, marcando o fim do ciclo, seguido pelo início de um novo ciclo. Os principais fatores deste ciclo proposto pelo autor era a própria estrutura geológica, os processos operantes e o tempo, valorizando-se o aspecto histórico na formação do modelo, uma vez que havia os estágios do relevo (*young, mature, old*). Esta proposta foi pioneira, mas carecia de uma integração com outras áreas de estudo da terra, como a climatologia e a biogeografia, conforme aponta Ribeiro et al. (2010).

Em oposição aos estudos de Davis (1899), é publicado o trabalho “*Die Morphologische Analyse*”, do alemão Walter Penck (1924) criticando a falta de integração da proposta de Davis (1899). Aquele propôs que os elementos que compõem a superfície da Terra atuam de forma integrada na evolução do relevo, valorizando o estudo dos processos e a articulação com a química do solo, hidrologia, climatologia e biogeografia (FLOREZANO, 2008; RIBEIRO ET AL., 2010; NETO, 2013). Contrapondo-se a Davis (*op cit*), Penck (*op cit*) defende que o soerguimento e a denudação ocorrem de forma simultânea, além disso, ao invés de ocorrer um rebaixamento gradual, ocorre na verdade um recuo gradual das vertentes. E, ainda, nesta proposta de evolução geomorfológica há o entendimento de outros processos que interferem na modelagem do relevo, sendo eles as forças endógenas (abalos sísmicos, vulcanismo, dobramentos, soerguimentos, falhamentos e fraturamentos), além das forças exógenas (ação climática local, regional, zonal; processos de meteorização; erosão e transporte, ação do vento e da água).

Os estudos de Penck (1924) foram aplicados a regiões de clima úmido, mas Lester King (1953) os reproduziu em regiões de clima árido e semiárido (Neto, 2013). Baseado no conceito de recuo das vertentes de Penck (*op cit*), King (1953) estabelece



a teoria da pediplanação, processo que se origina em ambientes semiáridos, denominados pediplanos (RIBEIRO et al., 2010; FLORENZANO, 2008). King acreditava no conceito de estabilidade tectônica de Davis (1924), mas admitia um ajuste por compensação isostática, baseando-se no conceito de recuo das vertentes de Penck (*op cit*). No Brasil, o modelo mais difundido foi sobre a abordagem de pediplanação, principalmente a nível do Nordeste, porém estudos realizados por Claudino Sales e Peulvast (2002), trazem propostas de reformulação destas concepções clássicas.

## **2.4 Cartografia Geomorfológica**

A Geomorfologia depende de recursos cartográficos para representar as suas peculiaridades. A representação dos fatos geomorfológicos por meio de mapas é denominada Cartografia Geomorfológica. Através da Cartografia Geomorfológica é possível representar a gênese e as formas do relevo, bem como as suas relações com a estrutura e a dinâmica dos processos. Uma vez concebidas, as cartas geomorfológicas são de suma importância para no auxílio do planejamento territorial, segundo Doné (1981), uma vez que as mesmas demonstram de forma clara os fenômenos estudados e as suas correlações.

Para sistematizar todo o conhecimento a respeito do mapeamento geomorfológico, diversos autores tentaram estabelecer uma classificação taxonômica das formas de relevo, sendo os pioneiros Tricart e Cailleux (1956), que utilizaram o critério têmporo-espacial nas classificações dos fenômenos geomorfológicos, seguidos de Tricart (1965), Ab' Saber (1969), Ross (1992; 2006) e Florenzano (2008).

De acordo com Florenzano (2008), a cartografia geomorfológica teve início na Polônia e ganhou maior dimensão durante a 2ª Guerra Mundial, emergindo como método fundamental para análise do relevo. Atualmente, os mapas geomorfológicos têm subsidiado não só a Geomorfologia, mas diversas ciências que envolvem o planejamento urbano e regional. Apesar de ainda ser uma temática indefinida quanto às metodologias e nomenclaturas, o que faz os mapas geomorfológicos terem informações diferenciadas e simbologias dependendo de cada autor. Para Tricart (1963) de fato um mapa geomorfológico deve além de existir a morfometria, informações sobre a gênese, morfografia e cronológica, que acaba por se tornar a parte mais complicada financeiramente para execução do mapeamento. Por isso que





esta pesquisa não propõe exatamente um mapa geomorfológico tal como Tricart (1963), Cunha (2001) entre outros, mas sim uma compartimentação geomorfológica por meio de táxons, seguindo a proposta metodológica de Ross (1992), mas também com adaptações do Manual de Geomorfologia do IBGE (1994).

Tricart (1963, apud ROSS 1992, p.52), considera que a cartografia geomorfológica “constitui a base da pesquisa e não a concretização gráfica da pesquisa já feita”. Ela é ao mesmo tempo, segundo Tricart, a base e o resultado de um estudo, que faz parte da linha de pesquisa que concentra a maioria dos estudos no campo da Geomorfologia, a empírica, consistindo em trabalhos de campo, observações, descrições e interpretações.

Para Valter Casset (2012) a cartografia geomorfológica trata-se de um importante instrumento na espacialização dos próprios fatos geomorfológicos, o que permite a representação da gênese, das formas de relevo e suas relações com a estrutura e processos, assim também como a representação da própria dinâmica dos processos, levando em conta suas particularidades, devendo fornecer subsídios para a identificação de todos os elementos essenciais para o entendimento do relevo.

Para Tricart (1965), o mapeamento geomorfológico tem por função primordial representar a base e a síntese da pesquisa geomorfológica, e não o resultado em si do estudo, ou seja, deve representar as relações espaciais que as formas de relevo mantêm com os processos de esculturação e / ou de elaboração do modelado. A Geomorfologia por se é entendida como o estudo das formas de relevo e dos processos responsáveis por sua elaboração, e ver na representação cartográfica um importante veículo de comunicação e análise dos resultados obtidos (CUNHA e PINTON, 2013). Assim, o essencial do mapeamento geomorfológico é representar, de forma sintética elucidativa as características e atributos relacionados à gênese, forma e cronologia do relevo.

A representação cartográfica do relevo pode fornecer dados sobre as condições locais para ocupação, além de auxiliar na identificação de áreas potencialmente problemáticas no futuro. Desta forma trata-se de um assunto pertinente a partir da atual situação de uso intenso da terra (CUNHA & QUEIROZ, 2012). Porém, a cartografia geomorfológica constitui um tipo de mapeamento cuja complexidade é inerente ao próprio objeto a ser representado (o relevo). Este apresenta uma diversidade de formas e de gênese geradas por mecanismos, processos que atuam



no presente e que atuaram no passado, exigindo uma gama de informações a serem discutidas.

De acordo com Ross (1991, p.17):

“Interpretar o relevo não é simplesmente saber identificar padrões de formas ou tipos de vertentes e vales, não é simplesmente saber descrever o comportamento geométrico das formas, mas saber identifica-las e correlaciona-las com os processos atuais e pretéritos, responsáveis por tais modelados, e com isso estabelecer não só a gênese mas também sua cronologia (ROSS, 1991).”

#### 2.4.1 Mapeamento Geomorfológico - Taxônias

A fundamentação para elaboração de mapas geomorfológicos tem como ponto de partida o trabalho de Cailleux & Tricart (1956). A grande contribuição desse trabalho é a definição de uma Classificação Taxônomica dos Fatores Geomorfológicos. Essa classificação, conforme aponta Kohler (2001), foi alcançada através dos cruzamentos de dados espaciais e temporais, o que permitiu aos estudos da área de geomorfologia o uso de uma escala espaço-temporal. As unidades de relevo nessa classificação de Cailleux & Tricart (1956) são organizadas em oito ordem de grandeza, ordenadas pelo tamanho da unidade em km<sup>2</sup> variando de 10<sup>7</sup> km<sup>2</sup> na primeira grandeza e indo até 10<sup>8</sup> na oitava grandeza, como mostra a Tabela 1.

Os métodos para elaboração dos mapas geomorfológicos são depois expandidos por Jean Tricart (1965) em sua publicação "*Principes et Methodes de la Geomorphologie*" (1965), na qual Tricart (*op cit*) define que um mapa geomorfológico detalhado deve ser capaz de expor quatro tipos de dados descritos logo mais a seguir.

- ❖ Morfometria – refere-se aos dados quantitativos que podem ser representados por topografia (altimetria, declividade, inclinação);
- ❖ Morfografia – diz respeito à necessidade de representar as formas de acordo com sua morfologia própria, que decorre, em graus diversos, de sua gênese;
- ❖ Morfocronologia – as formas devem ser localizadas no tempo tão exatamente quanto possível, fazendo aparecer as associações de feições desenvolvidas em diferentes fases da evolução da área;
- ❖ Morfogênese – relativo à natureza genética das formas deve aparecer claramente, através da representação dos processos que as originam, e das formações superficiais correlativas.



**Tabela 1:** Classificação Taxonômica dos Fatores Geomorfológicos

Ordem	Unidade de Superfície	Características das Unidades-Exemplos	Unidades Climáticas Correspondentes	Mecanismos Genéticos Comandando o relevo
1 <sup>a</sup>	10 <sup>7</sup>	Continentes, Bacias oceânicas configuração do globo)	Grandes conjuntos zonais, comandados por fatores astronômicos	Diferenciação da crosta terrestre, SIAL e SIMA
2 <sup>a</sup>	10 <sup>6</sup>	Grandes conjuntos estruturais (Escudo Escandinavo, Tetis, B. do Congo)	Grandes tipos de clima (interferência de influências geográficas com fatores astronômicos)	Movimento da crosta terrestre como a formação dos geosinclinais, influências climáticas sobre a dissecação
3 <sup>a</sup>	10 <sup>4</sup>	Grandes unidades estruturais (Bacia de Paris, Jura, Maciço Central)	Feições nos tipos de clima, mas sem grande importância para a dissecação	Unidades tectônicas tendo ligação com a Paleogeografia. Velocidade de dissecação influenciada pela litologia
4 <sup>a</sup>	10 <sup>2</sup>	Unidades tectônicas elementares: maciços montanhosos, fossas	Climas regionais de influência geográfica sobretudo nas regiões montanhosas	Influência predominante da tectônica, secundária da litologia
5 <sup>a</sup>	10	Acidentes tectônicos: anticlinal, sinclinal, <i>mont</i> etc.	Climas locais influenciados pela disposição do relevo	Predominância da Litologia e Tectostática. Influências estruturais clássicas
6 <sup>a</sup>	10 <sup>-2</sup>	Formas de relevo: crista, terraço, moraina, cone de dejeção etc.	Mesoclima diretamente ligado a forma (nicho de nivação, por exemplo)	Predominância do fator morfodinâmico influenciado pela litologia
7 <sup>a</sup>	10 <sup>-4</sup>	Microformas: lentes de solifluxão, solos poligonais, ravinas	Microclima diretamente ligado à forma por autocatalise (ex: lapiás)	Microclima diretamente ligado à forma por autocatalise (ex: lapiás)
8 <sup>a</sup>	10 <sup>-8</sup>	Feições microscópicas: detalhes de corrosão, de polimento etc.	Microambiente	Influência da dinâmica e da textura da rocha

**Fonte:** Adaptado de Kohler, 2001.

Os dados de morfometria e morfografia são agrupados de forma a indicar a morfogênese. Porém, este mesmo autor ainda salienta para a dificuldade de obtenção dos dados sobre cronologia, por se tratar de um dado de mais difícil obtenção em



virtude de ser necessário o uso de datação das formas do relevo.

Ross (1992) aponta que a metodologia de Tricart (1965), e também a metodologia de Mercerjakov (1968), tem como ponto importante a tentativa de exprimir as diferentes ordens de grandeza que existem nas formas do relevo, além de relacionar essas grandezas com as idades das formas, definindo assim uma abordagem espaço temporal para representar os mapas geomorfológicos. Ross (*op cit*) ainda ressalta que o método de Tricart (*op cit*) valoriza a "representação da morfogênese através de símbolos pontuais e lineares". Apesar de fazer referências a Tricart, Ross (*op cit*) acredita que a taxonomia proposta por Tricart não permite fazer uma relação direta com as unidades que se observam em campo. Por isso ele propôs sua própria taxonomia, baseado nos trabalhos de Penck (1953) e Mercerjakov (1968).

A proposta metodológica de Mercerjakov (1968), ordena as unidades do relevo em 6 ordens de grandeza (107 km<sup>2</sup> até 10<sup>-1</sup>), e dentro dessa ordem ele propõem a organização das unidades em Morfotecturas, Morfoestruturas e Morfoesculturas que segundo esse autor são definidos como:

"A *morfotectura* designa os elementos mais importantes (de ordem superior) do relevo da terra, condicionados pelas forças tectônicas ainda insuficientemente estudadas em interação com todos os outros fatores de formação do relevo. Ele é uma mistura das massas continentais em projeção, das depressões oceânicas, das grandes zonas montanhescas (orogênicas), das regiões de plano (*de socle*). A *morfoestrutura* propriamente dita designa os elementos do relevo de média ordem que parecem *compliquer* a superfície da morfotectura. [...] Se relaciona as morfoestruturas certas cadeias, de maciços, platôs, colinas, depressões sobre a superfície dos continentes e nos fundos dos oceanos. [...] Sobre a ação predominante dos fatores exógenos se formam os elementos morfoesculturais do relevo. A morfoescultura se relaciona as formas do relevo de ordem inferior, como por exemplo os *croupes morainiques*, os *ovrag*, *as barkhanes*, *les entonnoirs* cársticas" (pg. 540, MERCEJAKOV, 1968)."

No Brasil o método francês de Tricart (1965) foi mais influente do que o de Mercerjakov (1968). Vitte (2011) afirma que os trabalhos de Tricart foram fundamentais para geomorfologia brasileira e cita dois artigos desenvolvidos pelo autor (Tricart, 1959; Tricart, 1960) que serviram como base para fundamentação metodológica da geomorfologia brasileira. Outro marco importante apontado por Vitte (*op cit*) para consolidação da influência do referido autor no Brasil, foi sua participação no projeto RadamBrasil(1981), coordenando as equipes de pesquisa, fato também comentado por Ross (1992), que ressalta que o método francês influenciou a produção dos mapas da quarta fase do projeto RadamBrasil (1981).





Souza (2006) afirma que a metodologia de Tricart (1965) condicionou o mapeamento geomorfológico ao “emprego da fotografia aérea e sua verificação via trabalhos de campo”. Ele ainda aponta que esta metodologia influenciou o mapa geomorfológico do estado de São Paulo que foi produzido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981). A metodologia de Tricart (1965) continua sendo uma ferramenta importante para os estudos atuais o que é evidenciado pelo recente trabalho de Lima et al. (2013), que afirma que apesar de antiga, a abordagem de Tricart figura entre as mais completas e abrangentes para reapresentação cartográfica. Eles usam, contudo, em seu trabalho, uma mescla do método de Tricart (*op cit*) com o método dos autores da escola holandesa Verstappen e Zuidam (1975).

No trabalho de Cunha (2011) é apresentada uma análise comparativa do uso das metodologias de Tricart (1965), Argento (1995) e Nunes et al. (1994) para representação de mapas geomorfológicos de regiões litorâneas. A autora ressalta a riqueza de detalhes e de simbologias apresentadas por Tricart (*op cit*) para fundamentar sua escolha em utilizar a metodologia dele, mas conclui que para natureza do seu trabalho se faz necessário realizar uma mescla com os métodos destes autores supracitados.

Gustavsson et al. (2006) realizou um vasto levantamento bibliográfico sobre o que ele chamou de “sistemas de mapeamento” geomorfológico, que inclui vários sistemas propostos por autores europeus, entre eles o sistema de Tricart (1965), Verstappen e Zuidam (1975). Ele afirma neste trabalho que um mapa geomorfológico deve ser capaz de expressar informações sobre: hidrografia, o binômio morfometria/morfografia, litologia, estrutura, idade e o binômio processo/gênese. Ele sintetiza como cada um dos sistemas representa as informações, e ao final propõem seu próprio sistema baseado na simbologia de alguns dos sistemas e também propondo a sua própria simbologia.

Um outro método de análise em geomorfologia difundida no Brasil é pautado no pensamento sistêmico, e refere-se ao estudo da fisiologia da paisagem, proposta apresentada por Ab' Sáber (1969), que assinala três níveis de tratamento a serem percorridos durante a pesquisa geomorfológica. O primeiro nível consiste na compartimentação do meio físico e na caracterização a mais detalhada possível, dos compartimentos discernidos. O segundo nível refere-se à estrutura superficial da paisagem, uma vez que a própria pesquisa geomorfológica se encarrega de obter



informações sistemáticas à cerca da estrutura superficial, para assim subsidiar as interpretações das sequências de processos paleoclimáticos da área de estudo. E, o terceiro nível estuda a fisiologia da paisagem propriamente dita, buscando a apreensão dos processos morfoclimáticos e pedogenéticos atuais mediante observações mais demoradas e amparadas (NETO, 2013).

Florenzano (2008), a partir de diversos estudos, apresenta sugestões para elaborar uma carta de unidades geomorfológicas que:

“...de modo geral, a seleção da legenda, o nível de detalhamento e a escala dependem da resolução dos dados sensores remotos disponíveis, da realização de trabalho de campo, da disponibilidade de dados de outras fontes, das características da área de estudo e dos objetivos do mapeamento”  
Florenzano (2008, p. 118).”

A UGI (União Geográfica Internacional) através da subcomissão para assuntos de Geomorfologia, estabeleceu que as cartas geomorfológicas, a depender da escala, devem conter:

- Dados morfogenéticos (gênese): refere-se à origem e ao desenvolvimento das formas de relevo, resultantes da atuação de processos endógenos e exógenos;
- Cronologia: refere-se à idade das formas do relevo e aos processos a elas relacionadas;
- Informações morfográficas (forma): aspectos descritivos do relevo, representados pela sua forma e aparência;
- Dados morfométricos: aspectos quantitativos como medidas de altura, comprimento, inclinação e orientação, os quais são obtidos a partir da carta topográfica.

No Brasil, há uma escassez de mapeamentos geomorfológicos sistemáticos para o território nacional, o que existem são estudos isolados e em escalas pequenas ou médias. A exceção faz-se aos estudos desenvolvidos pelo projeto RadamBrasil (1981) cujo objetivo foi o “mapeamento integrado dos recursos naturais renováveis e não renováveis do Território Brasileiro a partir da interpretação de imagens de radar e de outros sensores”, realizado entre as décadas de 1970 e 1980, que resultou numa publicação de 38 volumes, com mapas temáticos na escala 1:1.000.000, em que



foram privilegiados dados morfométricos e morfocronológicos. Os estudos desenvolvidos pela CEPLAB (1980) na Bahia, elaboraram mapas na escala 1:1.000.000 e os resultados dos trabalhos foram disponibilizados pelo projeto SIG-BA (SRH, 2003), permitindo a sua utilização em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas). O mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, na escala de 1:500.000, desenvolvido por Ross e Moroz (1997) utilizando imagens de radar do Projeto RadamBrasil, também é exceção.

Nos últimos anos, a cartografia geomorfológica vem se modernizando, utilizando as geotecnologias como suporte para seus trabalhos, se apropriando de dados e ferramentas de sensoriamento remoto que permitem níveis de informações detalhados. De acordo com Florenzano (2008, p. 33):

“os avanços tecnológicos dos novos sensores remotos, que produzem imagens com melhor resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, além do recurso estereoscópio, permitem ao Geomorfólogo mapear, medir e estudar uma variedade de fenômenos geomorfológicos com maior rapidez e precisão”.

Os sistemas de processamento e de análise de imagens de satélite permitem aplicar técnicas como as correções e realce dos dados, as classificações automatizadas, entre outras. Além disto uma ferramenta importante é o Sistema de Informações Geográficas (SIG) que “permite armazenar, manipular e integrar uma grande quantidade de dados provenientes de diferentes fontes, formatos e escalas” (FLORENZANO, 2008, p. 121).

Segundo, Silva (2009), atualmente, os mapas temáticos, como o geomorfológico, estão associados a três parâmetros básicos: escolha de legendas; utilização de técnicas de sensoriamento remoto; e uso de cartografia computadorizada, corroborando a importância da utilização do geoprocessamento, que é “um instrumento poderoso para a investigação geomorfológica, permitindo tanto a análise setorizada quanto a pesquisa integrada da atuação de processos geomorfológicos convergentes no tempo e no espaço geográfico”.

## **2.5 Dados Topográficos**

### **2.5.1 Modelos Digitais de Elevação**



Um modelo digital de elevação (MDE) é um plano de informação que descreve a altitude ponto a ponto de uma determinada área, e sua acurácia depende da resolução dos dados (FLORENZANO, 2008). A elaboração de um MDE pode ser realizada de várias maneiras: a partir de pontos amostrais no terreno com atributos xyz, sendo x e y as coordenadas e z a altimetria; digitalização de folhas topográficas analógicas; ou através do uso de pontos cotados. Nestes casos, para criação da superfície contínua (MDE), utilizam-se, por exemplo, métodos de interpolação como a krigagem e o inverso do quadrado da distância (BURROUGH e MCDONNELL 1998; VALERIANO, 2004 e SILVA, 2003); ou ainda, a partir de pares estereoscópicos de imagens ópticas como as dos sensores ASTER-30m (gratuito), SPOT e IKONOS ou por Interferometria de mosaicos de Radar como do RADAR-SAT e SRTM-NASA (gratuito).

O SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) foi um projeto desenvolvido pela NASA em parceria com NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), o DOD (Departamento de Defesa) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria. “O processamento dos dados coletados visou à formação de um Modelo Digital de Elevação (MDE) mundial, elaborado continente por continente, iniciado com a América do Norte” (VALERIANO, 2004). O ônibus espacial foi lançado em 11 de fevereiro de 2000, e em 11 dias obteve imagens de 80% das terras emersas do globo. Os MDEs foram disponibilizados numa resolução de 30m para o território dos EUA e de 90m para o restante do globo, pelo *United States Geological Survey* (USGS), gratuitamente, por meio do sítio, no entanto hoje, já estão disponíveis imagens com resolução de 30m para toda a América, como as utilizadas para este trabalho com coordenadas geográficas WGS 1984, zona 24. O Modelo Digital de Terreno – MDT (SRTM/NASA, 2003), de acordo com Florenzano (2008, p. 34), “trata-se de um dado topográfico orbital de radar interferométrico que permite visualizar o espaço geográfico em 3 dimensões e, com uso do SIG, obter, de forma automática, variáveis morfométricas (altitude, declividade, orientação de vertentes e relevo sombreado) que são essenciais nos estudos geomorfológicos”.

A partir do desenvolvimento do projeto SRTM, ocorreu um grande impulso em estudos geomorfológicos utilizando o aparato técnico-metodológico das geotecnologias envolvendo Modelos Digitais de Elevação, principalmente, devido à





facilidade de aquisição desses dados, pois é disponibilizada gratuitamente pela rede mundial de computadores (internet), no entanto acaba por não ser tão explorado e ensinado nas universidades, além da implementação de algoritmos de tratamento e manipulação desses MDE's em softwares de PDI e SIG, a exemplo da krigagem executadas por Valeriano em seus diversos estudos sobre o Topoda. Esses softwares disponibilizam ferramentas de derivação de dados morfométricos, ou seja, permitem a implementação de comandos por algoritmos específicos com a mesma função. Podem ser extraídos parâmetros morfométricos como declividade (VALERIANO, 2004), curvatura vertical (VALERIANO, 2005), curvatura horizontal (VALERIANO, 2004), cálculo de área de contribuição (RAMOS et al. 2003) e derivação de mapas temáticos como hipsométricos e de aspecto do relevo ou exposição de vertentes (ARAÚJO, 2013), além da extração de parâmetros hidrológicos como drenagem (VALERIANO e MORAES, 1996) e delimitação de bacias hidrográficas (LOBÃO e VALE, 2007).

Valeriano (2004) analisou e testou o MDE-SRTM com dados originais disponibilizados com 90 m de resolução espacial (a rigor 3 arcos de segundo ou  $0,000833^\circ$ ). Ele considerou a necessidade de operações de pré-processamento para adequada aplicação desse MDE em estimativas e mapeamentos de variáveis morfométricas. Visto isso, o autor propôs, então, uma metodologia de refinamento do MDE, ou seja, a partir da krigagem, os dados originais são interpolados obtendo uma resolução de 30 m (a rigor, em coordenadas geográficas, como 1 arco segundo,  $1''$  ou  $0,000278^\circ$ ), permitindo assim a sua utilização em escalas relativamente detalhadas. Oguchi (2006), citado por Valeriano (2007), afirmou que, apesar dos contínuos avanços da modelagem do relevo com geoprocessamento, um dos principais problemas observados é a fraca inserção do conhecimento acumulado a partir da geomorfologia convencional em trabalhos de SIG. Ele recomenda uma maior colaboração entre especialistas de SIG e intérpretes tradicionais, além de se atentar para a escala e realidade de cada objeto de pesquisa.

Entre as técnicas realizadas a partir dos dados do TOPODATA, podemos citar por exemplo, os dados hipsométricos, em que segundo Silva et al. (2009) são alcançados a partir de uma técnica que representa a elevação de um terreno através de uma escala de graduação de cores, a qual representa a elevação do terreno. Esquemas convencionais de cores para a hipsometria começam com tons de verde



para baixa altitude, passando por amarelo e vermelho, até cinza e branco para grandes elevações. O conhecimento da hipsometria de uma região ajuda no reconhecimento dos prováveis fenômenos que nela ocorrem, especialmente quando associado a outros elementos naturais, tais como posição geográfica, deslocamento de ventos e ação das correntes marinhas.

O mapa de declividade ou carta clinográfica tem sido utilizada nas últimas duas décadas em trabalhos ligados às Ciências da Terra, no Planejamento Urbano/Agrário/Ambiental e juntamente com outras representações gráficas de variáveis como a orientação de vertentes, a insolação direta e a direção e velocidade dos ventos permitem uma série de correlações ajudando na compreensão e no equacionamento dos problemas que ocorrem no espaço analisado. Segundo Guerra et al. (1996), o mapa de declividade tem o objetivo de demonstrar as inclinações de uma área em relação a um eixo horizontal, e pode ser medido em grau (0 a 90°) ou em porcentagem (%). Serve como fonte de informações das formas do relevo, das aptidões agrícolas, dos riscos de erosão, e das restrições de uso e ocupação urbana.

## **2.5.2 TOPODATA**

O projeto Topodata lançado em agosto de 2008, oferece um Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional. Eles foram elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores. O processamento dos dados foi sucessivamente inspecionado e revisado desde o lançamento do projeto com o intuito de realizar aprimoramentos e correções. Os dados inicialmente disponibilizados seguiram fielmente as opções e especificações constantes no “Guia de Utilização de Dados Geomorfológicos” (2008) associados ao Topodata. Porém, problemas na articulação entre folhas e a demanda por mais formatos levaram a um novo tratamento dos dados desde sua preparação, e detalhes do processamento de derivação geomorfométrica foram oportunamente melhorados, e estes novos produtos estiveram disponíveis desde o dia 6 de maio de 2009.

Para possibilitar uma futura expansão do Topodata, foi feita uma nova revisão dos produtos e processos, que culminou numa metodologia passível de aplicação onde quer que existam dados SRTM. Os dados atualmente disponíveis, desde

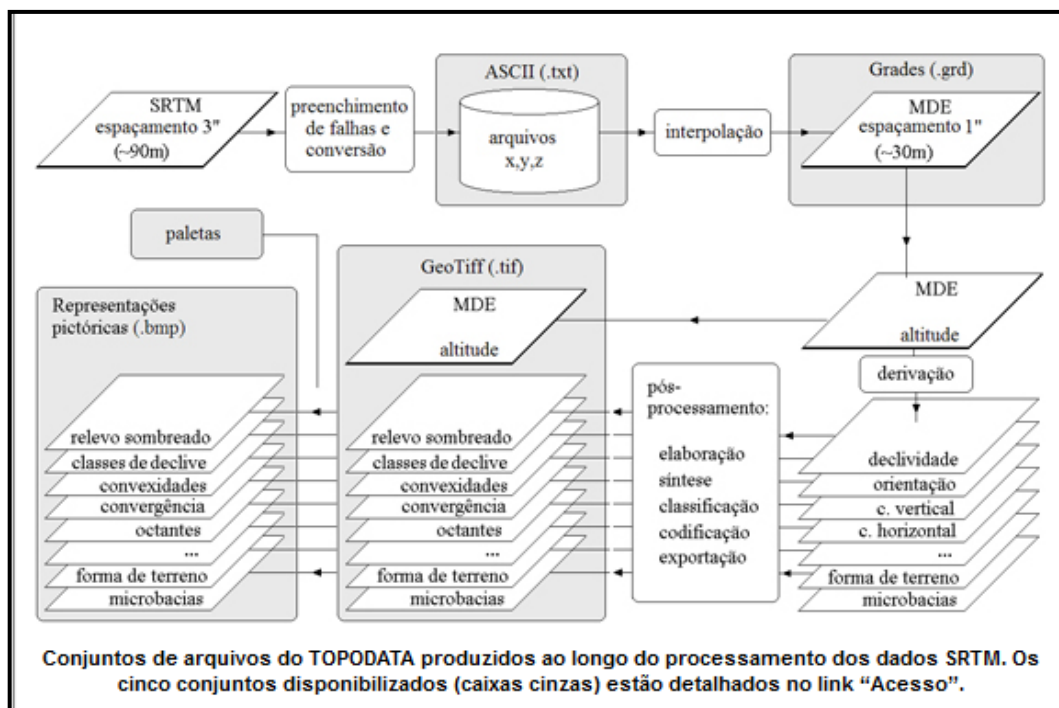


novembro de 2011, foram elaborados em fiel correspondência a estes procedimentos.

Após o preenchimento de falhas dos dados originais SRTM, estes foram convertidos em arquivos ASCII (.txt) estruturados em colunas x,y,z, que constituem um primeiro conjunto de dados, ainda com espaçamento (resolução) de 3 arco-segundos. Deste arquivo foram interpoladas as grades de altitude, em um Modelo Digital de Elevação (MDE) refinado então para 1 arco-segundo, sob formato de Surfer grid (.grd). Um terceiro conjunto de arquivos, disponibilizado em formato GeoTiff (.tif), contém este MDE refinado e suas derivações (variáveis) geomorfométricas locais, algumas das quais classificadas em intervalos ou combinações de interesse. Estes mesmos planos de informação foram preparados sob representações pictóricas não georreferenciadas, num quarto conjunto de arquivos (.bmp), para rápida visualização em editores comuns. Além dos arquivos de dados associados a cada folha (ou quadrícula), paletas correspondentes aos esquemas de cores usados nestas representações foram também disponibilizadas para facilitar sua visualização em diferentes programas de SIG.

Há algumas diferenças nos dados atuais em relação às informações constantes no “Guia de Utilização” publicado em associação ao lançamento do Topodata, conforme o adendo encontrado na aba “Documentos”. A leitura do “Guia de Utilização” traz as informações para conhecimento dos dados, suas especificações técnicas, formatos, vias de conversão e as condições para seu uso adequado. Recomenda-se visitar a página de documentação para tomada de informações gerais e fazer a leitura do guia previamente à obtenção dos dados. Todos os dados dos Topodata são úteis para diversos estudos geomorfológicos, desde de obtenção de drenagens em estudos de bacias hidrográficas até a definição de topos de vertentes, como a curvatura horizontal. Os dados são todos disponibilizados em um site, e os arquivos são identificados por siglas, como se ver na figura 1 e na Tabela 2.





**Figura 1:** Esquema dos dados do TOPODATA.  
**Fonte:** site: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/dados.php>

**Tabela 2:** Legenda das abreviações dos dados do TOPODATA.

CONJUNTO	DESCRIÇÃO	Unid.
la_lon.grd	Altimetria. Dados interpolados, 1" (~30m): formato <i>Surfer 6.0</i>	m
la_lon.ZN.img (e .doc)	Altimetria. Dados interpolados, 1" (~30m), formato <i>Idrisi 2.0</i>	m
la_lon.SN.img (e .doc)	Declividade na forma numérica.	%
la_lon.ON.img (e .doc)	Orientação de vertentes na forma numérica.	°
la_lon.VN.img (e .doc)	Curvatura vertical na forma numérica.	°/m
la_lon.HN.img (e .doc)	Curvatura horizontal na forma numérica.	°/m
la_lon.SA.img (e .doc)	Declividade em 4 classes (MARQUES, 1971).	-
la_lon.SB.img (e .doc)	Declividade em 7 classes (LEPSCH et al., 1991).	-
la_lon.SC.img (e .doc)	Declividade em 6 classes (EMBRAPA, 1999).	-
la_lon.OC.img (e .doc)	Orientação de vertentes em octantes (N, NE, E, SE, S, SW, W e NW).	-
la_lon.V3.img (e .doc)	Curvatura vertical em 3 classes.	-
la_lon.V5.img (e .doc)	Curvatura vertical em 5 classes.	-
La_lon.H3.img (e .doc)	Curvatura horizontal em 3 classes.	-
La_lon.H5.img (e .doc)	Curvatura horizontal em 5 classes.	-
La_lon.FT.img (e .doc)	Forma de terreno.	-
La_lon.DD.img (e .doc)	Delineamento de canais de drenagem e divisores de água.	-

**Fonte:** Guia de Utilização de Dados Geomorfológicos (2008).





### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa desenvolvida neste trabalho foi adaptada à metodologia proposta por Ross (1992) por se adequar a escala de trabalho e ter esperada aplicabilidade. Diante disto, convencionou-se a divisão do desenvolvimento da pesquisa em quatro fases: *pré-campo*, pautado no levantamento bibliográfico e cartográfico prévios; *campanha de campo*, que envolve o levantamento dos dados em campo; e por fim *trabalho de gabinete*, que envolve duas fases - o *Geoprocessamento* e a *Classificação Taxonômica do Relevo*.

Na fase de pré-campo, o processo de levantamento cartográfico prévio tem como resultado um conjunto de cartas que representam os materiais que servirão de base para todos os processos subsequentes. Por isso, iremos iniciar com a descrição destes materiais. Estarão também descritos nesses materiais todo o aparato físico e tecnológico usado ao longo de todo o trabalho.

#### 3.1 Materiais

Para realização deste trabalho foram reunidos os seguintes materiais preliminares:

- Folha da Sudene do município Folha Pau dos Ferros;
- Imagem de radar SRTM (NASA- 2016) adquirida por meio de cadastro no próprio site, ou Serviço Geológico Americano, disponível no site [www.ers.cr.usgs.org](http://www.ers.cr.usgs.org). Tal imagem é de radar com resolução espacial de 30 m, e com projeção do sistema de coordenadas WGS 1984;
- Imagem Aster adquirida por meio de cadastro no mesmo site citado acima, bem como as mesmas coordenadas e resolução, mudando apenas o tipo do arquivo. Tal imagem é de radar com resolução espacial de 30 m, e com projeção do sistema de coordenadas WGS 1984;
- Mapa Geológico do Rio Grande do Norte, com escala de 1:500.000 (CPRM, 2006);
- Imagens do satélite Landsat 8 OIL obtidas gratuitamente, e como a resolução de 30 m pelo site [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov), a partir de um cadastro;
- Bancos de dados do IBGE, do INPE e Serviço Cartográfico do Exército;



- TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (VALERIANO, 2005; VALERIANO, 2007); obtidos no site <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>;
- Dados disponibilizados em formato eletrônico pela Companhia de Recursos Minerais - CPRM (2006), Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte – IDEMA (2013), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010), Ministério do Meio Ambiente – MMA (2012).

Para execução dos trabalhos de campo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- GPS – Sistema de posicionamento global, utilizado durante o trabalho de campo para a obtenção de coordenadas de pontos;
- Câmara fotográfica digital Canon modelo A540, com 6.0 mega pixel de resolução, utilizada para tomadas fotográficas no trabalho de campo.

Durante a fase de geoprocessamento foram utilizados os seguintes softwares para produção dos mapas:

- ArcGis (Envi), na versão 10.2 para confecção dos mapas temáticos e extração de resultados de morfometria; interpretação do relevo a partir de imagens do Landsat 8 OIL.
- Global Mapper para a elaboração de perfis topográficos, usados para a classificação do táxon através do índice de matriz de dissecação, conforme executado por Moura Oliveira (2010);
- Envi, para o sensoriamento remoto de obtenção do relevo sombreado (*sheade relief*) usado na interpretação e análise do relevo;
- Google Earth Pro, na versão 7, para auxiliar na visualização e localização de toda a área de pesquisa.

### **3.2 Revisão Bibliográfica**

Trata-se da etapa de todo o levantamento bibliográfico acerca dos estudos geomorfológicos com ênfase em cartografia geomorfológica, assim como as teorias geomorfológicas. Os principais nomes e metodologias de classificação do relevo



pesquisados tanto a nível internacional, bem como nacional são os seguintes respectivamente: Demek (1967), Tricart (1965), Mercerjakov (1968), Ab'Saber (1969), RadamBrasil (1981), Angento (1995), Nunes (1994), IBGE (1994 e 2009) e Ross (1992).

Trata-se de uma questão um tanto difícil definir quais as técnicas cartográficas para aplicar nos estudos geomorfológicos, pois ainda não é de consenso comum uma nomenclatura de taxonomias de relevo padrão, como acontece nos estudos geológicos. Assim, fica a critério do pesquisador escolher determinada metodologia que se adapte a cada escala de pesquisa, e objeto de estudo. Desta forma, não se descarta a possibilidade de se fazer uso de mais de uma técnica, o que contribui para a cartografia geomorfológica, uma vez que possibilita se fazer uma comparação de taxonomias e nomenclaturas, como observado em vários estudos realizados por Cunha (2011), Cunha e Queiroz (2012), Zacharias (2008).

Para realização da fase de Geoprocessamento usou-se como embasamento teórico o guia de uso do Topodata já citado, uma vez que se fez uso de diversos parâmetros morfométricos descritos em tal material, bem como o livro de Geomorfologia: "O uso das geotecnologias" (Florenzano, 2008), que traz toda uma abordagem do Sensoriamento Remoto aplicada aos estudos geomorfológicos. No entanto, para execução de determinados processos em ambiente SIG, fez-se uso do tutorial de Cartografia Geomorfológica em ambiente SIG de Silva e Rodrigues (2009), assim como o artigo rotinas para elaboração de cartografia geomorfológica destas mesmas autoras.

### **3.3 Levantamento de Campo**

O trabalho de campo foi realizado em duas etapas. Numa primeira etapa, foi efetuado um reconhecimento geral da área de estudo, no que diz respeito aos seus limites e identificação dos principais elementos da paisagem, guiando-se nos estudos já realizados. Foi feita uma primeira aproximação da compartimentação geomorfológica, com base na interpretação dos diversos produtos gerados a partir do MDT, fotografias aéreas e imagens de satélite, obtendo-se o esboço geomorfológico preliminar. Foram feitas anotações referentes aos elementos observados, com a localização obtida através das coordenadas geográficas marcadas com o uso de GPS, assim como registro fotográfico, para posterior descrição detalhada em gabinete.



A segunda etapa teve como objetivo, refinar a interpretação da compartimentação geomorfológica, decorrente de dúvidas surgidas a partir da viagem e da confrontação da bibliografia da área, assim como a identificação da morfografia do relevo local, na distinção da compartimentação geomorfológica.

A campanha de campo foi baseada nas descrições dos elementos da paisagem, conforme metodologias já mencionadas: demarcação de pontos de coordenadas geográficas para correções de dados digitais (na etapa de gabinete); constatações de verdades de campo conforme necessário no uso do sensoriamento remoto; e levantamento fotográfico.

### **3.4 Sensoriamento Remoto /Geoprocessamento**

Foram realizados diversos processamentos que estão descritos passo a passo conforme o parâmetro desejado para a obtenção de resultados. Assim, é possível entender cada etapa nos *softwares* de SIG, de maneira clara, e de forma que os pesquisadores e estudantes ao lerem este material possam compreender realmente tais processos e executarem tais metodologias de acordo com suas finalidades. A necessidade da descrição detalhada de tais etapas do geoprocessamento se deu em razão da dificuldade de se encontrar material esclarecedor para realização de tais, em virtude de que apesar da disponibilidade e facilidade de inúmeros tutoriais na internet, ainda é difícil entender as teorias.

Para realização dos trabalhos geoprocessamento foi utilizado o *software* ArcGis versão 10.2. Para a inserção dos dados no ArcGis foi adotado o sistema de projeção cartográfica UTM – Projeção Universal Transversal de Mercator, zona 24, tendo como Datum de referência o WGS-84 (*World Geodetic System*). Em seguida, foram criados os planos de informação (PI, mais conhecidos no ArcGis como *layers* ou camadas), conforme descrito a seguir:

1. A primeira etapa foi a extração e digitalização das curvas de nível;
2. Na segunda etapa, as imagens foram vetorizadas com o uso do programa ArcGis 10.2, digitalizando-se em tela PI referentes a cada curva de nível com os respectivos valores de altitude, que foram posteriormente reagrupadas, gerando assim um arquivo de isolinhas, apresentado como o mapa de curvas de nível;





3. O mapa do modelo digital do terreno (MDT) foi criado na resolução espacial de 30 metros, através da interpolação do PI curvas de nível, com equidistância de 10 metros;
4. Foi utilizado o método de interpolação TIN – interpolação por rede de triangulação. Neste método a superfície é representada como uma série de triângulos irregulares, gerados da interpolação de temas de linhas e pontos, espaçados irregularmente, com valores de x, y, e z (FELGUEIRAS, 2001);
5. O MDT foi gerado utilizando-se o módulo *3D Analyst*, do programa ArcGis 10.2. À partir do MDT, foi gerado uma série de produtos, que em conjunto, auxiliaram na elaboração do mapa geomorfológico e de processos erosivos, proposto neste trabalho;
6. O mapa de relevo sombreado foi gerado no módulo *3D Analyst*, função relevo sombreado (*hillshed*) do programa ArcGis 10.2, no qual a iluminação foi posicionada com um *azimuth* de 315° e um ângulo de inclinação de 45°, utilizando-se uma paleta de tons de cinza;
7. Para a confecção do mapa hipsométrico, foi feito um fatiamento do MDT. Fatiar o MDT consiste em definir intervalos, ou fatias de cotas, afim de se gerar uma imagem temática a partir do modelo. Assim, cada tema, ou classe, da imagem temática é associado a um intervalo de cotas dentro dos valores atribuídos ao fenômeno modelado, neste caso a altimetria. Os intervalos definidos foram com as cotas de 0 a 50; 50 a 100; 100 a 150; 150 a 200; e 200 a 250m, utilizando-se para a visualização, uma paleta de cores gradativa;
8. O mapa de declividade foi definido com os intervalos de classes de 0 a 2; 2 a 6; 6 a 20; 20 a 50; e maior que 50%, usando a função declividade (*slope*) do módulo *3D analyst* do programa ArcGis 10.2;
9. Para o cálculo das curvaturas o programa define as curvaturas do perfil e plana, que são agrupadas em nove classes. A extração da rede de drenagem foi feita em um único PI e depois enriquecida com o acréscimo da drenagem das cabeceiras dos cursos d'água, com o objetivo de um melhor detalhamento da mesma.
10. Posteriormente foi feita a subdivisão da bacia hidrográfica do Apodi Mossoró, até se chegar a sub-bacia do Riacho Santana, utilizando o módulo *watershed* do ArcGis 10.2, obtendo-se o mapa hidrográfico;



11. O mapa imagem Landsat 8 foi obtido pelo recorte da referida imagem, cuja composição RGB (*red; green; blue*) foi para as bandas 543 para realce de relevo + a pancromática (banda 8), que se funde e passa a ter uma resolução de 15m.

### 3.4.1 Variáveis Morfometrias

Diversas variáveis morfométricas são importantes na classificação geomorfológica de bacias hidrográficas. Algumas delas já estão disponíveis no TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, todas extraídas a partir dos dados SRTM. Dentre estas, foram selecionadas as seguintes variáveis:

- altimetria (elevação);
- declividade;
- curvaturas horizontal e vertical.

Outras três variáveis morfométricas foram extraídas no software ArcGIS 10.2, com base na altimetria:

- curvas de nível com equidistância vertical de 20 m;
- direções de fluxo de drenagem (*Flow Direction*);
- áreas acumuladas de drenagem (*Flow Accumulation*).

Os perfis topográficos foram extraídos utilizando o *software* Global Mapper.

### 3.4.2 Delimitação da área de estudo

Por se tratar de uma sub-bacia hidrográfica, foi possível realizar de forma satisfatória o delineamento da mesma com base nas curvas de nível, dos interflúvios e do auxílio da ferramenta *Hidrology* do software ArcGis. É uma sequência de processos até se chegar ao resultado final (*Watershed*), que significa bacia. Atento para o fato de que esta ferramenta possui um parâmetro que permite extrair a drenagem mais ou menos detalhada, o que vai depender da escala de análise, e do valor usado no parâmetro *Conditional* (*value* >100 que significa muito detalhe, que no caso serve para pequenas bacias; *value* > 1000 significa menos detalhe, para bacias



maiores, e assim sucessivamente). Para esta análise usou-se o *Conditional*, na caixa *expression* (*value >100*), ou seja, a drenagem foi extraída de forma bem detalhada, e isto pode ser comprovado fazendo-se comparação com a imagem SRTM com resolução espacial de 30m. O passo a passo para realizar tal procedimento é descrito a seguir:

- Tendo como arquivo de entrada, um Arquivo SRTM (com extensão. asc)
  1. *Conversion Tools* → *To Raster* → *ASCII to Raster*;
  2. *Data Management Tools* → *Features* → *Define Projection*;
  3. *Data Management Tools* → *Projections and Transformations* → *Raster* → *Project Raster*;
  4. *Spatial Analyst Tools* → *Hidrology* → *Fill*;
    - 4.1. Esse passo gera um arquivo de *Fill* (preenchimento);
    - 4.2. Esse arquivo será chamado aqui de *Fill\_1*;
  5. *Spatial Analyst Tools* → *Map Algebra* → *Raster Calculator*;
    - 5.1. Gera uma Imagem com inversão de valores do pixel;
    - 5.2. (Valor do maior pixel subtraído dos valores de *Fill\_1*);
  6. *Spatial Analyst Tools* → *Hidrology* → *Fill*;
    - 6.1. Gera um arquivo *Fill\_2*;
  7. *Spatial Analyst Tools* → *Map Algebra* → *Raster Calculator*;
    - 7.1. Gera um DEM, pela inversão dos valores do pixel (do arquivo *Fill\_2*);
  8. *Spatial Analyst Tools* → *Hidrology* → *Flow Direction*;
  9. *Spatial Analyst Tools* → *Hidrology* → *Flow Accumulation*;
  10. *Spatial Analyst Tools* → *Map Algebra* → *Raster Calculator* → *Con* ;
    - 10.1. Na ferramenta *Con* foi configurado o parâmetro ("*Fac*" > 200000, 1);
  11. *Spatial Analyst Tools* → *Hidrology* → *Stream Link*;
  12. *Spatial Analyst Tools* → *Hidrology* → *Stream to Feature*;
  13. *Data Management Tools* → *Features* → *Feature Vertices to points*;
  14. *Spatial Analyst Tools* → *Hidrology* → *Watershed*;
    - 14.1. Aqui terá como resultado o arquivo com as sub-bacias.

### **3.4.3 Delimitação de Curvas de Nível**

Por se tratar de uma escala de análise de 1.100.000, o recomendado pelo Manual de Cartografia do IBGE (1995) é usar curvas de nível com equidistância de 50m. No entanto, em razão da qualidade da resolução da imagem SRTM, optou-se por gerar curvas de nível com mais detalhe, assim com uma equidistância de 20m. Tal procedimento é possível em razão da extração automática a partir de um MDE

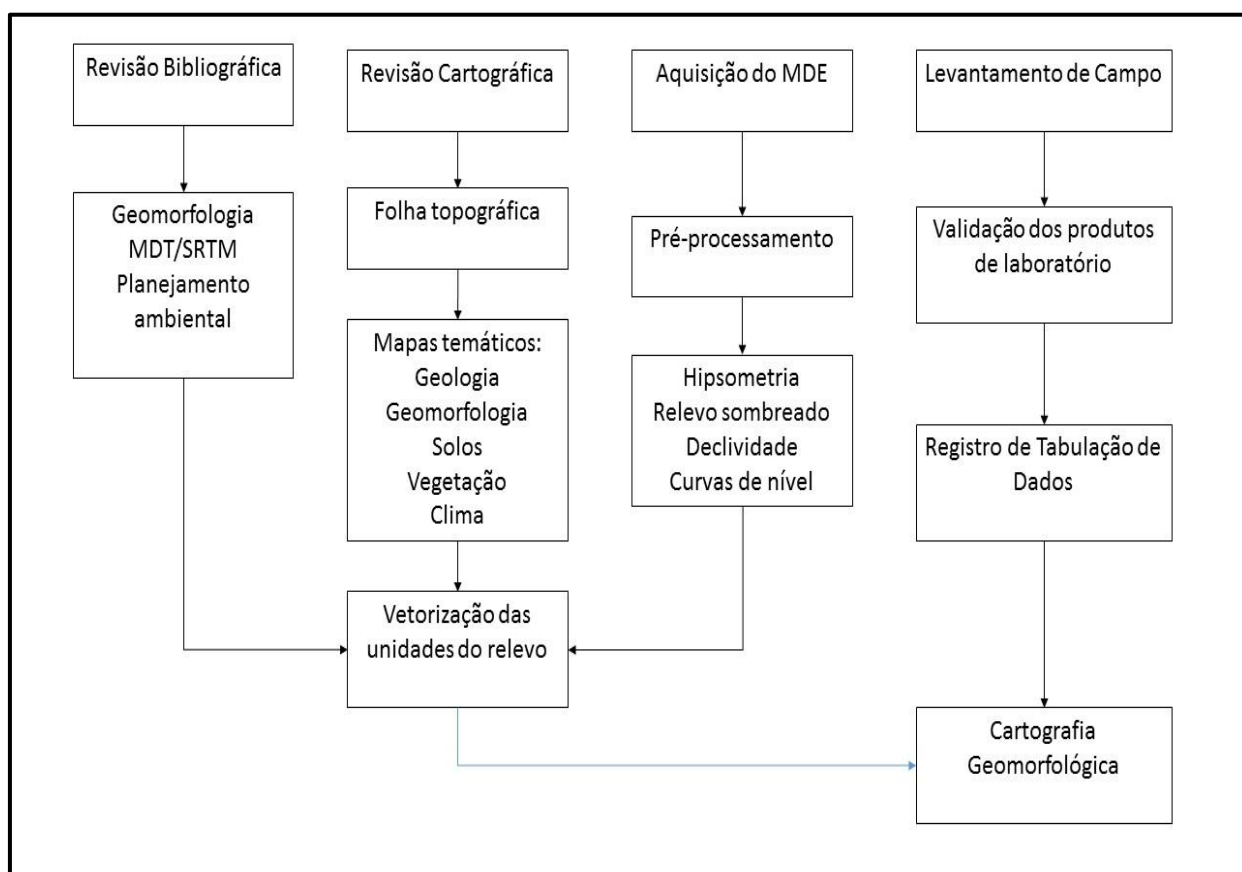


(Modelo Digital de Elevação), que no caso, já é a própria imagem de radar tratada. Isso pode ser conseguido pela ferramenta *Contour* do Arcgis, e nela é possível escolher qual o intervalo entre uma curva e outra, que depende da escala estudada. Os passos para usar esta ferramenta são:

1. *3D Analyst Tools* → *Raster Surface* → *Contour*

### 3.4.4 – Síntese das ações de geoprocessamento

Como forma de sintetizar os processos descritos nessa seção, a Figura 2 ilustra um fluxograma com os passos realizados para desenvolver todas as ações de geoprocessamento desenvolvidas nesse trabalho. O intuito é servir de guia para trabalhos semelhantes.



**Figura 2:** Fluxograma de ações de geoprocessamento.





### 3.5 Classificação Taxonômica do Relevo

Uma determinada unidade morfoestrutural pode ter uma ou mais unidades morfoesculturais, que refletem as diversidades litológicas da estrutura e os tipos climáticos que atuaram no passado e os que atuam no presente. Assim, podem ser diferenciados seis táxons (categorias) de formas de relevo que serão descritos a seguir. O primeiro se caracteriza por um táxon (tamanho) maior, ou seja, a morfoestrutura básica, como por exemplo, uma bacia sedimentar.

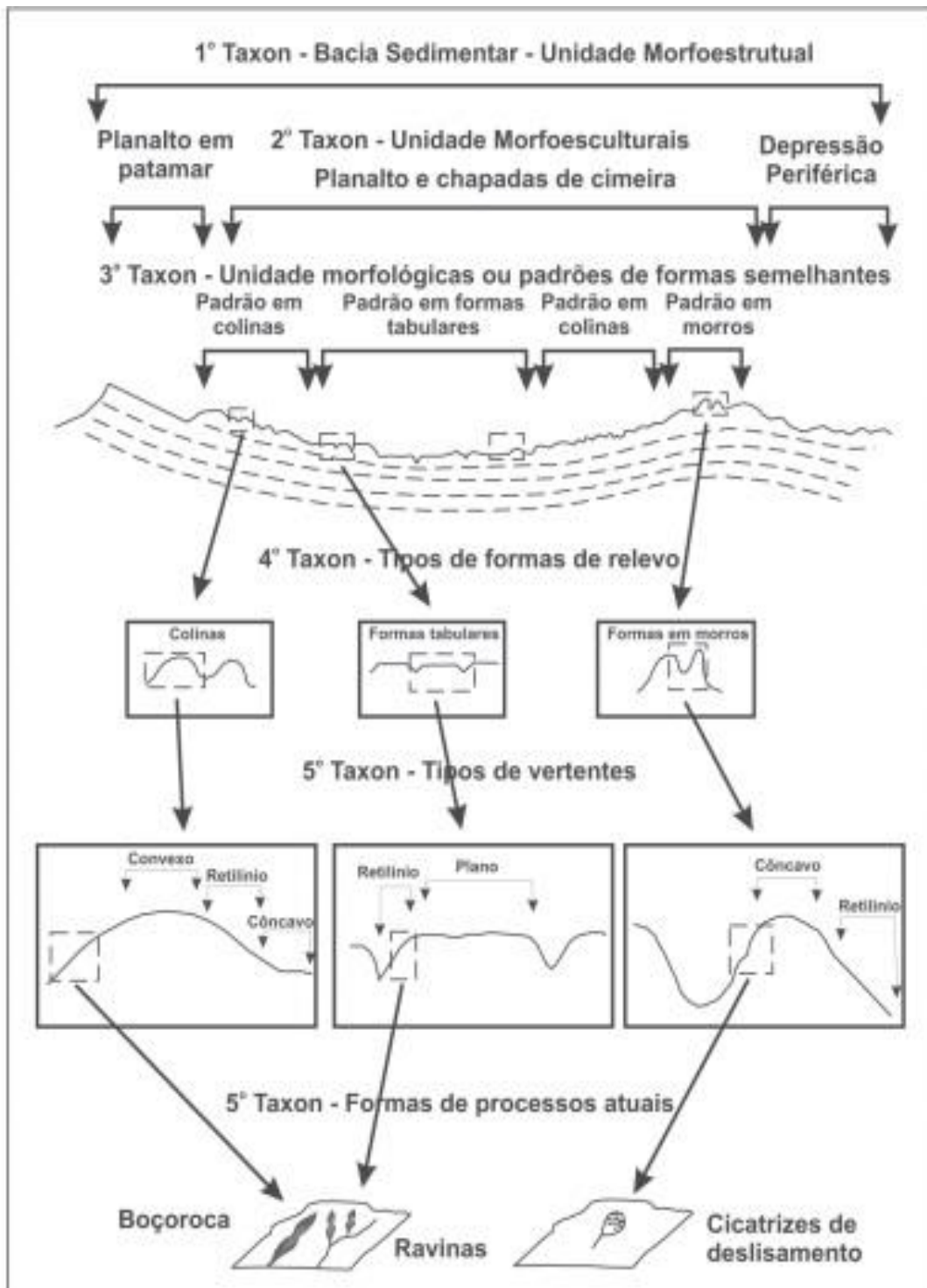
O segundo, definido por um táxon menor, constitui as unidades morfoesculturais, geradas pela ação climática ao longo do tempo geológico, dentro da morfoestrutura como, por exemplo, depressões periféricas, planaltos, chapadas, entre outros. O terceiro táxon refere-se às unidades morfológicas ou padrões de tipo de relevo, onde os processos morfoclimáticos atuais começam a ser mais facilmente notados. São conjuntos de formas menores do relevo que apresentam distinções de aparência entre si em função do índice de dissecação do relevo, bem como o formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão existente.

A forma de relevo individualizada dentro de cada unidade morfológica corresponde ao quarto táxon na ordem decrescente, isto é, os tipos de formas de relevo. As formas desta categoria podem ser de agradação ou de denudação. O quinto táxon, tipos de vertentes, corresponde às vertentes ou setores das vertentes pertencentes a cada uma das formas individualizadas do relevo. O sexto táxon corresponde às formas de processos atuais, ou seja, às formas produzidas pelos processos erosivos ou por depósitos atuais, como as voçorocas, as ravinas, as cicatrizes de deslizamentos e os assoreamentos, dentre outros. No entanto, aqui, em razão da escala não se chegou até este último táxon.

Ross (1992) ressaltou ainda que tal proposição se sustenta fundamentalmente no aspecto fisionômico, ou seja, no formato das formas de relevo de diferentes tamanhos, frisando que o aspecto fisionômico é reflexo de determinada influência de ordem genética e, ao mesmo tempo, indicador de uma determinada idade. A classificação taxonômica de Ross está descrita na próxima figura.

O procedimento técnico operacional básico da proposta de Ross (1992) é a identificação visual dos diversos padrões que são definidos pelos aspectos fisionômicos da rugosidade topográfica ou das diferentes intensidades dos padrões de dissecação do relevo.





**Figura 3:** Classificação Taxonômica do Relevo proposta por Ross (1992).  
**Fonte:** Ross (1992).

A metodologia de Ross (1990, 1992, 1994) segue o uso da escala têmporo-espacial, e se encaixa para a escala de análise desta área de estudo, que corresponde a um nível de semi-detilhe (ou meso escala) em torno de 1:50.000. Este autor propõe a classificação do relevo baseada em 6 unidades taxonômicas, descritas a seguir:



*1º táxon:* Unidades Morfoestruturais - correspondem às macroestruturas. Referem-se aos tipos genéticos de agrupamentos de litologia e seus arranjos estruturais que determinam as formas de relevo.

*2º táxon:* Unidades Morfoesculturais – correspondem aos compartimentos e subcompartimentos do relevo pertencentes a uma determinada morfoestrutura e posicionados em diferentes níveis topográficos. Apresentam conjuntos de formas de relevo que guardam as mesmas características genéticas de idades e de semelhança dos padrões do modelado.

*3º táxon:* Modelado – corresponde ao agrupamento de formas de agradação (relevos de acumulação) e formas de denudação (relevos de dissecação), representados pelas letras A e D, respectivamente. Estas formas são distinguidas pelas diferenças da rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, bem como pelo formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão denudacional ou agradacional.

*4º táxon:* Conjunto de Formas Semelhantes – correspondentes às tipologias do modelado. Formas aguçadas (a) convexas (c), tabulares (t), e planas (p) nos relevos de denudação, e nos relevos de acumulação, as planícies fluviais (pf). O quadro a seguir representa bem a classificação e nomenclatura para este táxon.

*5º táxon:* Dimensão de Formas – corresponde ao tamanho médio dos interflúvios e grau de entalhamento dos canais, representando por uma combinação de dois números, conforme tabela “Índice de Dissecação”. O quadro a seguir representa bem a classificação e nomenclatura para este táxon.

*6º táxon:* Formas Lineares do Relevo – representadas por símbolos gráficos lineares de diversos tipos em função da forma e gênese. Referem-se às formas menores resultantes da ação dos processos erosivos atuais.

A metodologia proposta por Nunes et al. (1994) tem como base na ordenação dos fatos geomorfológicos mapeados em uma taxonomia que os hierarquiza e que



deve estar aferida a uma determinada escala cartográfica. Os agrupamentos em tipos de modelados permitem a identificação de unidades geomorfológicas, assim como os agrupamentos dessas unidades constituem as regiões geomorfológicas, e, dos agrupamentos das regiões geomorfológicas, surgem os grandes domínios morfoestruturais.

A caracterização dos domínios morfoestruturais, segundo Nunes et al. (1994), está relacionada à causa dos fatos geomorfológicos derivados de aspectos amplos da geologia como os elementos geotectônicos, os grandes arranjos estruturais e a predominância de uma litologia definida. Esses fatores, em conjunto, geram arranjos regionais de relevos com formas variadas, mas que guardam relações de causa entre si. Esse táxon apresenta características geológicas prevalecentes, tais como direções estruturais identificadas no alinhamento geral do relevo ou no controle da drenagem principal. São exemplos: grandes cadeias dobradas, antigas faixas de dobramentos, grandes bacias sedimentares com dobramentos, maciços intrusivos e grandes derrames efusivos. As regiões geomorfológicas se caracterizam por uma compartimentação reconhecida regionalmente, ligada a fatores climáticos atuais ou passados. Assim, podem existir mapeamentos geomorfológicos baseados na morfoclimatologia, associando processos geradores a formas resultantes.

Segundo Argento (1995), as regiões geomorfológicas e os domínios morfoestruturais atendem a uma escala regional com base operacional que objetiva fornecer informações condizentes com este tipo de mapeamento. Assim, é impossível utilizar tais mapas para subsidiar cenários ambientais em qualquer tipo de planejamento, uma vez que apresentam baixo grau de resolução tanto no nível cartográfico, quanto no nível taxonômico. De acordo com Argento (1995), os mapeamentos temáticos identificadores de domínios morfoestruturais e regiões geomorfológicas são condizentes com escalas iguais ou menores que 1:100.000 e atendem a produtos voltados ao planejamento regional ou a trabalhos de macrozoneamentos, não oferecendo, portanto, informações que atendam a objetivos de meso ou microescalas de detalhamento, como projetos de nível municipal ou local.

O terceiro táxon se refere às unidades geomorfológicas ou sistemas de relevo. Uma unidade geomorfológica caracteriza-se por apresentar um arranjo de formas fisionomicamente semelhantes em seus tipos de modelado e cada uma delas apresenta a predominância de determinados tipos de modelados e de processos





originários. A semelhança resulta dos processos da geomorfogênese e dos fatores paleoclimáticos e/ou por outros relacionados à natureza dos domínios morfoestruturais, principalmente aqueles que dizem respeito ao comportamento da drenagem, seus padrões e anomalias, uma vez que revelam as relações entre os ambientes climáticos atuais ou passados e as condicionantes litológicas e tectônicas (NUNES et al. 1994). Para o planejamento municipal, o mapeamento deve estar vinculado aos tipos de modelado (quarto táxon). As formas do relevo para o 4º Taxon, segundo a metodologia de Ross (1992) estão especificados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Quadro síntese com a nomenclatura das formas de relevo (4º táxon).

FORMAS DE RELEVO (PADRÕES DE FORMAS SEMELHANTES)	
<b>D – Denudação (dissecação)</b>	
Da – Formas com topos Aguçados	De – Formas de Escarpas
Dc – Formas com topos Convexos	Dv – Formas de Vertentes
Dt – Formas com topos Tabulares	Ddv – Formas de Vales (marcas de paleo-drenagem)
Dp – Formas de superfícies Planas	
<b>A – Acumulação (deposição)</b>	
Apf – Formas de Planície Fluvial	

**Fonte:** Adaptado de Ross (1992).

Os modelados constituem-se de agrupamentos de formas de relevo que apresentam semelhança geométrica em função de uma gênese comum e da generalização de processos morfogenéticos atuantes. Quatro tipos de modelados devem ser identificados: os de acumulação, de aplainamento, de dissecação e de dissolução. Dessa forma, são priorizados os processos geradores ou os transformadores das formas de relevo. Pode-se identificar ainda uma quinta ordem que se caracteriza pelo fato de que, por sua dimensão espacial, devem ser representados por símbolos lineares ou pontuais. As formações superficiais e a morfodinâmica, pela complexidade e dimensões em que são tratadas, aparecem como símbolos de ocorrência, em nível de relatório (NUNES et al., 1994). As formas do relevo para o 5º Taxon, segundo a metodologia de Ross (1992) estão especificados na Tabela 4.



**Tabela 4:** Quadro síntese com a matriz de dissecação do relevo (5º táxon).

DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA (CLASSES)	MUITO GRANDE (1)	GRANDE (2)	MÉDIA (3)	PEQUENA (4)	MUITO PEQUENA (5)
----- GRAUS DE ENTALHAMENTO DO VALE (CLASSES)	> 1500	1500 A 700	700 A 300	300 A 100	<100 M
Muito Fraco (1) (< de 10 m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (10 a 20 m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (20 a 40 m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (40 a 80 m)	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) (> 80 m)	51	52	53	54	55

**Fonte:** Adaptado de Ross (1992).

O resultado acerca da classificação destes táxons foi com bases em produtos gerados ao longo da pesquisa, em que se usou como guias o mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte e estudos geomorfológicos já realizados para a classificação do 1º e 2º táxons. A identificação do 3º baseou-se nos modelados do RadamBrasil (1981), mas também na fotointerpretação das imagens de satélite, bem como no trabalho de verificação em campo. Para o 4º, as imagens do Landsat 8 e as imagens de radar do Topodata (relevo sombreado) possibilitaram a identificação visual dos diversos padrões que são definidos pelos aspectos fisionômicos da rugosidade topográfica ou da diferenciação de intensidades nos padrões de dissecação do relevo observados também através das curvas de nível. Já o 5º táxon foi uma inferência realizada a partir do software Global Mapper, em que se usou a ferramenta de perfil topográfico que disponibilizada a altura e a largura do entalhe de dissecação do relevo, permitindo assim classificar conforme o quadro síntese da matriz de dissecação do relevo, de acordo como realizou Moura Oliveira (2010).



## **4 – CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO SANTANA**

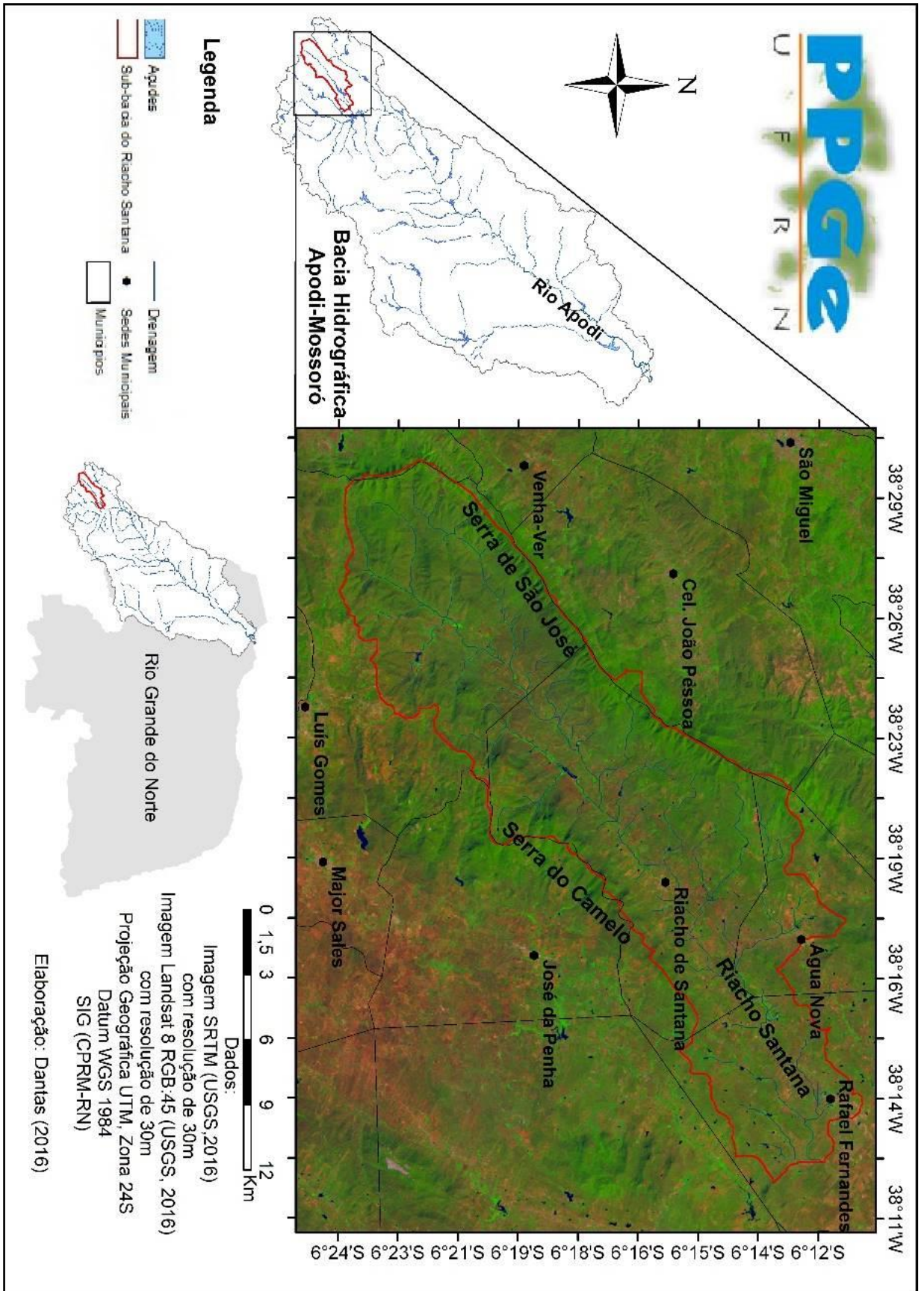
Neste capítulo são abordados os componentes naturais da área de estudo de maneira setorizada, em que estes estão agrupados conforme as inter-relações que demonstram no quadro paisagístico local. Deste modo, são expostos individualmente os aspectos climáticos, geológicos, os tipos de solos, de vegetação e os aspectos geomorfológicos.

### **4.1 Localização**

A área de estudo trata-se da sub-bacia Riacho Santana e está localizada na porção Sudoeste com área total correspondente a 286Km<sup>2</sup> (COSTA, 2015), no Estado do Rio Grande do Norte (RN) apresentando uma área de 53.811,126 km<sup>2</sup>, com uma população total de 3.168.027, entre as coordenadas de 4° 49' 54" S, 6° 58' e 38° 35' 12" W e 34° 58' 07" W e situada no Nordeste Brasileiro. O RN é limitado ao norte e oeste pelo Oceano Atlântico, ao sul pelo Estado da Paraíba e a oeste tem como limite o Estado do Ceará. Fisiograficamente, o mesmo está dividido em 7 zonas: Zona do Litoral, do Agreste, Centro Norte, Salineira, Seridó, Chapada do Apodi e a Zona Serrana, que onde está localizado os municípios que compreende a sub-bacia riacho Santana, que são Rafael Fernandes, Água Nova e Riacho de Santana (IBGE, 2010).

Esta sub-bacia Riacho Santana faz parte da Bacia Hidrográfica Apodi Mossoró, que está completamente inserida no estado do RN na microrregião do Oeste Potiguar e abrange uma área com cerca de 14.278 km<sup>2</sup>, que corresponde a 26,8% da área estimada do estado. Suas nascentes começam nas serras de São José (a oeste), em Poço Dantas (a sudoeste) e Camelo (a leste) e faz um trajeto de aproximadamente 210km até os municípios de Areia Branca e Grossos. Por estar inserida somente no referido estado, a mesma é considerada a maior bacia hidrográfica totalmente potiguar e temporário, que contém no total 618 açudes, totalizando um volume de 467.714.600 km<sup>3</sup> de água equivalentes a 27,4% do total de açudes e 10,7% dos volumes de água acumulados no Estado (COSTA, 2015; ROCHA et al., 2009).





**Figura 4:** Mapa de Localização da Sub-bacia do Riacho Santana.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor (Dantas, 2016)





A sub-bacia está “inserida em uma região de predomínio da semiaridez, o que lhe confere uma dinâmica natural diferenciada, esta contempla variáveis hidro geográficas e ambientais desse geossistema” (COSTA et al., 2014, p. 28). Em termos de hierarquia fluvial, o riacho Santana é caracterizado como “um afluente de quinta ordem do rio Apodi-Mossoró. A mesma possui seu alto e médio curso dispostos em um vale encaixado com altitudes que variam entre 200 e 850 m e prossegue em seu baixo curso até a barragem Pau dos Ferros” (COSTA, 2015, p. 20). Neste sentido, a sub-bacia pode ser vista da seguinte forma: Curso superior – compreendendo a área de nascente do município de Luís Gomes (cabeceira do rio) em uma altitude em torno de 700 metros, se estendendo até a barragem de Santa Cruz e Curso médio – iniciando a jusante da represa de Santa Cruz. O curso superior é considerado de caráter temporário e o médio é considerado de caráter permanente (OLIVEIRA JÚNIOR, 2009). Com isso, faz-se necessário uma explanação das características físicas que compõem a sub-bacia riacho Santana para um melhor entendimento desta área de estudo, sua identificação e a composição de seus principais elementos.

## **4.2 Características físico-ambientais**

### **4.2.1 Clima**

“As condições climáticas e os aspectos hidrológicos exercem grande influência na dinâmica ambiental e socioeconômica das regiões semiáridas” (COSTA, 2015). Esses aspectos que diferenciam o clima do Nordeste das demais outras regiões brasileiras estão relacionadas às altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, elevadas taxas de evaporação, altos índices de insolação e uma acentuada variabilidade da precipitação. Para Meneghetti e Ferreira (2009, p. 1685) “a precipitação pode ser considerada a principal variável metodológica presente no Nordeste, com um regime de chuvas não uniforme que possui uma variação interanual e implica na quantidade de precipitação na região”. O nordeste brasileiro é uma região extremamente marcada por diversos fatores que o diferenciam das demais áreas do país. Dentre estes fatores estão os climáticos, ambientais, demográficos e hídricos. Essa região é conhecida como o polígono das secas, onde apresenta cerca de 1.134 municípios que se enquadra neste fator.

As temperaturas são elevadas e geralmente superiores a 25° C e a pluviosidade



é baixa, em torno de 500 mm anuais, que além de escassas são irregulares. De acordo com a classificação de Köppen, o tipo climático é BSh que é característico da região nordeste, quente e seco, que inclusive pode ser bastante prolongado durante anos com poucas ocorrências de chuvas (TORRES, 2011). Mas no que se refere aos extremos da bacia, na parte sudoeste, que corresponde à sua nascente, ocorre o tipo AW, caracterizado por um clima tropical chuvoso, nas demais, é caracterizado pelo clima quente e semiárido. A precipitação está intimamente ligada à qualidade da estação chuvosa, ou seja, quando a mesma ocorre de forma a favorecer os parâmetros considerados normais ou até mesmo acima da média, o inverno é intenso, mas quando ocorre o inverso, ocasiona a seca, que a precipitação ocorre abaixo da média. (ARAÚJO, 2013)

São diversos os fatores que influenciam esse tipo de clima na região, desde o deslocamento no inverno, as áreas de alta pressão para a região como dispersora de vento, ocorrendo a dificuldade da chegada da umidade e os tipos de rochas impermeáveis e rasas, que não fica acúmulo de água no solo suficiente para o fornecimento de umidade ao sistema. Em virtude do aquecimento entre continentes e oceanos, ocorrem diferenças de temperatura e estas sofrem influência do relevo, tendo em vista que o mesmo atua como vertente que recebe os ventos úmidos (vertente barlavento) e na medida em que os ventos descem vertentes abaixo, eles sofrem aquecimento em virtude da diferença do ar (sotavento). E a hidrologia regional do nordeste seco é intimamente e totalmente dependente do ritmo climático sazonal, dominante no espaço fisiográfico dos sertões (ARAÚJO, 2013; TORRES e MACHADO, 2005)

Essas regiões sempre sofreram com os baixos índices pluviométricos, onde pode ser encontrado registros desde a época da colonização portuguesa. A estiagem mais marcante registrada na história foi entre os anos de 1979 e 1983 (SANTOS, et al. 2012). São várias as áreas críticas no que se refere a escassez de chuvas, são estados desde Bahia, Pernambuco, Paraíba e as regiões do Seridó RN. A precipitação pouco se chega a mais de 500 mm anuais. Essa situação é mais agravada devido ao relevo depressão e falta de massas de ar com grande quantidade de umidade. Por ter este clima quente e semiárido, ocorre índices pluviométricos com menos de 1000 mm de chuva anuais e com duração de cerca de três meses de chuvas espaciais (VELLOSO, et al., 2002). Ainda com relação a essas características, de acordo com



o IDEMA (2007,p.15).

*“Em cerca de 60% do Rio Grande do Norte predominam o clima semiárido, avançando até o Litoral Norte do Estado, caracterizado por sua baixa precipitação pluviométrica, em torno de 400 a 600 mm por ano, distribuídas as chuvas nos meses de janeiro a abril. São regiões sujeitas à seca e com maior influência dos ventos alísios secos do Nordeste, que incidem no Litoral Norte a se interiorizam pelo território potiguar”.*

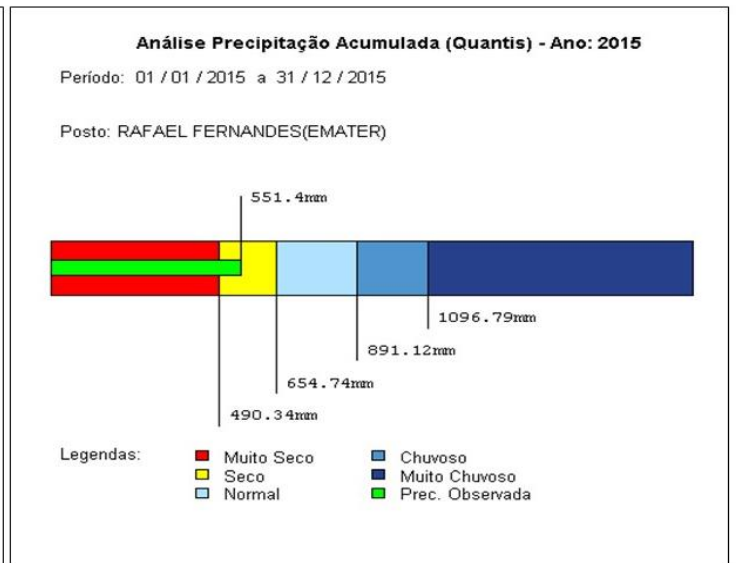
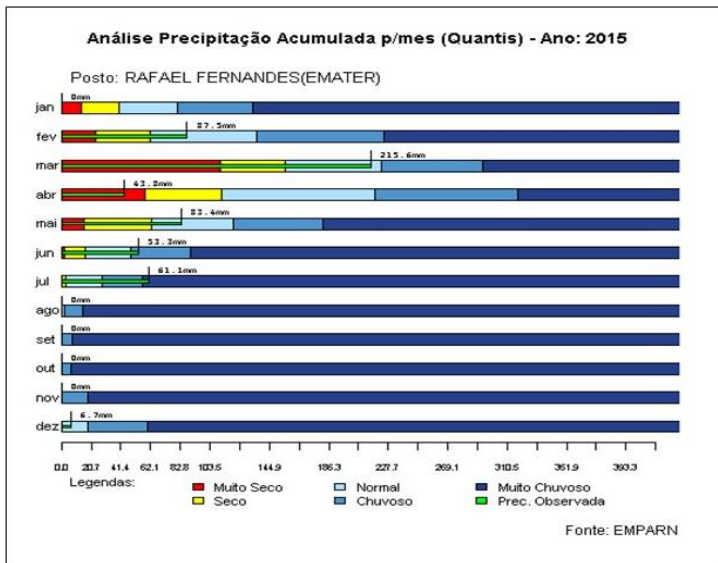
Dessa forma, o clima do RN é caracterizado como muito quente e úmido, com uma estação chuvosa se atrasando até o mês de outono, sua ocorrência é bastante irregular, isso faz com que ocasione um déficit hídrico anual. Neste contexto, o estado é bastante diversificado até mesmo em seu clima, onde predominam os climas úmidos, subúmido, subúmido seco, semiárido e semiárido rigorosos (FELIPE & CARVALHO, 2008). O clima úmido está localizado mais na parte do Litoral Oriental, com uma pluviosidade média acima de 1.200 mm anuais. Já o clima subúmido está mais na faixa do Litoral Oriental e em áreas serranas do interior do estado, com uma pluviosidade na média de 800 a 1.200 mm anuais. E o clima semiárido é bastante presente em boa parte do interior do RN e se estende ao Litoral Norte, a pluviosidade média de 400 a 600 mm anuais. Por fim, o clima árido está localizado na parte central do estado e sua pluviosidade é geralmente abaixo da média por ano, com 400 mm (IDEMA, 2007).

Neste sentido, os tipos de clima que predominam na sub-bacia é o BSWH, na classificação climática de *Kröppen*, que é caracterizado por um clima muito quente e semiárido, onde engloba as áreas dos municípios Riacho de Santana e Rafael Fernandes, com temperaturas elevadas de 36° máxima e mínima de 21°, chuvas mais escassas em períodos de fevereiro a junho e precipitação anual de 758 mm. Já na parte sudoeste, que se encontra na região dos maciços residuais onde estão dispostas a maior parte das nascentes, ocorre o tipo Aw caracterizado por um clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa se adiantando para o outono, com temperatura máxima de 23° e mínima 15° e precipitação de 950 mm anuais (SEMARH, 2012; CPRM, 2005)

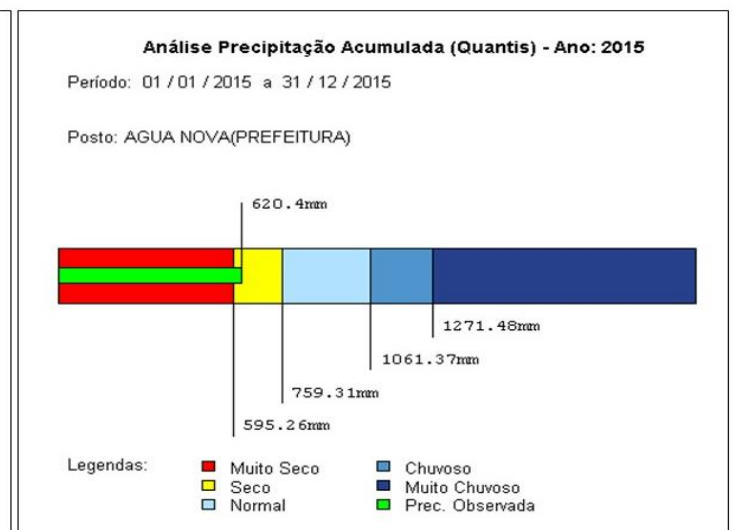
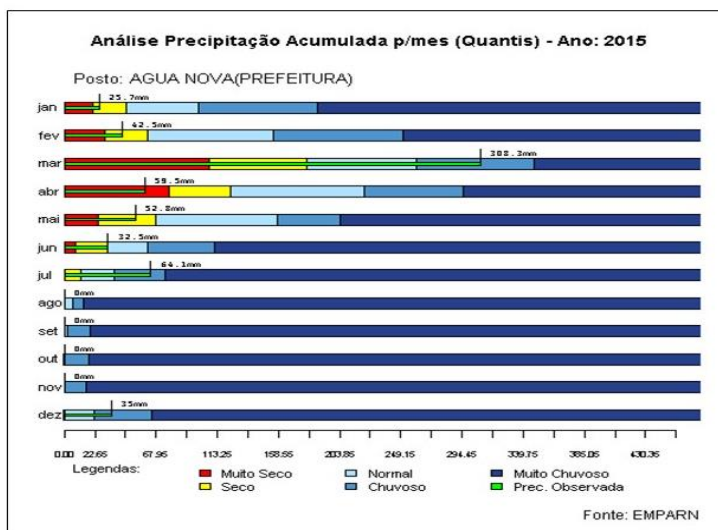
No que se refere as precipitações mensais e total anual de 2015, os valores dos gráficos abaixo (Fig. 05, 06 e 07) apresentaram os dados dos municípios que abrange a sub-bacia e mostra que esses municípios têm passado por períodos mais secos em algumas épocas, em outras com mais intensidade de chuvas e diante das variações apresentadas, o padrão médio dos índices de chuva na sub-bacia neste ano de 2015



é de 400 a 600 mm.



**Figura 5:** Gráfico acumulativo de precipitação mensal e anual do município Rafael Fernandes.  
**Fonte:** EMPARN

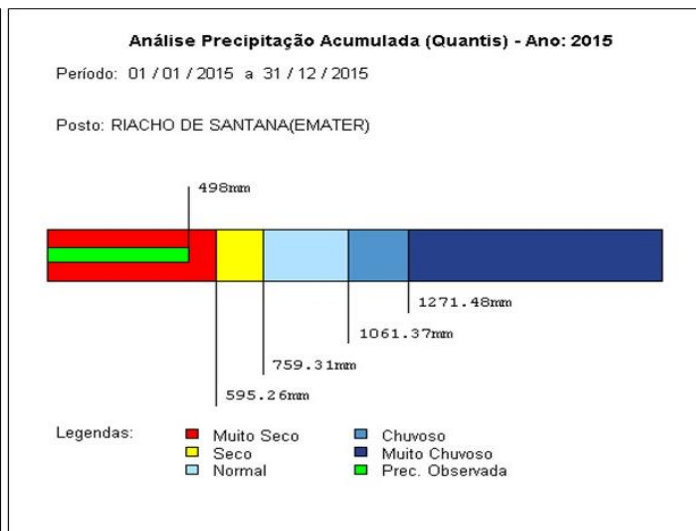
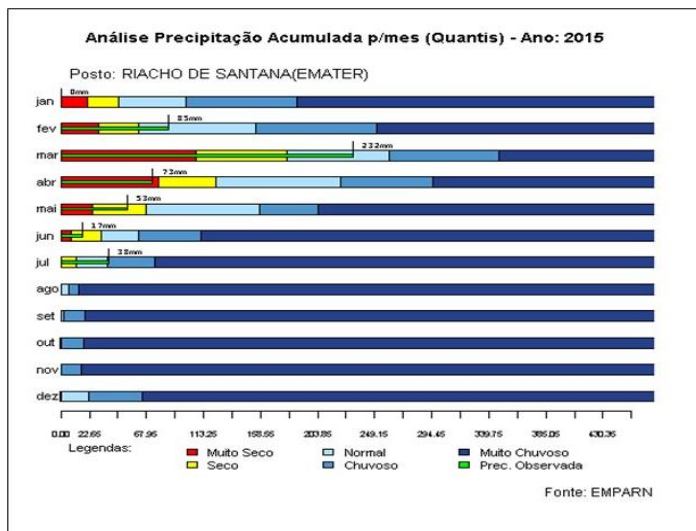


**Figura 6:** Gráfico acumulativo de precipitação mensal e anual do município Água Nova.  
**Fonte:** EMPARN

Mesmo com um padrão de chuvas de 800 mm, em 2015 esses índices caíram de forma significativa, o que mostra ainda mais essa passagem de déficit de chuvas, e a tendência é prosseguir nestes valores, devido aos períodos de secas que vem ocorrendo em todo o Nordeste.







**Figura 7:** Gráfico acumulativo de precipitação mensal e anual do município Riacho de Santana.  
**Fonte:** EMPARN

Embora a média de chuvas na sub-bacia seja em torno de 700 mm, de acordo com os valores apresentados nos gráficos, o município com maior índice de chuva foi Água Nova com 621 mm, em seguida Rafael Fernandes no setor leste teve um acumulativo de 551 mm, já o município Riacho de Santana, foi abaixo da média com 498 mm. Com isso, somente em Água Nova houve uma ocorrência maior de acúmulo de chuvas, um valor mais próximo da normalidade esperada sob a sub-bacia.

#### 4.2.2 Vegetação

A caatinga (em tupi) ou Seridó (em cariri) significa mata branca/ esbranquiçada, que compõem o tipo de vegetação do nordeste semiárido. É uma vegetação composta por espécies xerófilas e caducifólias, de porte pequeno, com estratificação arbórea arbustiva, espinhenta, lenhosa. O termo branco dá-se pelo fato de em épocas de seca a vegetação fica esbranquiçada devido à perda de suas folhas e ficam somente os troncos brilhosos com essa coloração cinza/branco. É chamada regionalmente de Caatinga também pelo fato de estar inserida em terras baixas do complexo cristalino (ANDRADE-LIMA, 1981; RODAL, 2008).

Possui uma grande biodiversidade, com cerca de 932 espécies de plantas, das quais 380 delas são endêmicas. A caatinga engloba parte dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, parte do Norte de Minas Gerais e Rio Grande do Norte, ocupando assim um total de 70% do território do



Nordeste e 11% do território brasileiro (IDEMA, 2007). Suas variações são bastante acentuadas, não somente de um lugar para outro, como também num mesmo local, seguindo as condições climáticas, oferecendo esses contrastes na vegetação entre as épocas secas e chuvosas na região. Essa diversidade da flora e da fisionomia da cobertura vegetal decorre da umidade, um no sentido Norte-Sul, que se manifesta em uma diminuição das precipitações e outra Oeste-Leste, que se expressa com um aumento do efeito da continentalidade (RODAL *et al.*, 2008).

Possuindo características próprias e variadas, a cobertura em grande parte é determinada pelo clima, relevo e embasamento geológico (ANDRADE-LIMA, 1981). Nessa vegetação, se destaca as formações lenhosas de baixo e médio porte e com uma grande representatividade de espécies xerófilas e decíduas, tendo como tipo predominante a savana-estépica gramíneo-lenhosa, desde vegetação mais densa em certas áreas e outras mais rasteiras, sendo bastante tolerantes ao déficit hídrico.

*“A Caatinga arbórea densa pode ser caracterizada pelo predomínio de árvores altas, de porte mais elevado; a Caatinga arbustiva arbórea densa, pelo predomínio de árvores de porte mais baixo, mas com a presença, por vezes frequente, de árvores de maior porte; a Caatinga arbustiva densa, pelo predomínio de árvores com porte mais baixo; e o solo exposto, que se caracteriza como sendo a classe com alto grau de degradação, por vezes, associado com a presença de algumas árvores de maior ou menor porte” (NETO, 2013, p.72).”*

A vegetação da caatinga tem uma particularidade exuberante, onde em poucos dias de chuvas, a paisagem “renasce” inteiramente, passando das tonalidades cinza para amarela e verde. Algumas plantas armazenam água em suas raízes por muito tempo, outras tem raízes mais superficiais e não retém tanta água por um período significativo, embora captem água mais facilmente. As plantas mais representativas da Caatinga são a jurema preta, xique-xique, juazeiro, faveleiro, facheiro, mandacaru, marmeleiro, pau-branco, aroeira, angico e umburana. No Rio Grande do Norte os tipos de vegetação que podem ser encontradas são a Caatinga e a Mata Atlântica em algumas áreas da faixa litorânea ou em regiões de altitude.

No que se refere a vegetação que predomina na sub-bacia riacho Santana, nas áreas marginais do curso da mesma, ocorre a vegetação de várzea, ocupando áreas de 500 m ao redor do riacho e as espécies da caatinga são de porte mais baixo. Ocorre em alguns pontos a vegetação de mata seca com agravantes de atividades



antrópicas. De acordo com o levantamento de Costa (2015), as principais ocorrências de espécies da caatinga no entorno da sub-bacia são: Aroeira (*Astronium urundeuva*), Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*). Por sua vez, na vertente leste, predominam algumas espécies de porte mais baixo como: Caatingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), Mufumbo (*Combretum leprosum*), Marmeleiro (*Cydonia oblonga*), Mororó (*Bauhinia macrostachya*) e Jurema (*Mimosa tenuiflora*). Por fim, na vertente Oeste, estas mesmas espécies se fazem presente, no entanto, de forma mais esparsa. Ver Figura 8.



**Figura 8:** Diferentes aspectos da vegetação da sub-bacia do Riacho Santana. Na imagem A tem as áreas de fundos de vales com vegetação rasteira e de maior porte. B, C e D são nas vertentes e nos altos (relevo ondulado) com espécies da Caatinga de médio porte.

**Fonte:** Acervo do autor

Por se tratar de elevações do alto e médio curso, ocorre essas diferenciações vegetacional, que vão desde vegetação mais densa há mais ralas. Já no tocante a mata ciliar no entorno do curso da sub-bacia, não há uma forte predominância, e quando ocorre, é bastante esparsa, somente com áreas mais densa nas áreas do alto e baixo curso. Com relação a sua vegetação primitiva, a mesma vem sendo retirada e usada de forma bastante intensa com atividades de exploração madeireira,



atividades agropecuária e extrativismo vegetal, com isso, ficaram poucos remanescentes dessa composição original. Ainda no que se refere ao quadro vegetacional, o aspecto vegetacional da sub-bacia se encontra com um grau elevado de degradação ambiental as práticas já mencionadas acima, pois essas áreas é onde há maior predomínio de área urbana e rurais instaladas e as áreas mais afetadas por essas práticas são no médio e baixo curso da sub-bacia (COSTA, 2015; COSTA, 2014 SEMARH, 2012).

#### 4.2.3 Solos

A região do Nordeste do Brasil devido a sua extensa diversidade de climas, formações vegetais, tipos de rochas e conformações do relevo, o mesmo apresenta uma grande diversidade de ambientes e, conseqüentemente, de solos e de acordo com a EMBRAPA (2014, p.01), esses solos:

*“Apresentam feições morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas marcantes, o que lhes permitem ser subdivididos em classes relativamente homogêneas. A região do Nordeste, particularmente na região semiárida, com áreas de cristalino, bacias sedimentares e áreas de recobrimento do cristalino por sedimentos, não é fácil encontrar solos arenosos e profundos a pouca distância de solos argilosos e rasos”.*

Com isso, os tipos de solos que predominam no sertão nordestino são de duas faixas pedológicas: “O granito e o Grupo Barreiras. No Granito, encontra-se: Latossolos, Cambissolos e Argissolos. No Grupo Barreiras, têm-se a presença de Nossolos Litólicos, Gleissolos ou Argissolos Acinzentados e Latossolos Coesos, ou Argissolos Coesos ou Espodossolos”. Esses solos apresentam aptidão agrícola diversos, pois possuem diferentes composições devidos aos processos pedogenéticos que acarretaram a formação do grupo Barreiras e do Granito. Entretanto, na área referente a esse estudo, que é a sub-bacia riacho Santana, de acordo com o levantamento de Costa (2015), foram identificados cinco tipos principais de solos predominantes na área, que são: Argissolo vermelho/amarelo, Luvisolo, Neossolo Litólico, Planossolo Solódico, Neossolo flúvico e uma porção de associação entre Luvisolo – Neossolo litólico de acordo com a representação na fig. (9).

Ainda, de acordo com o levantamento aprofundado realizado por Costa (2015), essas são as classes de solos presente ao longo do percurso da Sub-bacia riacho





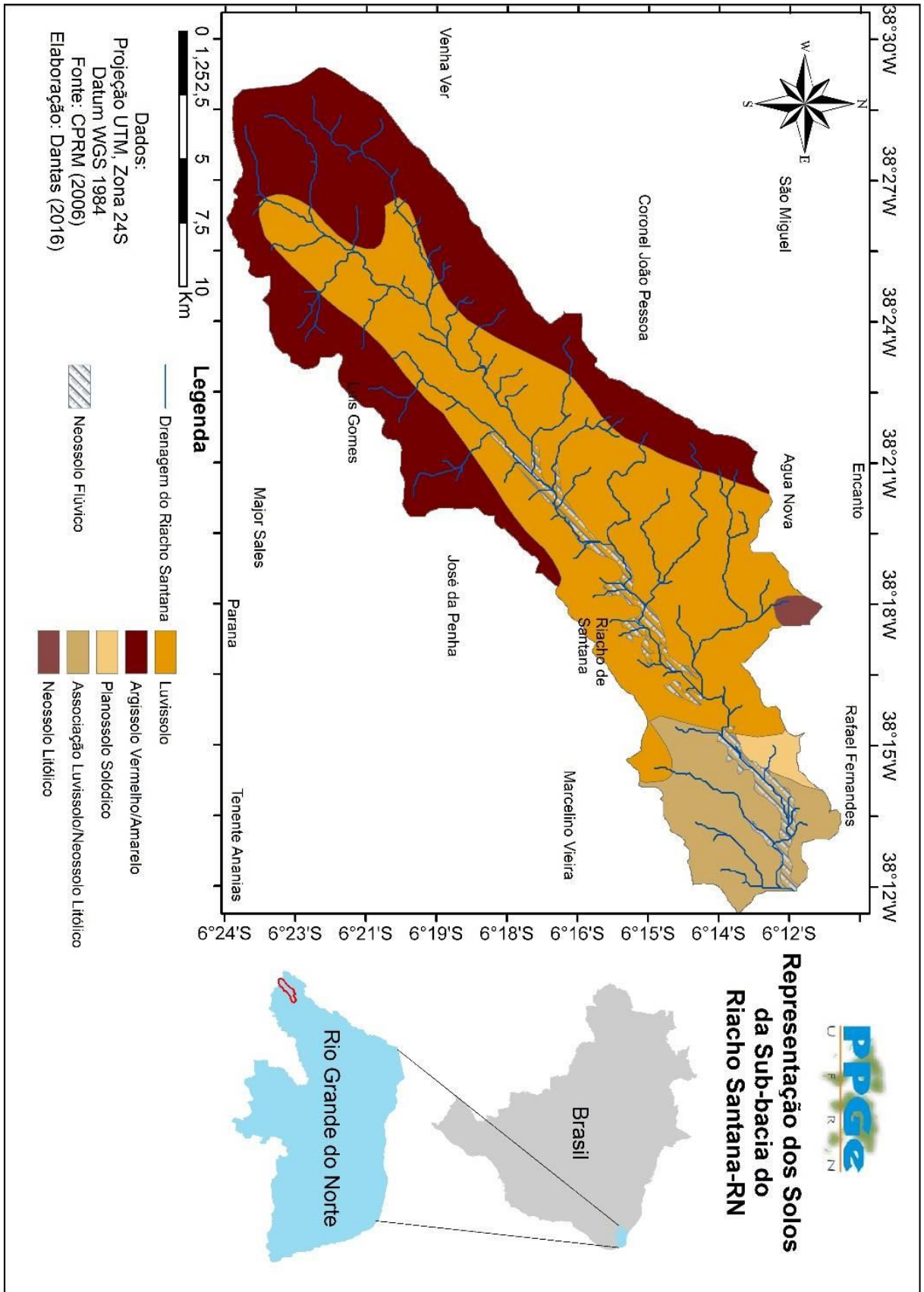
Santana e suas principais características.

**Argissolo:** vermelho/amarelo: são os grupos de solos com textura b, baixa atividade de argila e/ou alta saturação por bases baixa. Esse tipo de solo é bastante utilizado para agricultura intensiva, pastagem, silvicultura, pois apresenta uma boa capacidade de armazenamento de água (EMBRAPA, 1999; EMBRAPA, 2014). A distribuição do argissolo é mais encontrado em relevo mais elevados, entre 500 e 800 metros, ou seja, localizado mais a oeste, sudoeste, sul e sudeste da sub-bacia (COSTA, 2015).

**Luvissolo:** são solos um pouco raso, é mais encontrado em ambientes semiárido, que é rico em bases de argila de atividade alta. É caracterizado pelo horizonte bt. São solos bastante ricos em nutrientes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) e com variações ácidas a neutra. Utilizados para agricultura de sequeiro, pastagem e pecuária extensiva, pois possui limitações ao uso, contendo susceptibilidade à erosão, de consistência mais dura quando se está seco e bastante pegajoso quando úmido, também possui risco de salinização e de solonização (EMBRAPA, 1999; EMBRAPA, 2014). De acordo com Costa (2015), estes solos aparecem mais nos locais de relevo plano a suavemente ondulado e mais próximo a planície fluvial na área da sub-bacia.

**Neossolo Litólico:** em grande porção do baixo curso, correspondente a região nordeste da sub-bacia. Este solo contém uma fertilidade que varia de acordo com o seu material de origem e sua associação com outros tipos de solo, no caso da sub-bacia riacho Santana, a associação ocorre entre os solos Luvissolo e Neossolo, este processo forma um “horizonte superficial de composição mais cascalhenta, diferenciando, nesses locais, os aspectos de fertilidade e de porte da vegetação, sendo consequente mais drenado e suscetível à erosão em decorrência dos processos lineares” (COSTA, p.71, 2015).

**Planossolo Solódico:** esse grupo de solo minerais possuem horizonte B plânico subjacente a qualquer tipo de horizonte A que pode ou não apresentar também horizonte E. O mesmo é mais utilizado para pastagem e pecuária extensiva, pois possui drenagem restrita e alta susceptibilidade à erosão, apesar de seu potencial agrícola depender da sua espessura nos horizontes A + E e é muito utilizado para a



**Figura 9:** Representação dos Solos da Sub-bacia do Riacho Santana.

**Fonte:** Elaborado por Dantas (2016)

fabricação de objetos artesanais. No que se refere a área em que se encontra na



região da sub-bacia, o mesmo é mais encontrado nas partes planas e relevo ondulado, próximo a calha principal do riacho Santana e seus tributários, nas proximidades do médio curso (EMBRAPA, 1999; EMBRAPA, 2014; COSTA, 2015)

**Neossolo flúvico:** são solos derivados de sedimentos fluviais, com variação de textura e de teor de carbono orgânico em profundidade, com a sequência de horizontes A-2C1 – 3C2 – 4C3 – 5C4. Sua fertilidade é entre média e alta, que permite a mecanização agrícola e tem bom potencial para agricultura irrigada, no entanto, apresenta elevado risco de inundação, salinização e solonização, restrição a drenagem ou de uso agrícola devido à legislação ambiental. É utilizado também na preservação de mata ciliar nas margens dos rios. Na sub-bacia, o mesmo aparece na área do médio e baixo curso, acompanhando também o perfil longitudinal e de seus afluentes de segunda ordem (EMBRAPA, 2014; COSTA, 2015).

#### 4.2.4 Geologia

Antes de adentrar no contexto geológico da área de estudo é interessante destacar que a geologia do estado do Rio Grande do Norte pode ser genericamente definida em três grandes grupos de rochas, sendo elas: as rochas mais antigas representadas pelas unidades pré-cambrianas dispostas na porção centro meridional do estado; o grupo das unidades do Cretáceo representado pelas rochas sedimentares da Bacia Potiguar e vulcânicas associadas; e o grupo das rochas de idades mais recentes constituídas pelas coberturas sedimentares localizadas na porção setentrional do estado (AGELIM, 2006).

As unidades pré-cambrianas são definidas a partir dos seguintes domínios geológicos: a) Jaguaribeano, no extremo-oeste; b) Rio Piranhas Seridó e São José do Campestre, no centro-leste. Uma das características deste grupo rochoso é o de também ser intercalado por granitoides do magmatismo brasileiro, entre algumas outras unidades (AGELIM, 2006).

No que se refere à sub-bacia do Riacho Santana, há levantamento geológico realizado por Jardim de Sá et al. (1981) acerca do entorno da área de estudo que afirma que “[...] a área encontra-se inserida na província Borborema, compreendendo um complexo de rochas metamórficas indivisas do pré-cambriano, intrudidas por diversos corpos granitoides”. O Grupo Serra de São José trata-se uma unidade metavulcanossedimentar, Jardim de Sá et al. (1981). Essa formação geológica



representada por biotita-xistos, podendo ter a presença de muscovita. Destacam-se vários níveis/camadas de quartzitos, metaconglomerados, rochas calcissilicáticas, mármore, anfibólio e/ou biotita-paragnaisses.

A partir do mapeamento geológico do Rio Grande do Norte (CPRM, 2006), é possível identificar que a área de estudo se encontra inserida no Domínio Jaguaribeano, que representa uma unidade geológica de idade paleoproterozóica, constituída predominantemente por 55 litotipos do Complexo Jaguaretama, Grupo Serra de São José e ortognaisses da Suíte Serra do Deserto.

Este Complexo Jaguaretama é constituído por ortognaisses granodioríticos com restos de metassedimentos, e faz parte do embasamento cristalino. Já a formação Suíte denominada Serra do Deserto é formada por biotita, gnaisses e ortognaisses, que se encontram no sopé da vertente do setor Oeste (W). E, o Grupo Serra de São José é uma unidade metavulcanossedimentar que está representada litologicamente por biotita-xistos, em que pode haver muscovita, intercalados por vários níveis/camadas de quartzitos, metaconglomerados, rochas calcissilicáticas e mármore, como já mencionado. Este grupo faz parte das cristas alongadas de orientação sudoeste-nordeste que marcam a vertente da porção Oeste (W), que serão melhor detalhadas no próximo capítulo.

A figura a seguir (Figura 10) representa as unidades geológicas da sub-bacia do Riacho Santana. E, a outras unidades encontradas na área são as seguintes:

- Suíte Intrusiva Dona Inês: hornblenda e/ou biotita granitos, leucogranitos com granulação fina a média – (Neoproterozóico);
- Suíte Intrusiva Catingueira: granitos a quartzos sienitos, com biotita, aegirina-augita e anfibólio, de afinidade alcalina e peralcalina – (Paleoproterozóico);
- Formação Pendências: arenitos finos a grossos com raras intercalações de calcários e argilitos – (Mesozóico);
- Depósitos aluvionares: areias, cascalho e níveis de argila (Cenozóico).







#### 4.2.5 Tectônica Regional e Influência na Geomorfologia

Para se entender a evolução do relevo da sub-bacia do Riacho Santana, se faz necessário entender antes o contexto tectônico envolvido na sub-bacia, que se trata de uma estrutura de gráben e se encontra inserida dentro da morfoescultura de maciços residuais, na questão, o Maciço Pereiro, que teve sua evolução tectônica estudada por.

O ponto de partida é entender que o relevo desta área de estudo é influenciado pela tectônica regional, que se tornam expressas nas próprias feições do relevo provas da morfotectônica. Uma das morfoesculturas predominante é a dos Maciços Residuais, e que o principal destaque é o Maciço Pereiro (MP) que está inserida no entorno da geomorfologia local. Assim, pontos chaves para as interpretações acerca do relevo desta bacia, partiram dos estudos baseados na evolução morfotectônica do próprio Maciço Pereiro. No entanto, é interessante destacar que os estudos sobre morfotectônica e neotectônica com fins de explicação da história evolutiva do relevo no passado e presente são relativamente recentes, e muitas dos estudos de cunho geomorfológico sobre o relevo do Nordeste normalmente eram pautados em teorias como a de King para explicar processos de aplainamento do relevo, deixando um tanto de lado a tectônica. Os estudos que mostraram que a evolução do relevo do Nordeste vai muito além das teorias geomorfológicas são sobretudo os de (CLAUDINO E PEUVAST (2006), MAIA et al (2013), BEZERRA (2006), todos à luz da influência da tectônica/morfotectônica/neotectônica para os processos de formação do relevo.

Deve-se partir do princípio de que este setor de estudo se encontra exatamente entre duas zonas de cisalhamento limitando as escarpas do Maciço Pereiro, que são elas: ZCP (Zona de Cisalhamento Portalegre) em sua porção leste (E) e ZCJ (Zona de Cisalhamento Jaguaribe) em sua porção oeste (W). O Maciço Pereiro trata-se um conjunto de cristas residuais e vales incisos com orientações NE-SW no centro do grande anfiteatro da Borborema no Nordeste Setentrional, sendo classificado na literatura clássica geomorfológica como “Maciço Residual” (RADAMBRASIL, 1975<sup>a</sup> e 1975<sup>b</sup>). No entanto, Gurgel (2012) questiona esta terminologia, considerando conforme sua tese, que seria mais adequado atribuir que se trata de um maciço estrutural, e não residual, em razão da forte interferência tectônica comprovada em sua pesquisa.

Os trabalhos mais atuais afirmam que este maciço está situado entre duas



grandes zonas de cisalhamento, Portalegre e Jaguaribe, que demarcam o *trend* Cariri-Potiguar, e assim trata-se de uma região de intenso rifteamento durante o Cretáceo (MATOS, 1992); MEDEIROS et al., 2008), conforme se percebe no histórico de evolução do relevo através das feições da morfotectônica na tese de Gurgel (2012). Estas zonas de cisalhamento foram reativadas como falhas de direção NE-SQ no Cretáceo (MATOS, 1992) e no Cenozóico (BEZERRA e VITA\_FINZI, 2000).

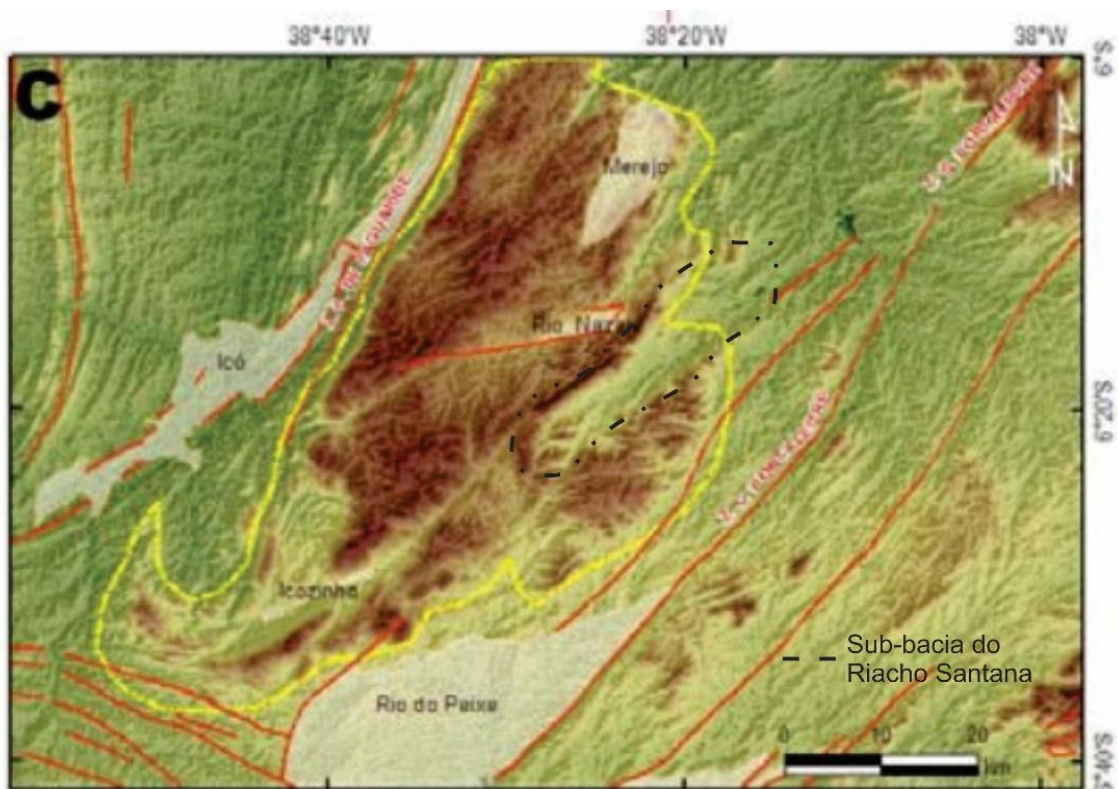
Nestes estudos até então realizados, são encontradas em campo evidências da influência tectônica regional. Soerguimentos e falhamentos são observados em arenitos cretáceos que se encontram alçados em relação a seu assoalho e as rochas do embasamento cristalino, indicam soerguimentos sucessivos com estabelecimento de novos níveis de base (GURGEL, 2012). Ainda, quando se analisa a geologia e o relevo do próprio Maciço Pereiro identifica-se o controle estrutural das escarpas que são definidas em vários estágios que de acordo com Gurgel (2012). São os seguintes: “o primeiro estágio é o de foliação milonítica, com as zonas de cisalhamento; o segundo é em regime rúptil, com a reativação destas zonas de cisalhamento, o terceiro é o falhamento da crosta mais recente, até mesmo no Quaternário”. Ainda, a referida autora afirma que o recuo das escarpas deste relevo marcadamente estrutural uma vez que à medida em que as escarpas regridem paralelamente à foliação milonítica, os falhamentos ocorrem paralelos a esta foliação. Isto faz com que sejam geradas quebras, que por sua vez produzem as zonas de fragilidade necessárias para a erosão atuar com a regressão lateral das escarpas.

A razão para esta abordagem sobre a tectônica regional é a de que conforme se observa na figura a seguir (Fig.11), a sub-bacia do Riacho Santana se encontra exatamente fazendo parte deste contexto geomorfológico do Maciço Pereiro, e a evolução deste será esclarecedora para a explicação do próprio relevo local.

#### **4.2.6 Questões Ambientais da Bacia**

A produção agrícola na região da bacia é feita ao redor das margens do riacho Santana, ação que tem contribuído para o desmatamento e a degradação do bioma local, principalmente por causa do uso de maquinário agrícola. A criação de gado também contribui para o desmatamento a medida que a vegetação local é retirada para produção de pasto.





**Figura 11:** Representação do Maciço do Pereiro com destaque para a sub-bacia do Riacho Santana

**Fonte:** Gurgel (2012)

O extrativismo exercido na região também tem sua parcela de contribuição no desmatamento. A atividade extrativista compreende a extração do angico, da aroeira e do pau d'arco, extraídos principalmente para produção de lenha e carvão. Essa extração é feita numa área inadequada e em grandes quantidades, fato que tem contribuído para redução gradativa dessas espécies arbustivas da caatinga, ao ponto de torná-las raras.

A execução de um mapeamento geomorfológico permitirá apontar as potencialidades e fragilidades do ambiente mapeado. O trabalho (DE OLIVEIRA et al., 2007) indica que o mapeamento geomorfológico feito por eles permitiu definir que áreas são mais propícias para o cultivo agrícola e quais áreas são indicadas para preservação ambiental (por possuírem mais nascentes por exemplo). Nesse contexto, o mapeamento geomorfológico na área de estudo permitiria auxiliar no planejamento de ações que minimizam os atuais problemas ambientais presentes nestas bacias.



### **4.3 Contexto Geomorfológico da sub-bacia do Riacho Santana**

Nesta seção será apresentado um breve relato sobre a história evolutiva das paisagens do Nordeste, seguido da caracterização da Geomorfologia do estado do RN mesmo que de forma genética.

#### **4.3.1 Breve história evolutiva das paisagens do Nordeste**

A bibliografia sobre a evolução da geomorfologia no Nordeste do Brasil tem como principal fonte os trabalhos que se baseiam na adaptação do modelado de King. Compõem esse conjunto de obras, os trabalhos de Ab' Saber e Bigarella (1961), Mabessoone e Castro (1975), entre outros autores. Esses trabalhos basearam-se na ocorrência de epirogenias pós-cretáceas, acompanhadas por fases de dissecação e pediplanação que são conduzidas por climas secos. Um ponto comum entre estes autores é reconhecimento da existência de várias superfícies escalonadas, resultantes de fases de aplainamento decorrentes de processos erosivos, dados a partir do soerguimento de um núcleo continental. Com base nesse contexto, as seqüências sedimentares do Mesozóico e do Cenozóico seriam o resultado de erosão decorrente do soerguimento, seguido de um rebaixamento do nível de base regional. As superfícies são: Gondwana (Cretáceo), Sulamericana (Paleógeno), Velhas (Neógeno), Paraguaçu (Quaternário).

A evolução das paisagens através da cronologia das formas topográficas foi discutida por Bigarella e Andrade (1965). Este trabalho aponta para os efeitos de fases semiáridas alternadas com fases úmidas. Nas fases secas, que está relacionada aos períodos glaciais e a níveis marinhos baixos, ocorreria a formação de pedimentos. Essa constatação surge da identificação de depósitos correlatos as fases de aplainamento, que atualmente estão submersos. Os processos de pediplanação ocorreriam nestas fases e estariam associados à retração das florestas e a exposição do solo, solo este que foi formado na fase úmida anterior. O regime de chuvas esporádicas promoveria então a erosão generalizada.

Estes trabalhos forneceram evidências que por muito tempo acreditou-se serem as únicas capazes de explicar a evolução histórica do relevo. Desta forma, atenta-se ao fato de que a tectônica tem papel primordial no processo de evolução do relevo, o que representa um fator fundamental de análise evolutiva, sobretudo em





áreas de tectônica recorrente como a fachada atlântica setentrional nordestina. E isto será a luz de algumas interpretações e análise explicativas para o relevo da sub-bacia do Riacho Santana.

Saadi e Torquato (1992) tem seus estudos baseados na evolução morfoestrutural do Nordeste brasileiro, onde se identificou que a partir de soerguimentos de origem poligênica, seriam desencadeados os processos de erosão linear. Esse processo originaria vertentes recuariam lateralmente ao serem submetidas à aridez, ao passo que manteriam a sua altimetria, interpretada como paleosuperfície. O papel da tectônica aqui seria, portanto, evidenciado no sentido de promover as variações dos níveis de base, induzindo assim à dissecação. Esse modelo baseia-se na interpretação de morfoestruturas como produtos de períodos alternantes de soerguimento (que resultaria na dissecação) e estabilização (que resultaria em superfícies de aplainamento regionais). Neste contexto, os terraços, as superfícies de aplainamento e os depósitos correlativos seriam fonte de dados essenciais para a análise geomorfológica.

#### **4.3.2 Evolução do Relevo do Rio Grande do Norte**

A análise da evolução do relevo norte rio-grandense pode ser feita a partir da influência da tectônica e do clima. Dessa forma, algumas unidades do relevo podem ter sua evolução condicionada mais por fatores externos, como os ventos, a umidade, a abrasão marinha, assim como fatores internos, como intrusões, falhas, zonas de cisalhamento, etc. A influência da tectônica na geomorfologia é evidenciada com base na identificação de uma série de relevos estruturais, relevos estes que resguardam nas suas formas eventos deformacionais dúcteis e rúpteis. Em termos evolutivos, esses eventos podem ser distinguidos da seguinte forma:

- Orogênese Brasileira, derivada da colagem tectônica brasileira/pan-africana de 600 Ma (BRITO NEVES et al., 2000), a qual foi seguida de um importante plutonismo granítico (ANGELIM, et al., 2006);
- Fragmentação do Megacontinente Gondwana resultando na separação Brasil – África (MATOS, 1992);
- Reativações tectônicas cenozoicas (BEZERRA e VITA-FINZI, 2000) que condicionam a evolução geomorfológica através das alterações dos níveis de



base induzindo a dissecação e agradação (MAIA e BEZERRA, 2013).

Essa sequência de eventos tectônicos são os principais responsáveis pelas linhas mestras do relevo que condicionam a evolução geomorfológica da atualidade. Os eventos aqui elencados resultaram em um conjunto de morfologias herdadas, sobretudo da orogenia brasileira e da tectônica cretácea.

As marcas dos processos erosivos em decorrência das zonas de cisalhamento dúcteis pré-cambrianas, formam a exumação de maciços cristalinos, descritos tradicionalmente como residuais, e questionados na bibliografia por Maia (2012) e Gurgel (2012). A reativação tectônica dessas zonas de cisalhamento segundo estes atores, afetam os maciços gerando seu soerguimento em alguns lugares, subsidência, formando bacias interiores. Nos ambientes sedimentares a repercussão dessas reativações pode ser constatada a partir da orientação da dissecação e da deposição quaternária. Dessa forma, a geomorfologia do Rio Grande do Norte é notoriamente condicionada pela disposição morfoestrutural (MAIA, 2012). Isto não ocorre, por exemplo, na planície costeira (geomorfologia regional -RN), no entanto as demais unidades apresentam um padrão de orientação de dissecação NE-SW, conforme a direção das zonas de cisalhamento dúcteis pré-cambrianas. Nas áreas dos Maciços e Depressões, a exumação das zonas de cisalhamento controla feições da morfologia, são responsáveis pela formação de vales e cristas de direção NE-SW., como encontrada na área de campo desta pesquisa. As estruturas de direção NE-SW possuem interferência no domínio dos planaltos e controlam a erosão fluvial, além de influenciarem a disposição das planícies, em razão da deposição dos sedimentos (MAIA, 2012).

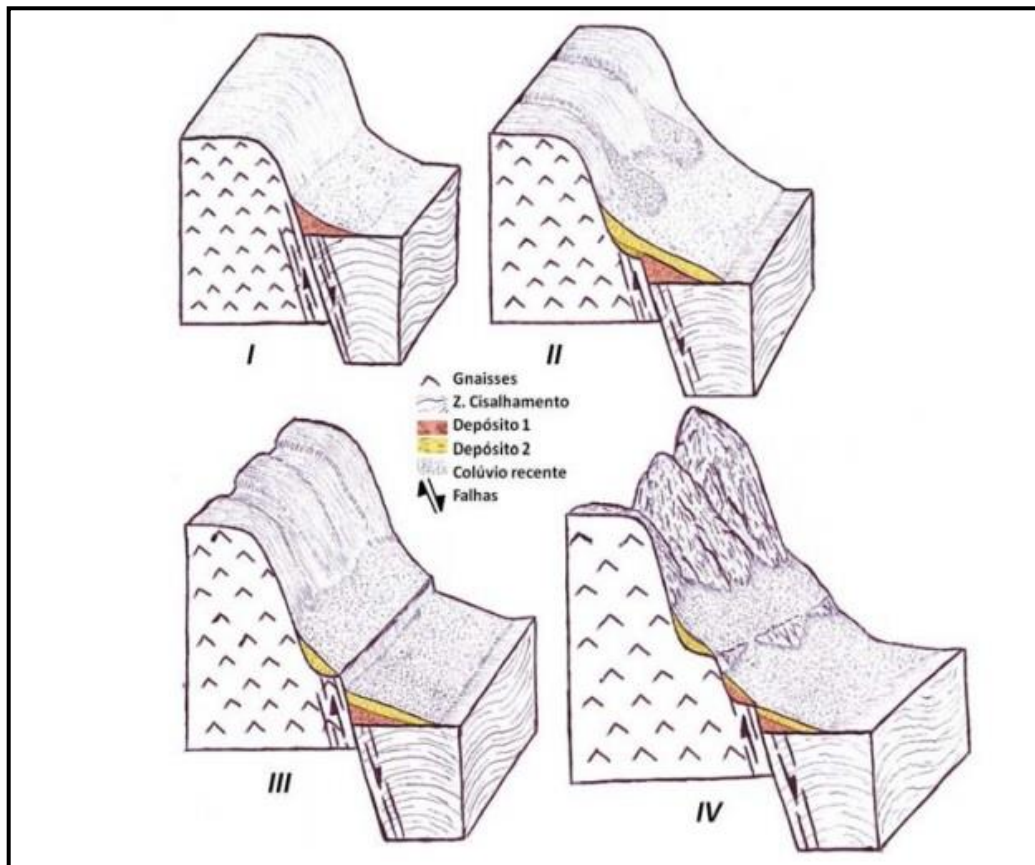
#### **4.3.3 Evolução do Relevo Regional/ Maciço Pereiro**

Para entender a evolução do Maciço Pereiro é preciso observar a Figura 12, abaixo. Nesta Figura, conforme representou Maia (2012) em seus estudos é possível constatar que: A sub-bacia do Riacho Santana está inserida dentro do relevo regional do Maciço do Pereiro. Desta forma, as explicações acerca da evolução do relevo da sub-bacia se fazem a luz deste relevo regional, sobretudo no entendimento da escarpa de falha predominante no Riacho Santana.

I- Primeiro soerguimento de falhamento normal por reativação frágil da zona de



- cisalhamento, com o depósito 1;
- II- Reativação da falha e consequente soerguimento, ao mesmo tempo que há uma drenagem incipiente ainda se instalando através de sulcos erosivos ou ravinamentos na escarpa que geram coluvionamento de fluxo derítico;
- III- Através de uma nova reativação forma-se um knick-point ou patamar de piedmont. O falhamento divide os depósitos 1 e 2 nos patamares criados pelos soerguimentos sucessivos;
- IV- Escarpa de falha herdada.



**Figura 12:** Modelo de evolução das escarpas do Maciço Pereiro.  
**Fonte:** Maia (2012)



## **5 – GERAÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS PARA ESTUDOS DO RELEVO**

### **5.1 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS**

Uma parte importante para os resultados desta pesquisa é a geração de produtos cartográficos geomorfológicos, como um suporte de dados a serem utilizados nos mais diversos estudos ambientais, tendo em vista que em muitas situações é comum se deparar com áreas que não dispõem de acervo bibliográfico ou até mesmo algum tipo de mapeamento, como o geomorfológico. Quando disponível, ou se encontram em escalas muito pequena, como as apresentadas pelos estudos do RadamBrasil (1981) no início da década de 80, ou então com a necessidade de atualização dos dados como mapeamentos executados pela Sudene. Esta produção de dados cartográficos torna-se otimizada através do uso das geotecnologias, seja por meio dos SIG (Sistema de Informação Geográfica), ou de ferramentas do Geoprocessamento, como os softwares utilizados para a obtenção de tais.

Neste contexto, são apresentados parâmetros da ciência geomorfológica, práticos de serem obtidos por Geoprocessamento, o que proporciona ao pesquisador uma facilidade para reconhecimento e interpretação das características físicas e fenômenos a serem pesquisados em determinado lugar. Ainda, é pertinente a questão do ganho de tempo com os mapeamentos, além do barateamento dos custos da pesquisa. No entanto, não se descarta a importância do entendimento teórico por parte do pesquisador, principalmente na interpretação dos fatos, associado a um bom trabalho de campo. Dito isto, são aqui apresentados 12 parâmetros (Declividade, Hipsometria, Drenagem, Tin, MDT, Fluxo Acumulado, Orientação do Fluxo, Curvas de Nível e Orientação das Vertentes), descritos conforme sua interpretação para o terreno, e finalidade.

#### **5.1.1 Modelo Digital de Terreno**

O Modelo Digital de Terreno (MDT), também chamado de modelo de elevação do terreno (conhecido em inglês por DEM - *Digital Elevation Model*) ou Modelo Numérico do Terreno (MNT) possui inúmeras aplicações na Geomorfologia, como por exemplo podemos citar a elaboração de mapas de concavidade e convexidade;



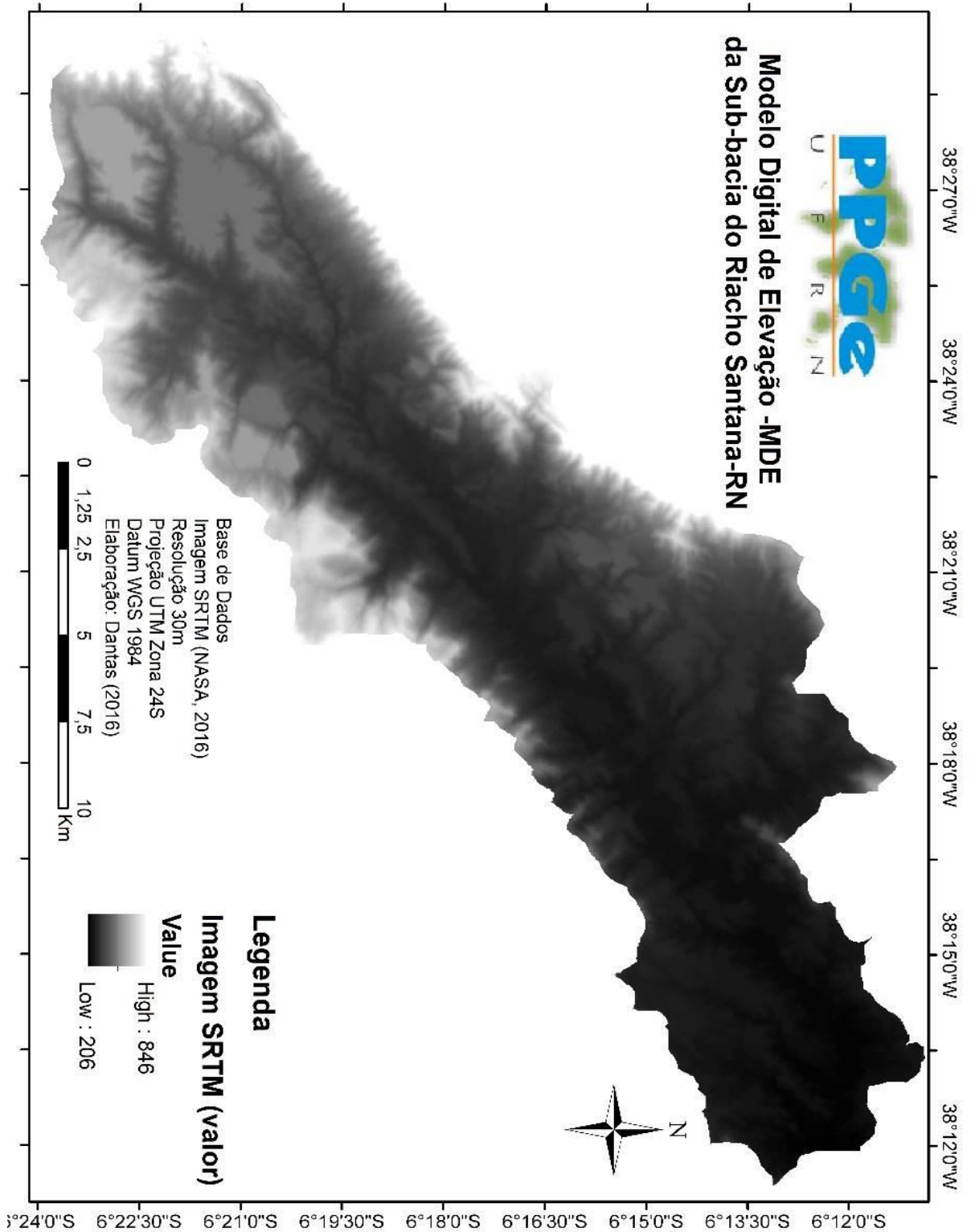


análise de rede hidrográfica por meio de delimitação automática, realização de animações para a visualização da área em diferentes ângulos além da possibilidade de perfis topográficos (CARVALHO E BAYER, 2008), conforme mostram os estudos de Felgueiras (1997), Carvalho & Latrubesse (2004).

Existem um conjunto de medidas que definem características geométricas do terreno em diferentes escalas, o que é conhecido como “parametrização do relevo”. Nele encontramos parâmetros básicos como: elevação, em que o gradiente topográfico demonstra a taxa de altitude com relação aos eixos X (linhas) e Y (colunas); ii) declividade, em que um ponto do terreno estabelecido por meio do ângulo entre o vetor normal a uma superfície e um na vertical no mesmo ponto; iii) orientação, formada por um ângulo que existe entre o vetor direcionado ao norte e outro projetado horizontalmente na superfície do mesmo ponto; iv) curvatura, que se caracteriza como a taxa de mudança de declividade num determinado ponto derivada da altitude, ou seja, é a mudança de declividade entorno de um ponto, representada pela concavidade/convexidade do relevo, v) rugosidade, distinguindo áreas uniformes de terrenos rugosos (CARVALHO E BAYER, 2008).

O MDT conforme representa a fig. (13) é formado em uma imagem em níveis de cinza, considerando o intervalo entre 206 (branco) e 846 (preto), que representa o gradiente topográfico do terreno. A partir deste já é possível fazer levantamentos acerca do relevo da área ao se observar a elevação, e as marcas de drenagem muito bem definidas na imagem pelo aspecto rugosidade evidenciados pela dissecação do relevo. Partindo-se do alto curso para o baixo curso da bacia percebe-se nitidamente a variação em nível de cinza, que demonstra as áreas mais altas (parte Sudoeste) em seguida a parte mais baixa (Nordeste). Este próprio parâmetro já serviu de base para a obtenção de parâmetros posteriores, como por exemplo, a obtenção automática da drenagem de forma precisa, a obtenção de curvas de nível e da declividade.



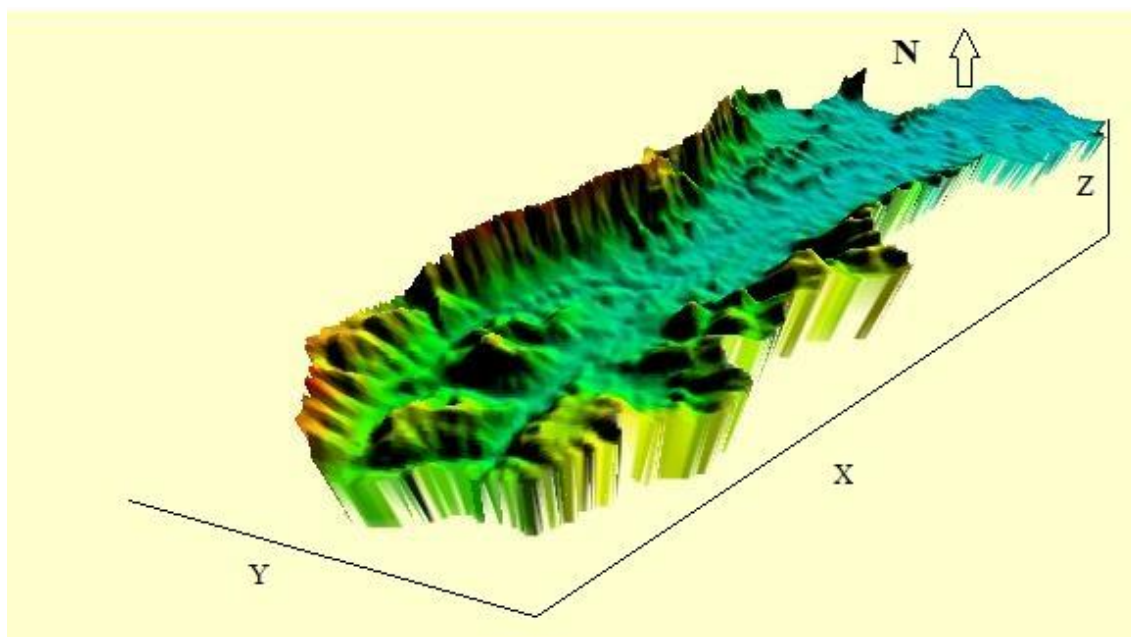


**Figura 13:** Modelo Digital de Elevação – MDE Sub-bacia Santana.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor a partir das imagens SRTM (NASA) com resolução de 30m.



### 5.1.2 Modelo 3D

Este modelo é possível de se obter com o uso de softwares como o Global Mapper. Trata-se de modelo tridimensional do terreno que apesar do exagero vertical, no caso de 20m, permite ao pesquisador detalhar as informações morfológicas da localidade nos mais diversos ângulos. Esta interatividade corrobora na interpretação da morfometria do relevo, em que a topografia pode ser bem explorada. Na fig. (14) percebe-se bem as duas medidas de representação geográfica no espaço (X;Y) e a terceira variável importante a altitude (Z) representadas em seus planos. Nesta modelagem é bem visualizado que a sub-bacia do Riacho Santana em termos de estruturas geológicas, em razão de uma zona de forte influência tectônica, pode ser considerada com a forma de um gráben (o centro da sub-bacia representando o setor de menor cota altimétrica) limitado por duas expressivas vertentes (lado W e E), de maiores altitudes denominadas como os hosts. Ainda, percebe-se de forma clara o relevo individualizado em forma de morros.



**Figura 14:** Modelo Digital de Elevação – MDE Sub-bacia Santana, em 3D com o uso do software Global Mapper, com exagero vertical de 20 vezes.

**Fonte:** Elaborado pelo autor a partir da imagem SRTM (NASA) com resolução espacial de 30m. x (latitude), y (longitude) e z (altitude)

### 5.1.3 Relevo Sombreado (*shaded-relief* ou *gradient*)

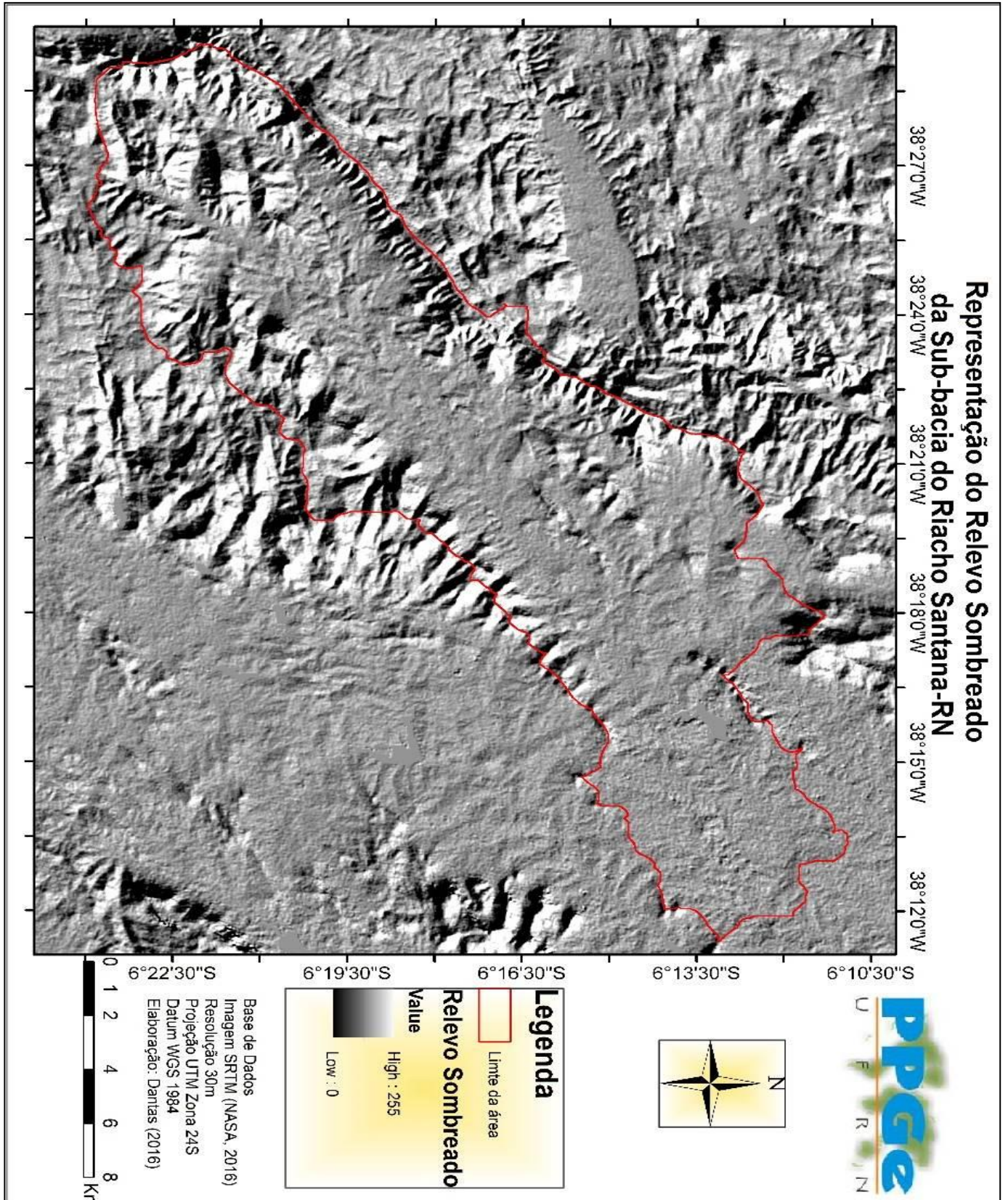


O relevo sombreado é visualizado a partir de imagem de radar, e estas se tornam importante para o levantamento geomorfológico uma vez que elucidam feições importantes do relevo, permitindo o discernimento de altos e baixos estruturais, de superfícies aplainadas, fundos de vale, famílias de forma dadas pelos aspectos texturais, entre outras feições (TORRES et al. 2012).

Este parâmetro pode ser obtido tanto através do *software* Global Mapper, a partir da imagem SRTM com filtro *gradiente*, ou pelo Envi, na ferramenta *shaded-relief*. O realce do relevo, através da simulação de diferentes ângulos de iluminação, no caso usou-se o azimute de 45°, proporciona o sombreamento no relevo dando a impressão de concavidade e convexidade, permitindo a identificação de feições estruturais, contatos litológicos, zonas de erosão recuante, áreas de padrões diferenciados de dissecação, feições planares, lineares positivo-negativas e tabulares do relevo, além de permitir inferências sobre a densidade da drenagem, o grau de incisão e amplitude dos vales. Na fig. (15) o sombreamento permite identificar, principalmente, por meio da rugosidade a dissecação do relevo. Dependendo da qualidade da resolução da imagem é possível classificar o grau de dissecação conforme o aspecto da textura da imagem. As zonas mais dissecadas são as vertentes nas quais são bem visíveis as marcas provocadas pela erosão fluvial, e que também sofrem influência tectônica, o que quer dizer que alguns destes pequenos vales são controlados por pequenas falhas. Ainda, uma outra evidência marcante do sombreamento é o auxílio na delimitação entre uma feição e outra do relevo, fator este determinante para as definições das formas que serão descritas mais adiante.







**Figura 15:** Representação do Relevo Sombreado com azimute de 45°.  
Fonte: Dantas (2016)



#### 5.1.4 Curvas de Nível (*Contour*)

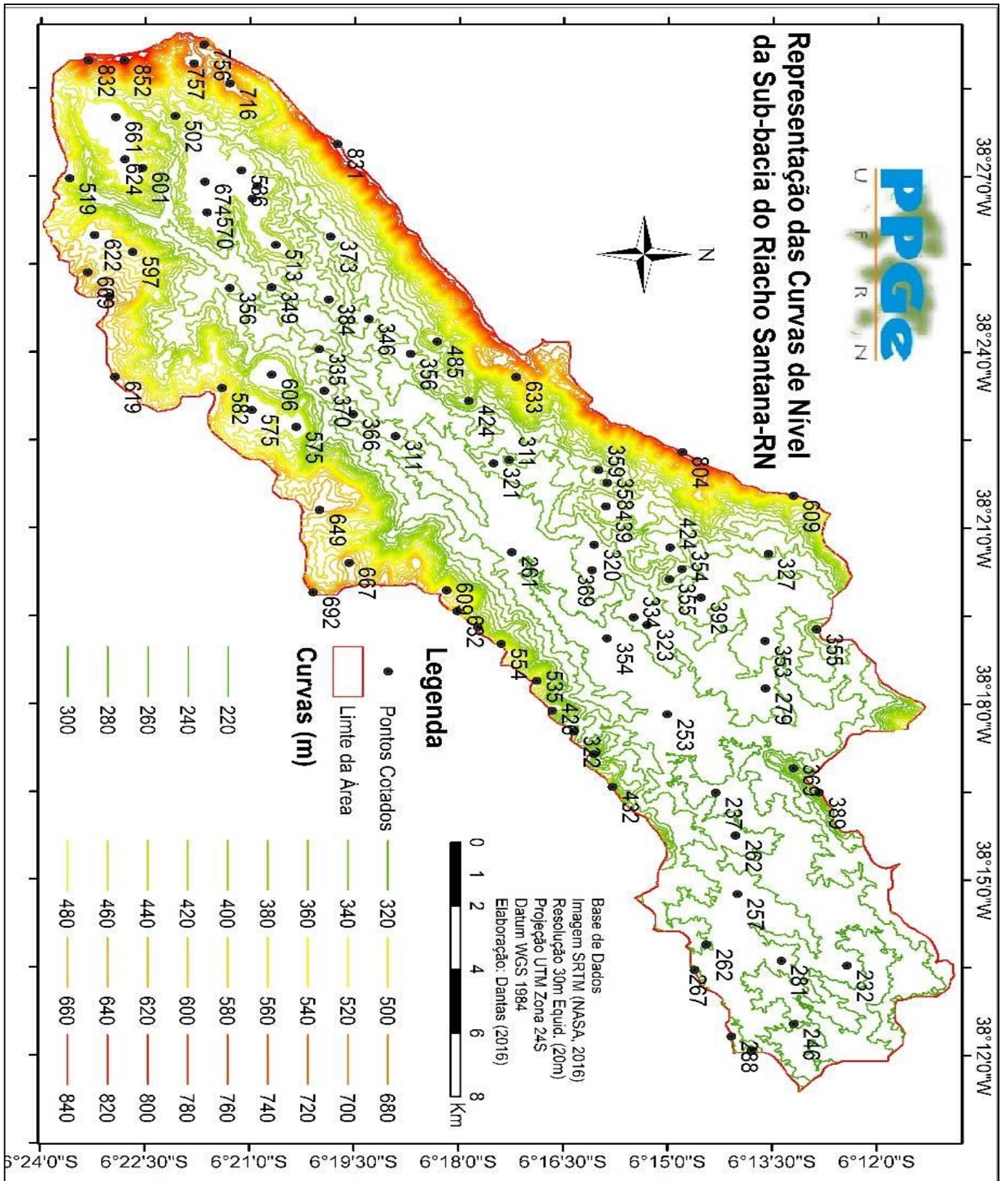
Uma curva de nível é o lugar dos pontos estão em uma mesma altura, ou seja, é uma linha marcada que representa os pontos de mesma altitude do terreno. Estas curvas de nível possibilitam uma representação cartográfica do modelado do relevo, o que atende a inúmeras finalidades, podendo gerar sub-produtos cartográficos importantes para o planejamento e gestão territorial, como podemos citar os mapas hipsométricos, clinográficos (declive do terreno), orientação de vertentes, dissecação vertical e horizontal do relevo, entre outros. Esses mapas sistemáticos, por sua vez, podem ser utilizados na elaboração de outros mapas de síntese, como mapas de risco e de fragilidade ambiental (TORRES et al, 2012).

As curvas retratam muito bem as formas do relevo, e através delas se permite interpretar muitas destas feições. A proximidade exagerada das curvas sinaliza encostas com declive acentuado. Por outro lado, se as curvas se distanciam, é sinal de que a encosta é suave. Nesses casos, se as curvas de nível estão igualmente espaçadas, diz-se que a encosta é plana ou uniforme. Quanto às vertentes, estas ligam-se sempre duas a duas; se a ligação é um ângulo convexo, a aresta é denominada linha de crista ou de cumeada ou divisora de águas; já se a ligação é um ângulo côncavo, a aresta é reconhecida como talvegue ou linha de fundo, ou coletora de águas.

Para a representação no mapa usou-se o intervalo de 20m, mas para as figuras usou-se 10m. Estas isolinhas foram obtidas a partir do MDT. A menor cota altimétrica é da ordem de 220m e se encontra representada pelas cores de tom verde estando localizadas no centro da sub-bacia e no baixo curso, enquanto as cotas mais altas são da ordem de 840m, estando nos tons de laranja que representam as vertentes do lado W e E, conforme a fig. (16).



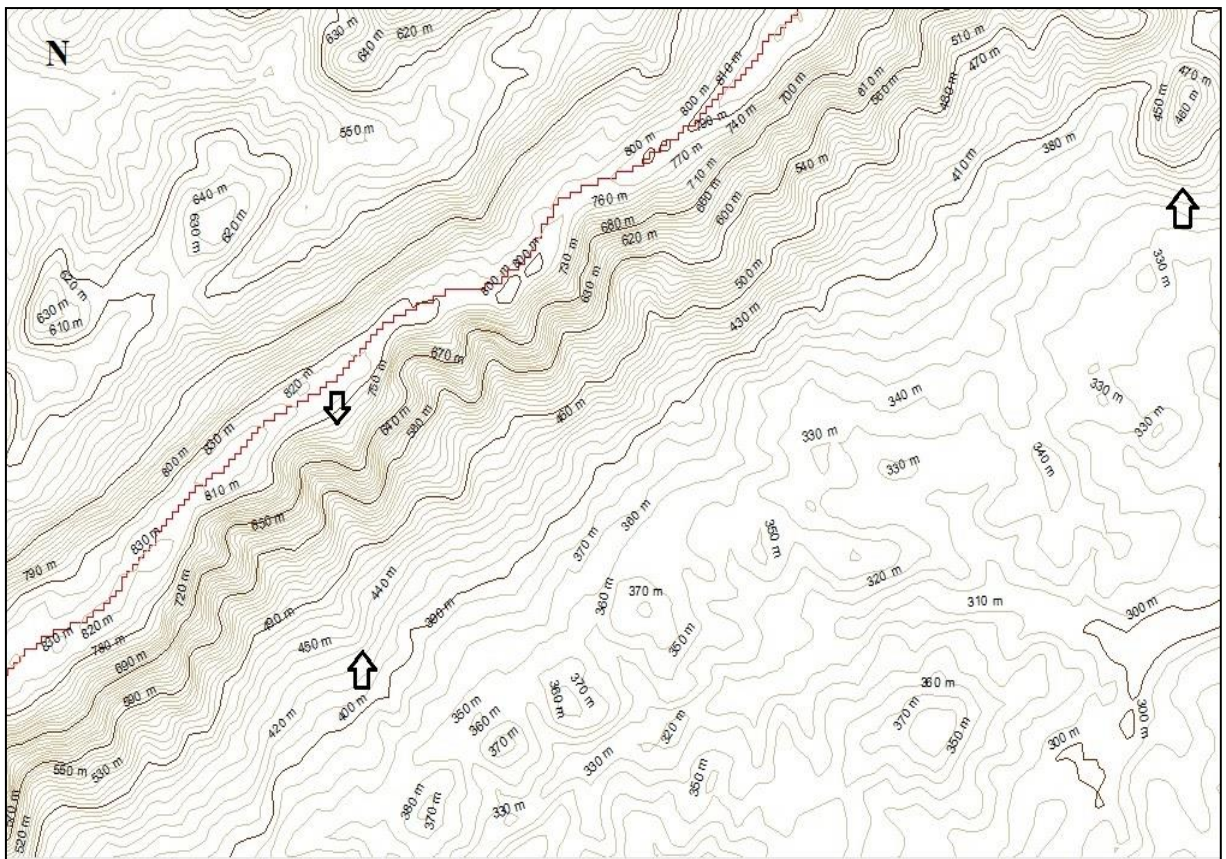




**Figura 16:** Representação das curvas de nível com equidistância de 20m.  
**Fonte:** Dantas (2016)



A seguir são exemplificadas por meio de figuras, os comportamentos assumidos pelas curvas de nível na sub-bacia. A primeira imagem fig. (17) retrata a características das curvas de nível de serem paralelas e muito próxima uma das outras, de acordo com as setinhas pretas. Este fato significa área de terreno acidentada, o que representa exatamente os setores das vertentes de maior declividade. Trata-se de uma serra de crista alongada e muito bem demarcada pelas próprias isolinhas. Há ainda o auxílio da imagem de relevo sombreado e de satélite na composição RGB-453, cujo resultado pode ser visto na fig. (18), para representação do relevo de acordo com as curvas de nível.

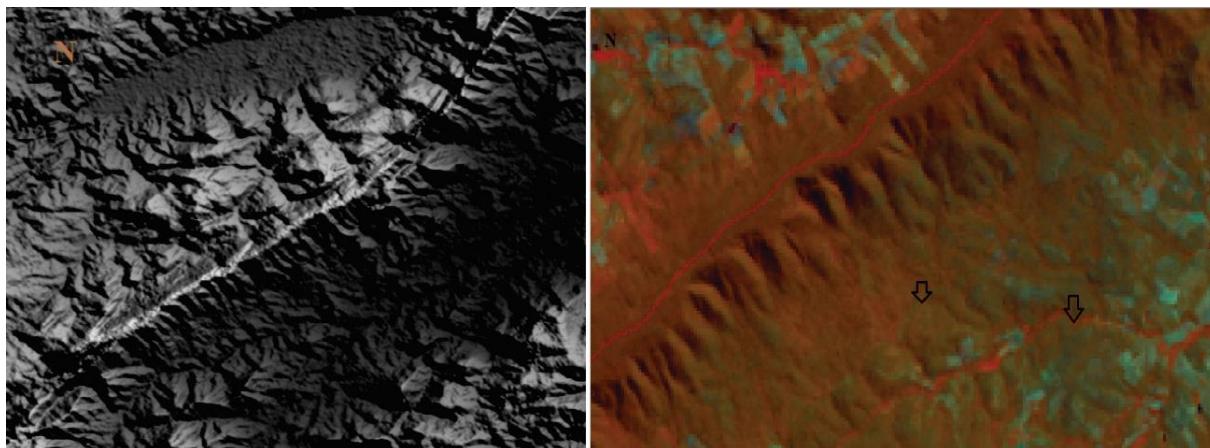


**Figura 17:** Representação das curvas de nível paralelas e muito próximas umas das outras indicadas pelas setinhas pretas na imagem. Equidistância de 20m e curvas mestras de 100m.

**Fonte:** Dantas (2016)

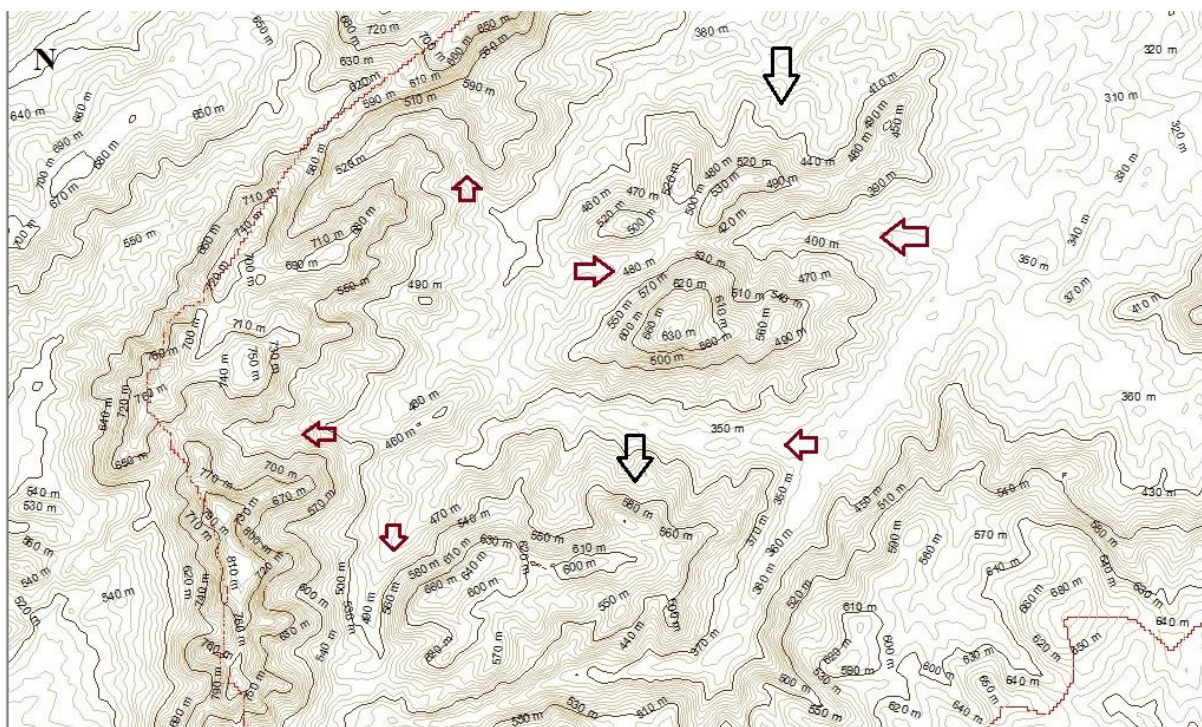






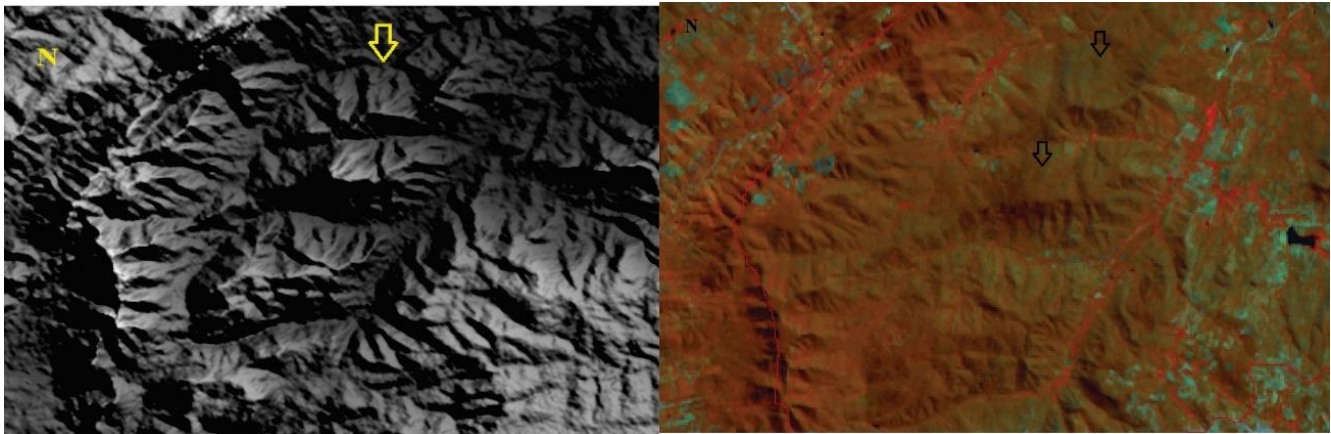
**Figura 18:** Relevo sombreado (*gradient-Global Mapper*)/ Figura C: Relevo através da imagem do Landsat 8.  
**Fonte:** Dantas (2016)

Nesta imagem (Fig. 19) é evidente pelo padrão das curvas de nível fechadas a presença de morros isolados espalhados no setor de alto curso (Sul) com topos beirando os 630m, e amplitude altimétrica de cerca de 200m indicados pelas setinhas pretas. Uma outra característica bem representada pelas curvas de nível são os vales em forma de “V” bem presentes ao longo da bacia (setinhas vermelhas). Na Fig. (20) de relevo sombreado e na imagem de satélite observa-se nitidamente o detalhe da dissecação em torno dos morros isolados.



**Figura 19:** Curvas de Nível da Sub-bacia do Riacho Santana, com presença de morros isolados.  
**Fonte:** Dantas (2016)





**Figura 20:** Relevo sombreado e de satélite evidenciado os morros isolados.

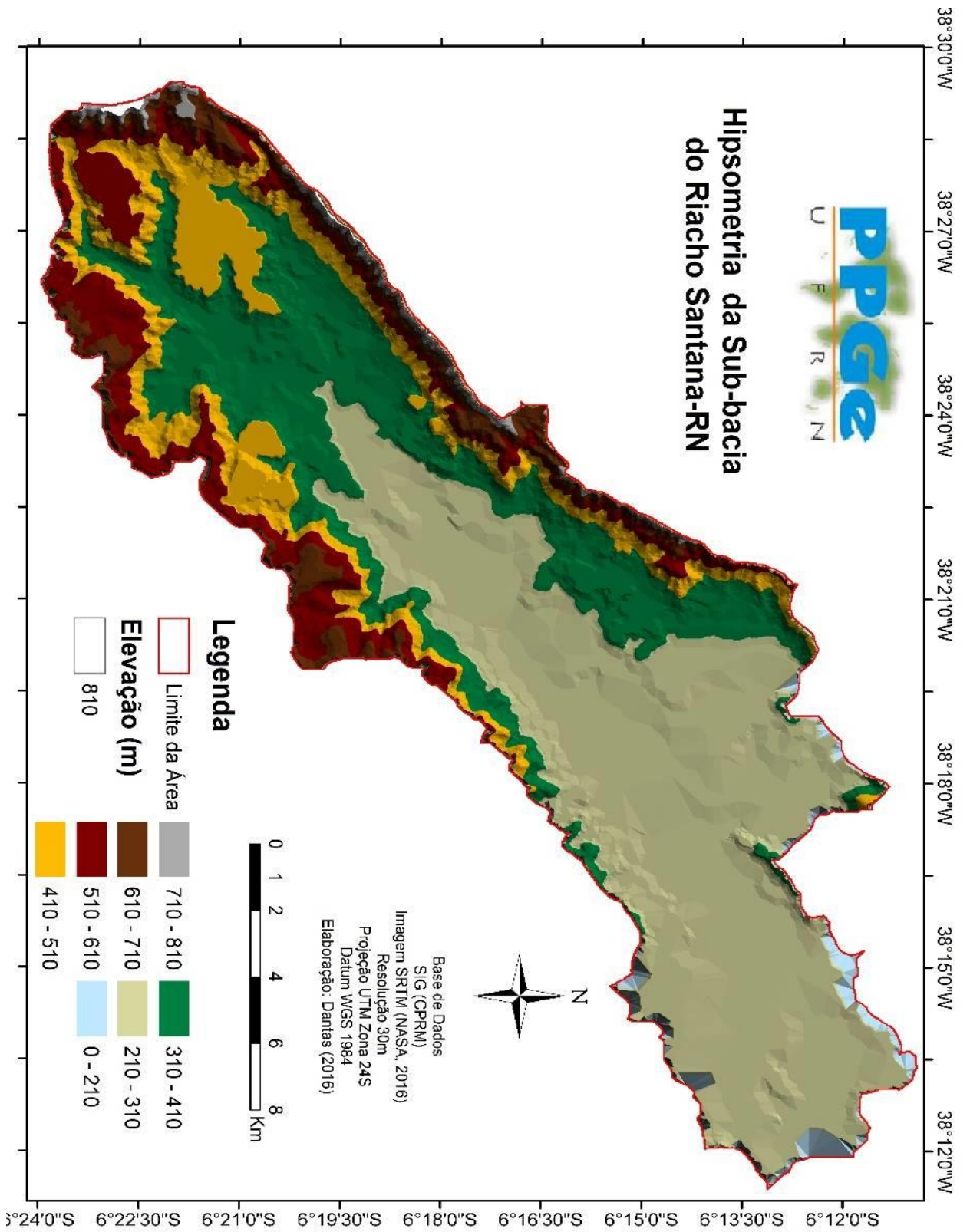
**Fonte:** Dantas (2016)

### 5.1.5 Hipsometria

Para a confecção do mapa hipsométrico (elevação) deve-se estabelecer primeiramente as classes de altimetria que mais se adequam à área a ser mapeada. Neste caso, o número de classes limitou-se a oito, de forma a detalhar o máximo a altimetria e definir mais o relevo local. A variação altimétrica é de 210m, representando a cota mais baixa da sub-bacia do Riacho Santana (baixo curso) até a cota mais elevada de 840m. Na fig. (21), as cores mais claras, como os tons de cinza e azul claro representam as cotas mais baixas. Já os tons mais fortes, como o vermelho e o marrom representam os intervalos dos 500m/600m. A cor branca demonstra as cotas mais elevadas, encontrando-se exatamente no topo da vertente W. Em resumo, é evidente a transição das feições do relevo, conforme a topografia, uma vez que é bem acentuada a variação hipsométrica ao longo de toda a sub-bacia, no entanto, o relevo da área de estudo será melhor detalhado no próximo capítulo.







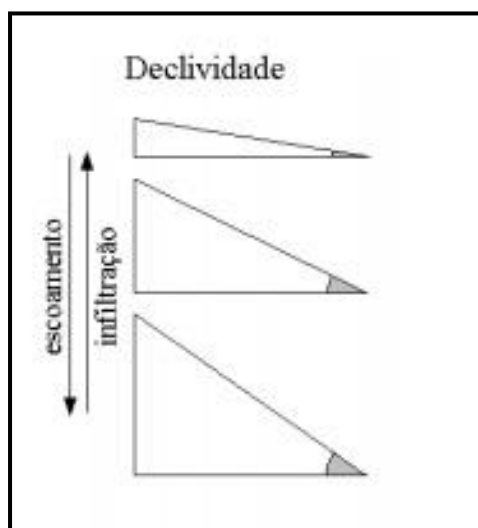
**Figura 21:** Carta Hipsométrica da Sub-bacia do Riacho Santana.  
**Fonte:** Elaborada por Dantas (2016)



### 5.1.6 Declividade

A carta de declividade também é conhecida como carta clinográfica. Segundo Guerra et al. (1996), o mapa de declividade tem o objetivo de demonstrar as inclinações de uma área em relação a um eixo horizontal, e pode ser medido em grau (0 a 90°) ou em porcentagem (%). Neste contexto, ver fig. (22) determinou-se sete classes de declividade (0° a > 45°) que variam da cor verde até a cor vermelha. Não muito diferente da carta hipsométrica, as zonas de vertentes (lado W e E) são as que apresentam declividades superiores a 45° o que significa áreas bastante íngremes, e que estão sujeitas a processos morfogenéticos, como escoamentos, deslizamentos. O centro da sub-bacia e o baixo curso não apresentam declividade expressiva.

Conforme se percebe na fig. (23), há uma exemplificação dos processos morfogenéticos relacionados à declividade. Quanto maior a declividade, maiores os processos de escoamento da água na vertente abaixo. Isto porque os solos muitas vezes não segurados pela própria vegetação são carreados quando nas precipitações. O processo contrário acontece com a infiltração, em que quanto menor a declividade, maior a capacidade do solo de infiltrar as águas das chuvas, e assim desenvolver muito mais a pedogênese que a morfogênese.



**Figura 22:** Esquema dos processos que atuam na declividade.  
**Fonte:** RADAM BRASIL.

A carta clinográfica, segundo Silva et al. (2009) é considerada “um instrumento utilizado para o entendimento da dinâmica ambiental, em razão de promover a identificação de áreas de maior suscetibilidade aos processos erosivos relacionados

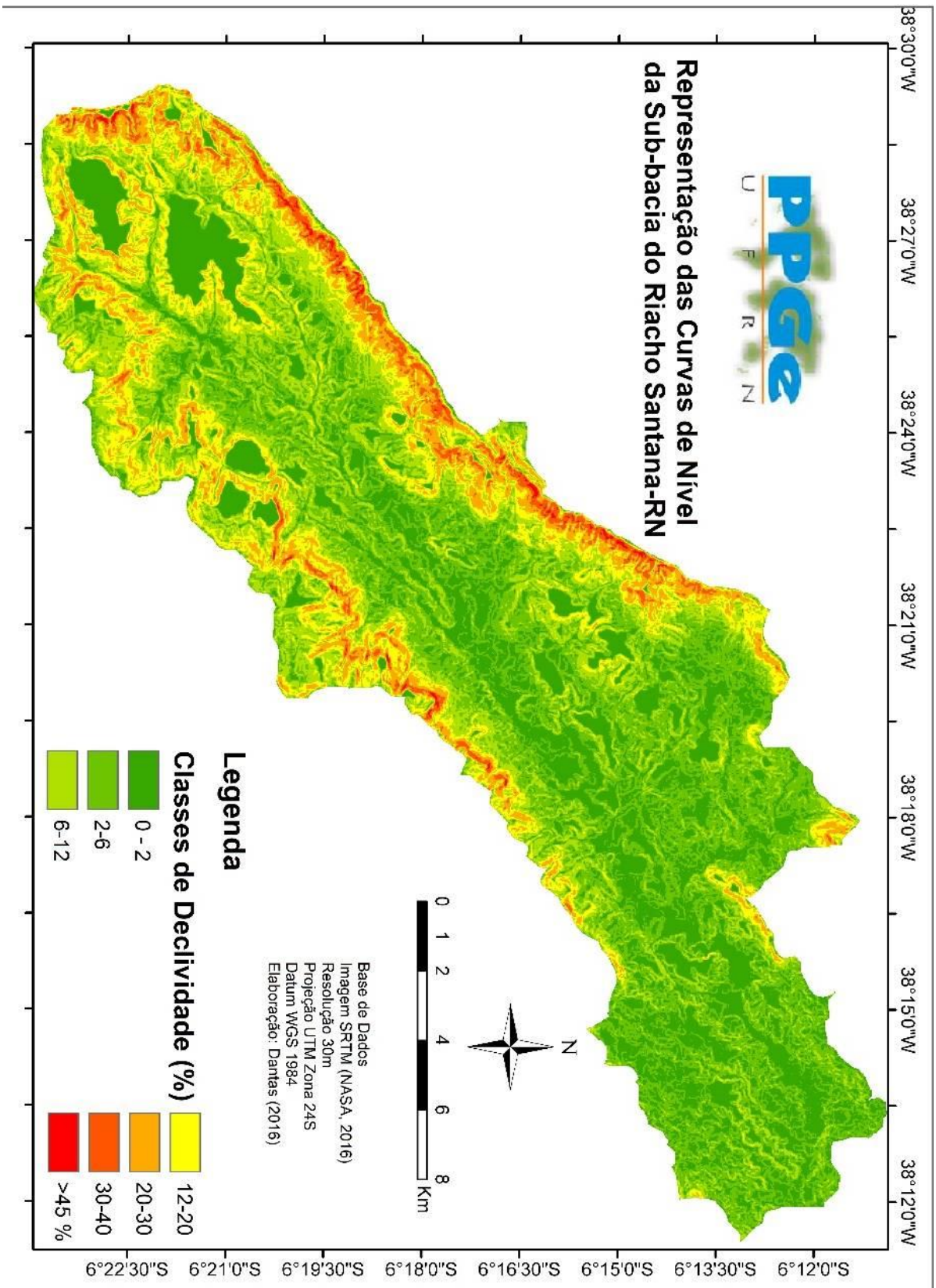




à inclinação das encostas, uma vez que estas áreas seriam propensas a se tornar zonas de risco, e assim os estudos sobre declividade ajudam para definir planos de redução dos acidentes, além de desenvolver capacidade de intervenção e tomada de medidas e decisões para diminuir as consequências” (MOURA et al., 2014).

É importante para o disciplinamento do uso da terra, o entendimento sobre o relevo, sobretudo a declividade. Uma vez que serve suporte para elementos restritivos, como por exemplo, as áreas de preservação permanente que são obrigatoriamente mantidas em declives acima de 45°. Ainda, estes mesmos dados os de declividade cruzados com outros produtos para produção de documentos cartográficos de síntese, como mapas representativos da fragilidade do terreno, energia de relevo, recorrentemente embasados na abordagem ecodinâmica de Tricart (1977). Além disto, ainda utilizadas como subsídio ao zoneamento em diversos referenciais espaciais de análise (bacia hidrográfica, município, área urbana, propriedade rural, unidade de conservação) (TORRES, et al. 2012).





**Figura 23:** Carta de Declividade da Sub-bacia do Riacho Santana.  
**Fonte:** Elaborada por Dantas (2016).



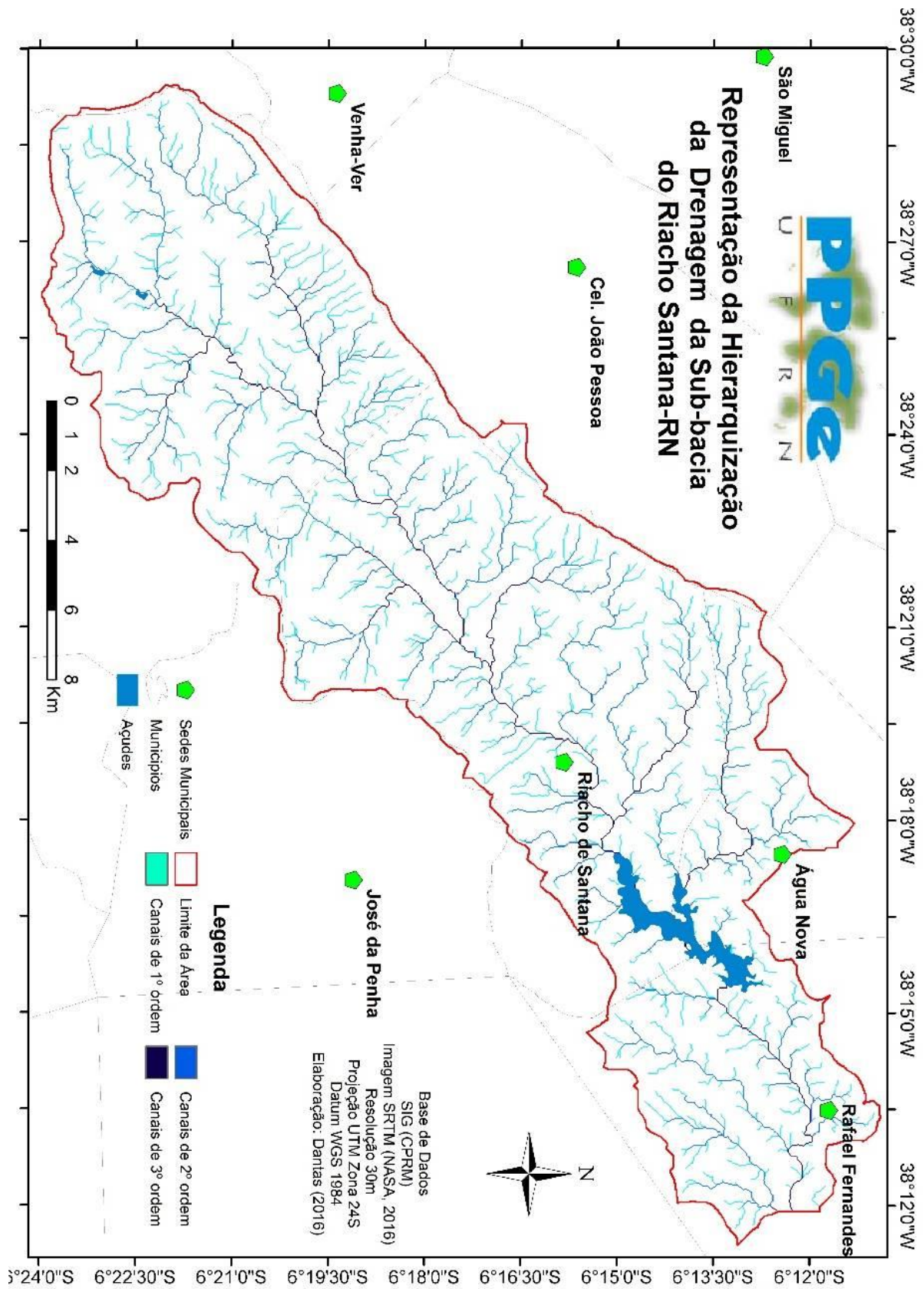
## 5.2 Drenagem

De acordo com Cunha (1998) a drenagem fluvial é formada por um conjunto de canais de escoamento interligados. A área drenada por este sistema é definida como bacia de drenagem, e essa rede depende não só do total e do regime das precipitações, como também das perdas por evapotranspiração e infiltração. Assumem papel importante no escoamento canalizado a topografia, a cobertura vegetal, o solo e o substrato litológico da bacia. A disposição espacial dos rios, controlada em grande parte pela estrutura geológica, é definida como padrão de drenagem.

A sub-bacia do Riacho Santana tem uma drenagem superficial muito em decorrência das características do seu substrato rochoso cristalino, o que dificulta a capacidade de infiltração do solo. Desta forma, possui assim um padrão de drenagem dendrítico e subdendrítico. Apresenta ainda uma elevada densidade de cursos de água por Km<sup>2</sup>, que segundo Beltrame (1994) inferi ser da ordem de 2,45km/km<sup>2</sup>.

Através da função *Stream Order* da ferramenta *Hydrology* (software ArcGis) foi possível realizar a hierarquização da drenagem, permitindo uma caracterização mais detalhada do ponto de vista quantitativo. Usou-se a hierarquização de Strahler (1952) para assim definir 3 ordens dos canais conforme a Fig. (24). Em que os canais de 1<sup>o</sup> ordem estão na cor azul mais clara, e os de 3<sup>o</sup> ordem que representa o canal principal de cor roxa. Muitos dos canais fluviais da sub-bacia são intermitentes, sendo possível visualizar os mesmos apenas durante o período chuvoso. Nessa figura é possível também perceber os canais dendríticos e subdendríticos, ligados a fatores de ordem estrutural, que influencia a erosão de recuo das escarpas.





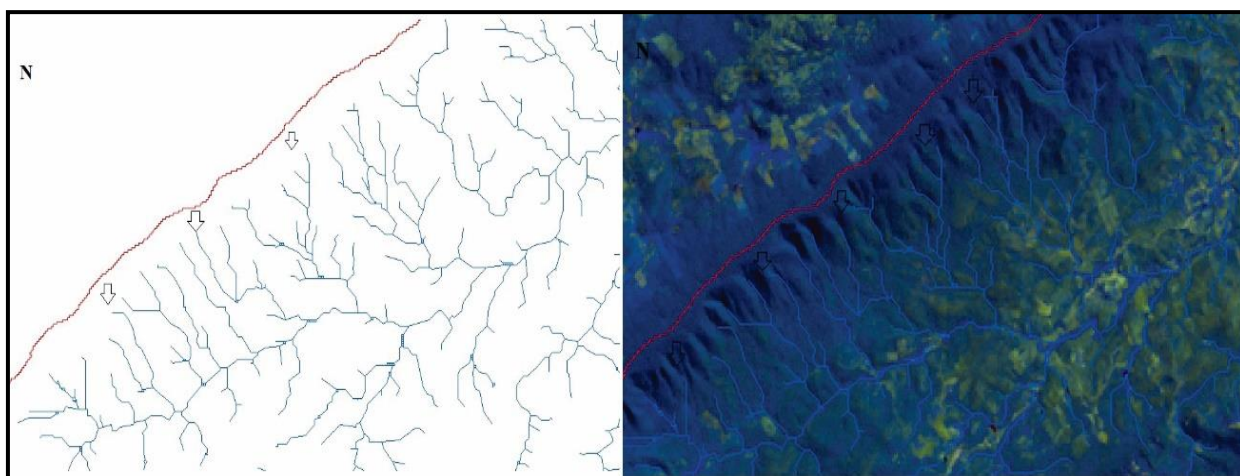
**Figura 24:** Representação da hierarquização da drenagem da sub-bacia do Riacho Santana.  
**Fonte:** Elaborada por Dantas (2016).





Em razão das características climáticas de semiaridez observa-se que a drenagem se apresenta concordante com as direções preferenciais das faixas de dobramentos do relevo regional, no caso os Neoproterozóicos no Maciço Pereiro. Isto indica que a mesma se instalou encaixada entre as cristas subparalelas, acompanhando os níveis mais erodíveis, sendo, portanto, predominantemente subsequente. Ainda, não há formação de um canal nos rios com margens definidas e terraços fluviais uma vez que os inteflúvios apresentam regimes hídricos intermitentes. Além disso, a drenagem é incipiente e não se interconecta, e os canais intermitentes erodem as margens das escarpas e formam ravinas. (GURGEL, 2012).

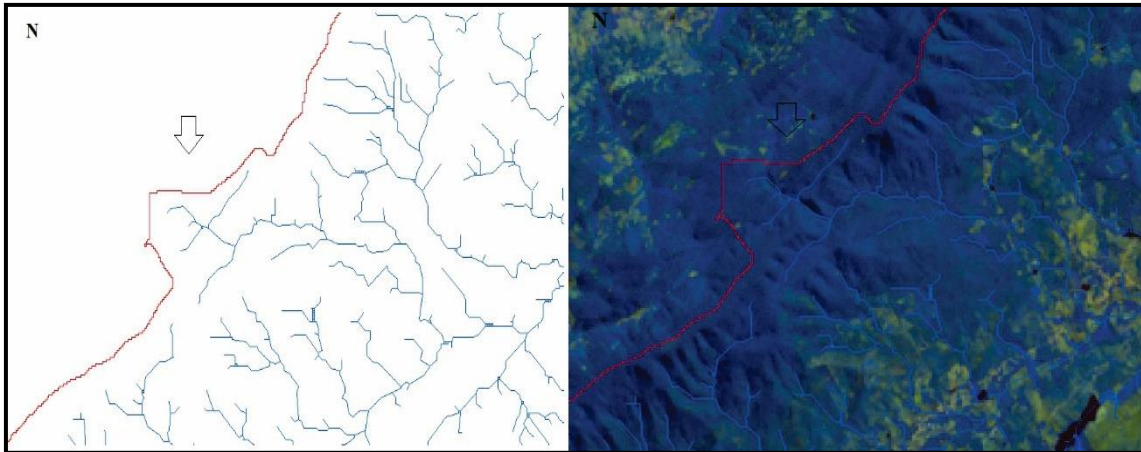
Em alguns pontos específicos da sub-bacia percebe-se o quanto a drenagem influencia a erosão de recuo das escarpas, sendo assim muito evidente a dissecação dos canais fluviais no relevo. A drenagem chega a assumir um padrão paralelo conforme a Fig. 25 estando dissecando as facetas triangulares da vertente W da área de estudo.



**Figura 25:** Imagem mostrando a drenagem dissecando as facetas triangulares.  
**Fonte:** Dantas (2016).

O arranjo da trama hidrográfica reflete em determinados padrões de drenagem, quase sempre relacionados a fatores de ordem estrutural. Na imagem a seguir (Fig. 26) observa-se a drenagem encaixada em uma falha presente na vertente W (indicação da seta), o que se torna acentuada pelo seu padrão retangular que assume neste setor, típicos de juntas e/ou falhas geológicas.

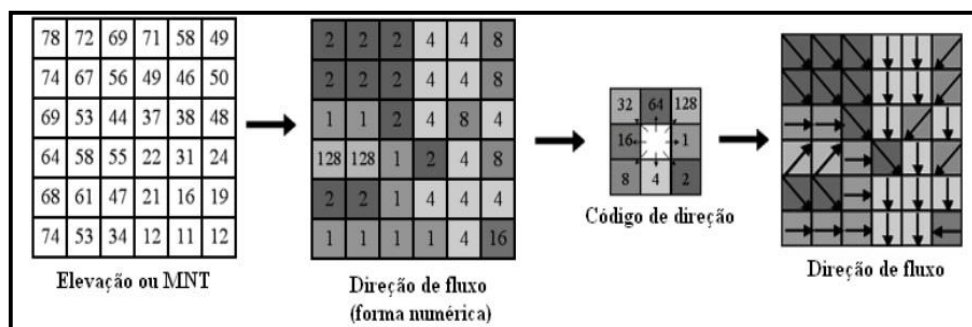




**Figura 26:** Imagem mostrando a drenagem encaixada em uma falha geológica.  
**Fonte:** Dantas (2016)

### 5.2.1 Flow Diretion – Direção de Fluxo

O Flow Diretion com tradução para português Direção de Fluxo é um parâmetro extraído automaticamente pela ferramenta *Hidrology* (software ArcGis) a partir do MDT após passar pelos processos de correções de preenchimentos das depressões através da função *fill sinks*, também pertencente a esta ferramenta já mencionada. Este parâmetro que contribui para os estudos de drenagem consiste em indicar, a partir de uma célula principal, para onde ele deverá seguir, de acordo com a declividade das células vizinhas conforme a Fig. (27). O fluxo acumulado indica quantas células uma determinada célula estudada recebe de contribuição (RAMME & KRUGER, 2007).



**Figura 27:** Exemplo de execução da função “Flow Diretion”.  
**Fonte:** Adaptado de ESRI (2008)

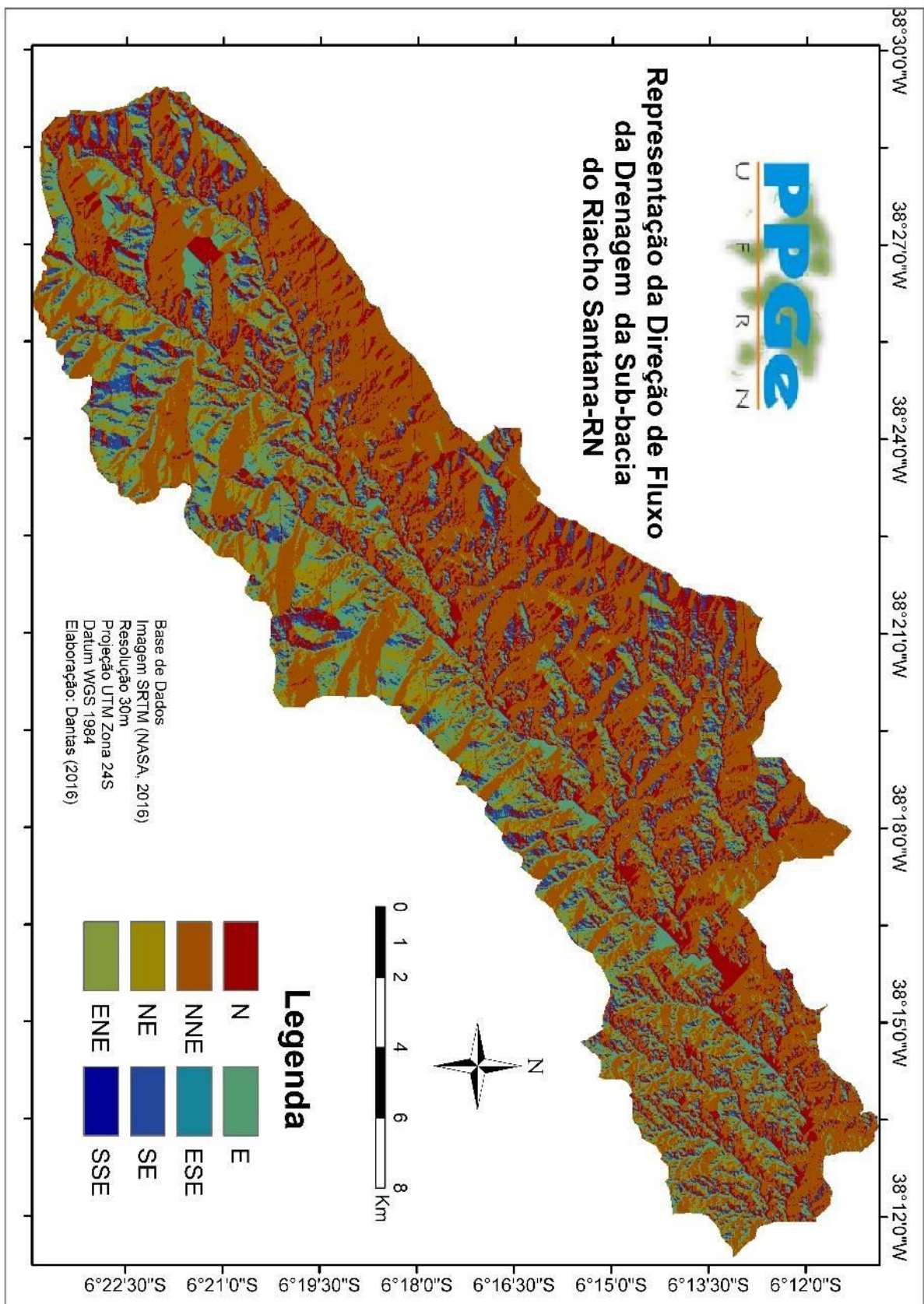
Segundo Rennó et al. (2008), a direção de fluxo estabelece as interações hidrológicas entre pontos diferentes em uma bacia hidrográfica. A continuidade



topológica para as direções de fluxo entre dois pontos em uma superfície não são as mesmas que aquelas baseadas em equidistância Euclidiana. A direção do fluxo de água na rede de drenagem cria uma grade regular produzindo as direções de fluxo, adotando como parâmetro a linha de maior declividade do terreno. Isto faz com que a nova grade numérica gerada determine a direção de maior declividade de um “pixel” em relação aos seus oito “pixels” vizinhos (SOBRINHO et al. 2010).

As direções de fluxo de água de acordo com a Fig. (28) consideram a água que cai em cada pixel indicando a direção que irá escoar. Assim obteve-se como resultado uma imagem, com oito colorações, referentes às direções de cada pixel. A direção mais expressiva para o fluxo de água é a NNE.





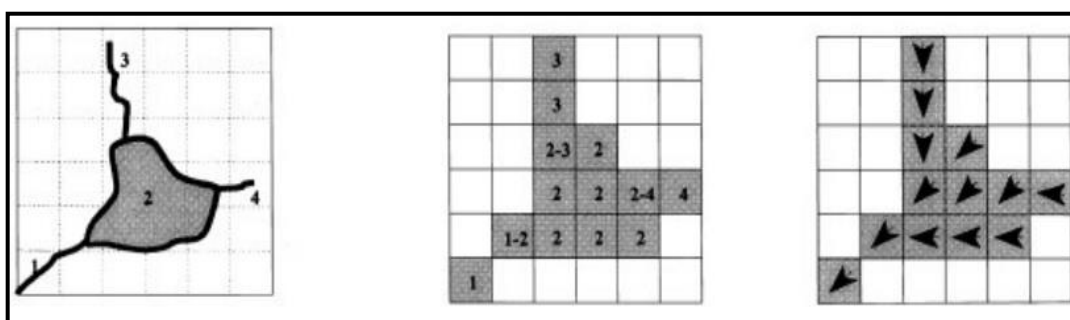
**Figura 28:** Direção de Fluxo das águas da Sub-bacia do Riacho Santana.  
**Fonte:** Elaborada por Dantas (2016)





### 5.2.2 Flow Accumulation – Fluxo Acumulado

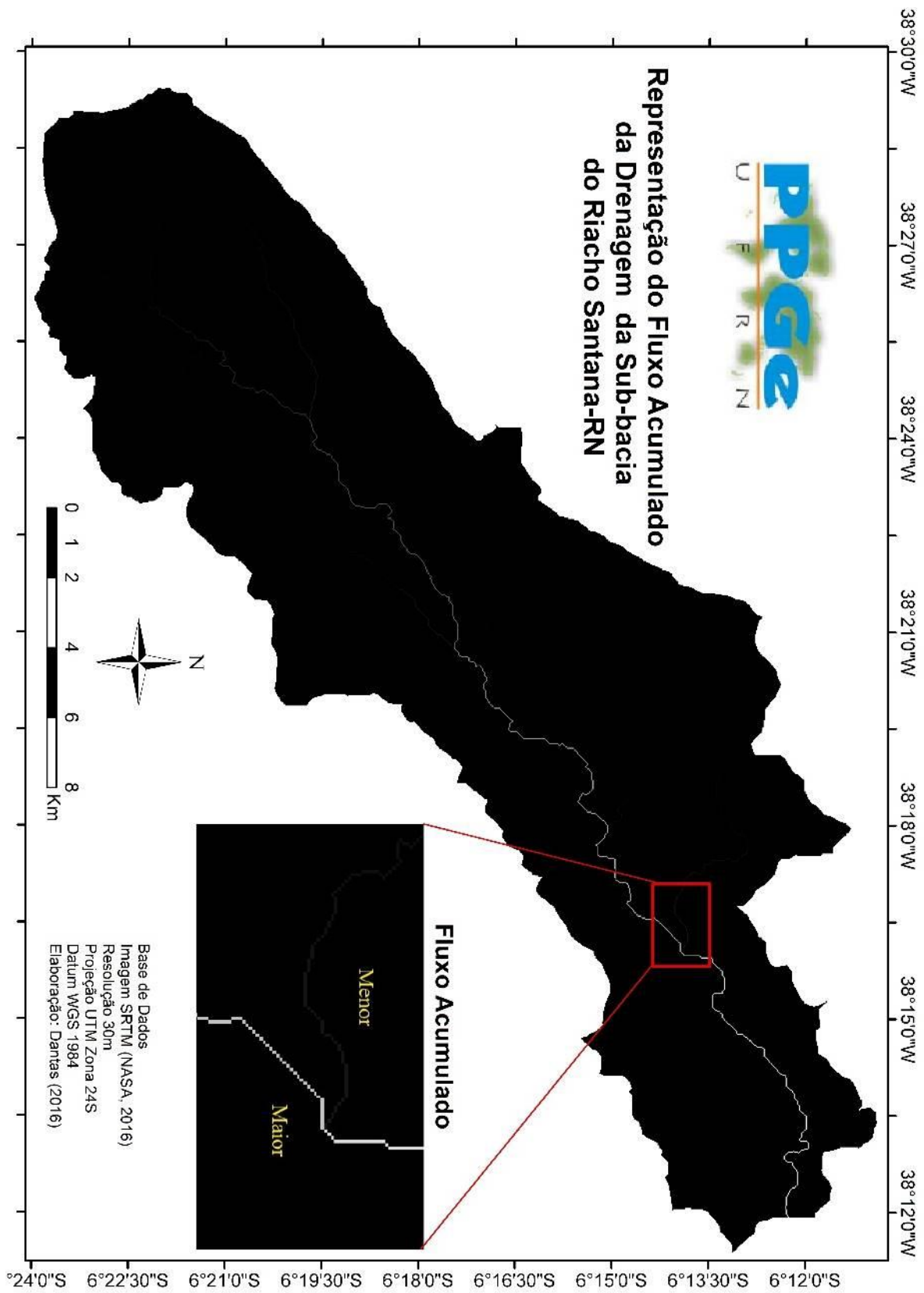
O parâmetro fluxo acumulado é obtido a partir da direção de fluxo, através da ferramenta *Hidrology* (software ArcGis). O fluxo acumulado de acordo com a Fig. (29) indica o grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento de rampa aplicado em duas dimensões. “Também denominado área de captação, apresenta obtenção complexa, manual ou computacional, uma vez que reúne, além de características do comprimento de rampa (conexão com divisores de água à montante) também a curvatura horizontal (confluência e divergência das linhas de fluxo)” (VALERIANO, 2008 apud SOBRINHO et al, 2010).



**Figura 29:** Exemplo de determinação de fluxo acumulado.  
**Fonte:** Adaptado de TURCOTE et al. (2001)

Na representação do fluxo acumulado da Fig. 30, cada “pixel” recebe um valor correspondente ao número de “pixels” que contribuem para que a água chegue até ele. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento), e assim percebe-se as áreas na sub-bacia de maior e menor acúmulo de água. No quadro em destaque nessa figura 30, é possível notar a área de menor declividade, onde se concentra a planície de inundação.





**Figura 30:** Representação do Fluxo Acumulado da Sub-bacia do Riacho Santana.  
**Fonte:** Elaborada por Dantas (2016)



## **6 – CLASSIFICAÇÃO DO RELEVO DA SUB-BACIA DO RIACHO SANTANA**

Neste capítulo serão apresentados os resultados da classificação do relevo propriamente dita. Será apresentada a classificação taxonômica do relevo seguido da compartimentação geomorfológica, da Sub-bacia do Riacho Santana.

### **6.1 Classificação taxonômica do relevo da sub-bacia do Riacho Santana**

Seguindo os pressupostos metodológicos da classificação taxonômica do relevo de Ross (1992), para a escala de 1:250.000, bem como adaptações do levantamento geomorfológico do RadamBrasil (1981) e do Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009) foi possível definir a representação geomorfológica da sub-bacia do Riacho Santana- RN. Apesar de já ter sido mencionada a escala de estudo, em alguns momentos também se fez uso da escala 1:100.000 a nível de análise.

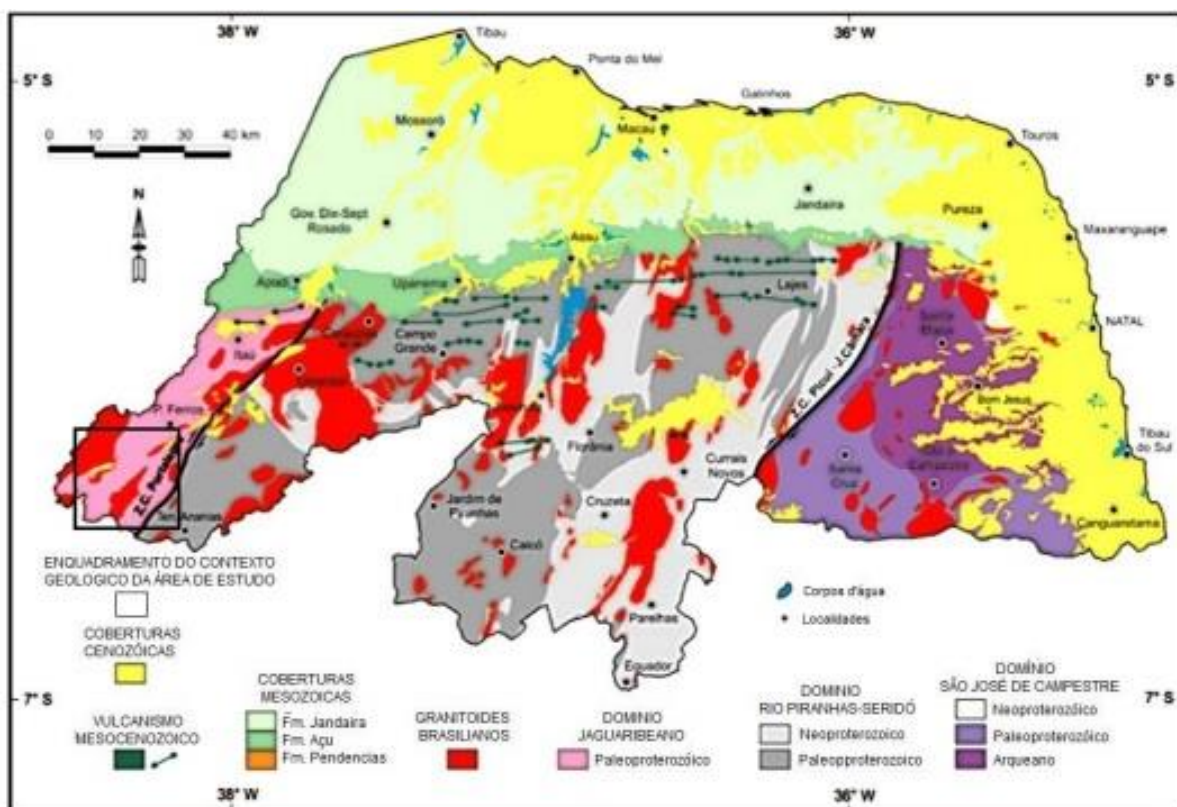
Tentou-se realizar a abordagem geomorfológica de modo a ser a mais fidedigna possível à metodologia de classificação taxonômica, no entanto vale destacar que em função da escala de trabalho, só foi permitido realizar o nível de análise até o quarto táxon, uma vez que o quinto e sexto táxon se aplicam para escalas de maior detalhe, como 1:25.000 ou 1:10.000.

A nível regional, a bacia hidrográfica Apodi-Mossoró se encontra em toda a sua extensão pertencente a três morfoestruturas, sendo perceptíveis as suas transições do seu alto curso até baixo curso. No entanto, a sub-bacia do Riacho Santana localizada no extremo Oeste do estado do Rio Grande do Norte, que compreende o setor de auto curso da bacia Apodi-Mossoró. A definição para este depende das suas características homogêneas, mas sobretudo da sua litologia, sendo este um fator que orientou tal definição.

O Escudo Cristalino compõe a maior parte do Rio Grande do Norte, envolvendo o suporte geológico mais estável, complexo e antigo do estado, formado por rochas metamórficas. É a região mais elevada e apresenta um relevo movimentado, com inúmeras serras. O solo apresenta profundidade de média a rasa, com os afloramentos rochosos sendo bastante frequentes, sobretudo nas serras e porções mais declivosas. Desta forma, tem-se a primeira classificação taxonômica do relevo,



na qual corresponde ao 1º táxon, que se trata da Morfoescultura do Escudo Cristalino, conforme se observa no mapa de Geologia do Rio Grande do Norte (CPRM, 2006). Para o IBGE (1995) este táxon organiza a causa dos fatos geomorfológicos derivados de aspectos amplos da geologia com os elementos geotectônicos, os grandes arranjos estruturais, e, eventualmente, a predominância de uma litologia conspícua. E, ainda no Manual de Geomorfologia deste mesmo órgão, as Unidades Morfoestruturais são denominadas “Domínios Morfoestruturais”.



**Figura 31:** Mapa geológico simplificado do Estado do Rio Grande do Norte e enquadramento da área da sub-bacia Santana no Domínio Jaguaribeano.

**Fonte:** Costa (2015) adaptado de Angelim, Medeiros e Nesi (2006), Mapa geológico do estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000.

Quanto ao 2º táxon, refere-se às Unidades Morfoestruturais (denominadas “Regiões Geomorfológicas” pelo IBGE, 1995) contidas em cada Unidade Morfoestrutural. Este táxon trata-se de compartimentos que foram gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico. Em questão são encontradas duas unidades morfoestruturais mais expressivas.

A Depressão Sertaneja, de acordo com Prates *et al.* (1981, p. 318), é dividida





em: Depressão Pré-litorânea e as Chãs Pernambucanas; Depressões Interplanálticas Centrais; e Depressões Periféricas da Ibiapaba – Araripe. Ainda, de acordo com relatório da Unidades Geoambientais do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2006), esta unidade é denominada de geossistema, e se subdivide em duas geofácies (seguindo as classificações de BERTRAND, 1968) Depressão Sub-úmida Oriental e Depressão Semiárida Interiorana.

A área de estudo faz parte da Depressão Interplanáltica Central, assim como a Depressão Semiárida Interiorana. É interessante considerar que esta unidade também é denominada de Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas (CPRM, 2010).

A topografia na depressão sertaneja varia de plana a suavemente ondulada compondo superfícies situadas entre 50 e 300 metros de altitude, que partem da borda dos planaltos residuais na forma de depressões periféricas em direção ao interior, onde individualizam os maciços. A complexidade litológica associada às depressões sertanejas dificulta sua caracterização geológica. Contudo, é possível destacar a predominância de rochas metamórficas (parametamórficas e ortometamórficas). Neste caso, o metamorfismo associado a essas zonas condiciona os processos de erosão diferencial entre as depressões e os maciços graníticos (MAIA et al, 2013)

A depressão sertaneja na literatura clássica se define como uma superfície aplainada, modelada pelos processos erosivos que assumem as formas planas ou levemente onduladas. As depressões são rebaixadas e localizam-se entre superfícies mais elevadas (SUERTEGARAY, 2008, p. 124). Conforme pode se observar na imagem abaixo (ver Fig. 33) a Depressão Sertaneja se apresenta em boa parte da área da sub-bacia, e visivelmente cercada no seu entorno por relevo de maior altitude, em questão os maciços residuais. É uma extensa superfície aplainada permeada por pediplanos sertanejos, proveniente do trabalho de processos erosivos ao longo do tempo.

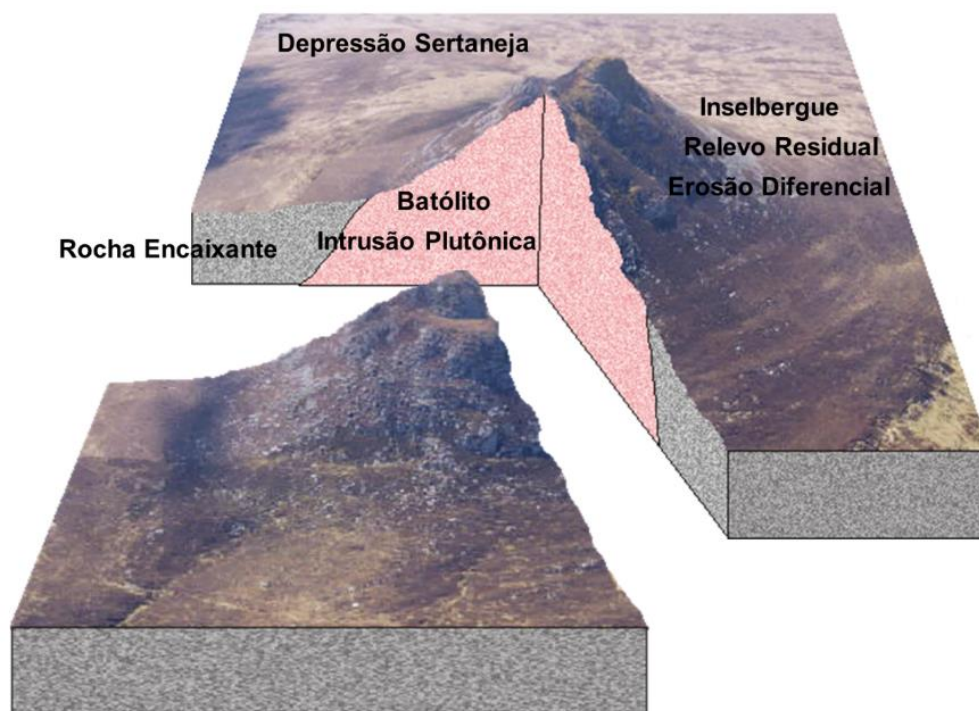




**Figura 32:** Depressão Sertaneja rodeada pelos maciços residuais.  
**Fonte:** Acervo pessoal.

Inseridos dentro da morfoescultura Depressão Sertaneja há a presença de sobressaltos topográficos associados geologicamente a núcleos exumados em razão de processos de dissecação que se distinguem na paisagem aplainada da depressão (MAIA et al, 2013). Essas elevações residuais são denominadas inselbergues quando afloram isoladamente ou inselgebirgues quando se dispõem em conjunto. A imagem (Fig 34) a seguir trata-se de um bloco diagrama que exemplificando muito bem o contexto paisagístico dos inselbergs na Depressão Sertaneja, destacando a litologia desta forma de relevo.





**Figura 33:** Bloco diagrama esquemático de Inselbergue e Depressão Sertaneja.  
**Fonte:** (MAIA et al, 2013)

As elevadas taxas de erosão desencadeadas sobretudo pelo contexto climático semiárido limitam a pedogênese, tornando os solos da depressão sertaneja rasos. Nesse contexto, comumente, a rocha matriz (embasamento) aflora (MAIA, et al. 2013).

Na sub-bacia do Riacho Santana se destacam duas vertentes que delimitam a bacia de um lado e do outro dando a forma de um *gráben*, estas se comportando como *horts*. A vertente do lado W possui características morfográficas distintas da vertente do lado E. Esta se apresenta em cristas alongadas visivelmente controladas pela tectônica regional. É denominada de Serra de São José, e apresenta estágios erosionais expressivamente representadas pelas marcas estruturais de facetas trapezoidais e triangulares, significativos indicadores de zonas controladas estruturalmente como se pode perceber na Figura 03 (página 52).

A vertente da porção E apresenta comportamento geométrico diferente da vertente da porção W, apesar de sofrerem processos erosionais de mesma natureza. Uma das marcas mais comum ao longo da Serra do Camelo, por exemplo, são os entalhamentos de vales nos mais diferentes estágios, como pode ser percebido na Fig. 35. Já tem início a uma drenagem que começa por dissecar o relevo, e que em razão da interferência tectônica regional da área, ela tende a seguir zonas de fraqueza



das rochas, aproveitando pequenas juntas e falhas para seguir seu curso.



**Figura 34:** Entalhamento de vales na Serra do Camelo, vertente da porção Leste (E) da sub-bacia.  
**Fonte:** Acervo da autora.

Nestas outras imagens (Fig. 36) retratam outras marcas erosivas no relevo, como por exemplo anfiteatro erosivos entalhados na vertente W. Na vertente E temos o entalhamento dos topos com formas côncavas, convexas e retilíneas, e feições como boqueirão, que assim pode se dizer que evoluirão para vales profundos dissecando o relevo.







**Figura 35:** Vertentes na Sub-bacia do Riacho Santana. As Setas indicam os aprofundamentos de drenagem separados geralmente por vales em “V”.

O mapeamento geomorfológico realizado por Prates et al. (1981) traz a classificação do relevo em Formas Estruturais, Formas Erosivas, Formas de Dissecação e Formas de Acumulação. As Formas de Dissecação são representadas pelas Formas Aguçadas (A)- relevos de topo contínuo e aguçado com diferentes ordens e grandezas e de aprofundamento de drenagem separados geralmente por vales em “V”. Formas Convexas (C) – relevos de topo convexo com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separadas por vales em “V” eventualmente por vales de fundo plano. Formas Tabulares (T) – relevos de topo plano, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados geralmente por vales de fundo plano. Mesmo que em uma escala muito pequena, nível de Nordeste é pertinente referenciar esta abordagem uma vez que a metodologia principal adotada nesta pesquisa se baseia nestes estudos da literatura clássica.



Neste contexto, chegou-se a definição 3º táxon. São distinguidas pelas diferenças de rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, bem como pelo formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão genético denudacional ou agradacional, ver Tabela 5. Segundo Ross (1992) “Os processos denudacionais (D) elaboram as formas esculturais do relevo através da dissecação, por ação física bioquímica tendo, como energia, o clima pretérito e atual. Já os processos agradacionais (A) elaboram formas de relevo por deposição (acumulação) de sedimentos, que seja em ambientes fluviais, lacustres marinhos ou eólicos (pg. 68).

**Tabela 5:** Padrões de Formas Semelhantes

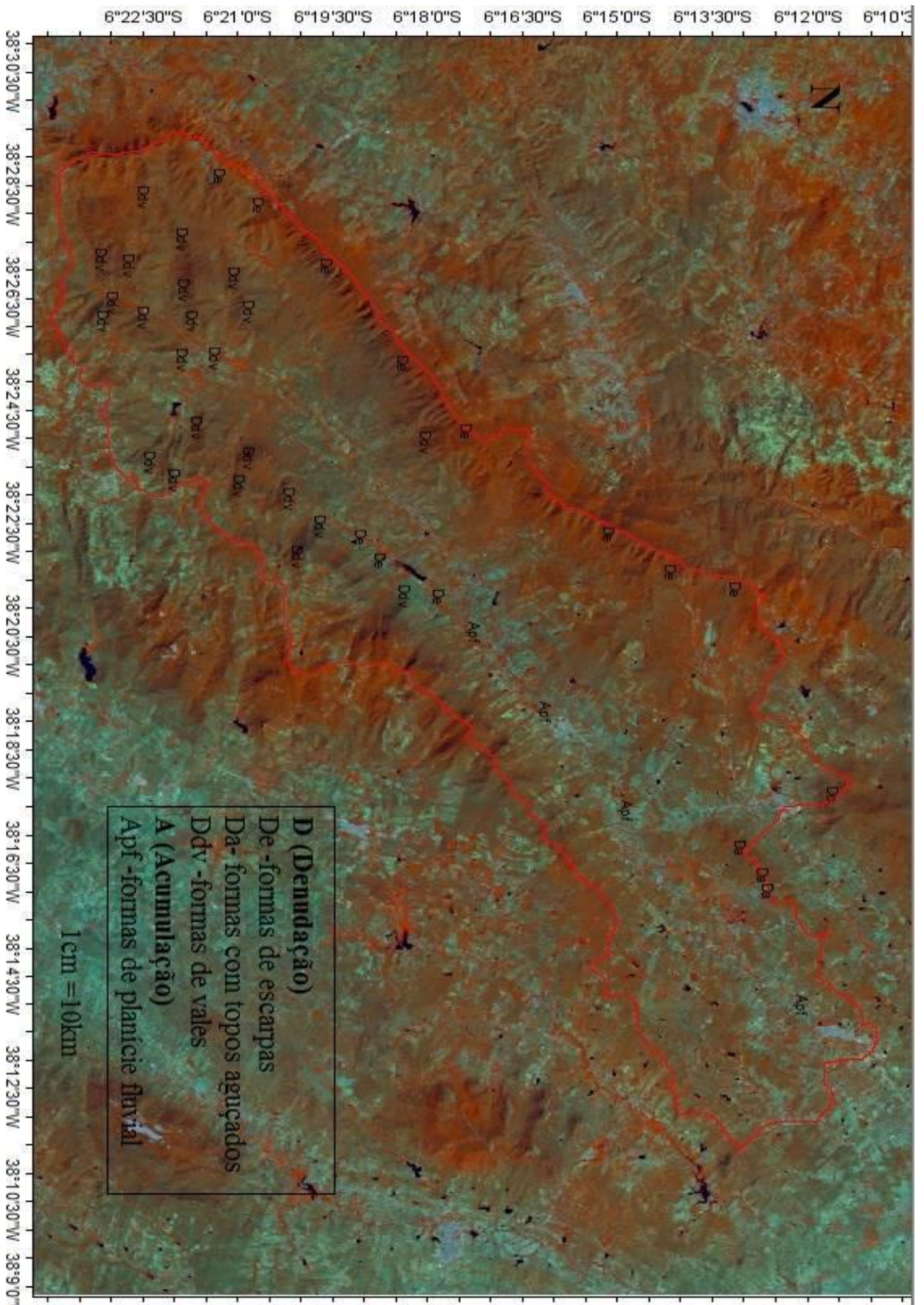
<b>FORMAS DE RELEVO (PADRÕES DE FORMAS SEMELHANTES)</b>	
<b>D – Denudação (dissecação)</b>	
Da – Formas com topos Aguçados	De – Formas de Escarpas
Dc – Formas com topos Convexos	Dv – Formas de Vertentes
Dt – Formas com topos Tabulares	Ddv – Formas de Vales (marcas de paleo-drenagem)
Dp – Formas de superfícies Planas	
<b>A – Acumulação (deposição)</b>	
Apf – Formas de Planície Fluvial	

**Fonte:** Ross (1992)

O 3º táxon representa os Padrões Fisionômicos de Formas que por sua vez, encontram-se contidas nas Unidades Morfoesculturais. Trata-se de compartimentos diferenciados em uma mesma unidade, relacionados a processos morfoclimáticos específicos, com importante participação dos eventos tectônicos ou diferenciações litostratigráficas, sem desconsiderar influências do clima presente (IBGE, 1995). A Figura (37) a seguir retrata na superfície do relevo por meio da imagem do Landsat 8, com o auxílio da carta de curvas de nível e de declividade, alguns destes padrões identificados na sub-bacia com suas respectivas simbologias que correspondem a sua gênese.







**Figura 36:** Padrões de Formas Semelhantes da Sub-bacia do Riacho Santana.  
**Fonte:** Dantas (2016).



Assim, pode se perceber as seguintes formas: De - formas denudacionais de escarpas (correspondem as vertentes tanto da porção W e E nos Maciços Residuais); Ddv – formas de vales (presentes nos vales dissecados principalmente no Sul e Sudeste da área que são os morros isolados entrecortados pela drenagem dando formas ao vales com suas escarpas aparentes que é presente tanto na depressão como nos maciços; Da – formas como topos aguçados (representadas pelas estruturas de inselbergues na Depressão Sertaneja); e Apf – formas de planície fluvial, corresponde ao setor de acumulação de depósitos do rio Riacho Santana onde predominam o tipo de Neossolo Flúvico, compostos por sedimentos não consolidados de natureza argilosa, siltosa e arenosa. São os setores de várzeas em que há o cultivo da agricultura de subsistência, como lavouras.

Ainda dentro da definição do 3º táxon cumpre ressaltar que em razão de dificuldades operacionais não se aplicou neste trabalho técnicas mais elaboradas de mensuração das formas do relevo. No entanto, os índices de dissecação do relevo foram inferidos a partir do uso do *software* Global Mapper, versão 11. A ferramenta 3D *Path Profile* deste *software* permite a análise do relevo através de perfis topográficos. Ao passo que se constrói o perfil, este é acompanhando das coordenadas geográficas e de valores morfométricos da superfície como a elevação do terreno em escala de “m” a partir da qual pode inferir o entalhamento dos próprios vales, assim como a distância do tamanho do traçado do perfil, que possibilita inferir sobre a dimensão interfluvial com base na delimitação dos talvegues e das vertentes. São duas escalas, uma vertical e uma horizontal que permite inferências sobre o aprofundamento da drenagem, declive entre outros.

Para a definição deste táxon seguiu-se ainda a tabela proposta por Ross (1992), que por sua vez já se trata de uma adaptação do quadro de Dissecação das Formas de Denudação do projeto RadamBrasil (1981). A tabela elaborada pelo referido autor aborda valores morfométricos como a dimensão interfluvial média e o grau de entalhamento dos vales e é denominada “Matriz dos índices de dissecação do relevo” (Tabela 6). Os valores da dimensão interfluvial média diminuem da esquerda para a direita, ao passo que o grau de entalhamento aumenta do topo para a base. Dessa forma, a matriz em questão aprimora a representação dos índices de dissecação do relevo. Ross (op cit) prossegue esclarecendo que as formas denudacionais (D) são acompanhadas de outras letras minúscula indicativa da





morfologia do topo da forma organizada que é reflexo do processo morfogenético responsável por sua geração. Ainda, os processos denudacionais (D) são responsáveis por elaboram as formas esculturais do relevo através da dissecação, e pela ação bioquímica e física, em que tem como energia, o clima pretérito e atual. Já os processos agradacionais (A) esculpem formas de relevo por deposição (acumulação de sedimentos, que seja em ambientes fluviais, lacustres, marinhos ou eólicos).

Quanto ao quarto táxon, referente às formas contidas no conjunto de formas semelhantes, pode ser representado, por exemplo com a seguinte simbologia: Dc33, formas denudacionais com topo convexos com dimensão interfluvial e grau de entalhamentos médios, que se individualizam, neste exemplo, em unidades colinosas.

**Tabela 6:** Matriz dos índices de dissecação do relevo.

DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA (CLASSES)	MUITO GRANDE (1)	GRANDE (2)	MÉDIA (3)	PEQUENA (4)	MUITO PEQUENA (5)
----- GRAUS DE ENTALHAMENTO DO VALE (CLASSES)	> 1500	1500 A 700	700 A 300	300 A 100	<100 M
Muito Fraco (1) (< de 10 m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (10 a 20 m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (20 a 40 m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (40 a 80 m)	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) (> 80 m)	51	52	53	54	55

**Fonte:** Ross (1992)

Os perfis topográficos auxiliam na identificação de rupturas de relevo, testemunhos de superfície de erosão e escarpas, por exemplo. Foi aplicada por Moura Oliveira e Chaves (2010) em seus estudos de mapeamento geomorfológico no nordeste da Bahia. A figura (38) a seguir representa vários perfis elaborados em locais com talwegues bem definidos como por exemplo, no extremo sul da sub-bacia onde se encontram os morros isolados entrecortados pela drenagem local, na vertente da porção W e E. O setor do perfil A que se trata da Serra do Camelo (porção E) apresentou um índice de entalhamento normalmente muito forte, e com uma variação na dimensão que vai desde muito forte, média e grande. As simbologias de mais destaque são Ddv51, Ddv 53, Ddv 52 e Ddv 42, que representam modelado de dissecação em vales com suas respectivas médias da matriz de entalhamento do vale e a dimensão interfluvial. Já o perfil B destaca as unidades de morros isolados



dissecados pelos vales que os circundam com símbolos Dvd 54 e Dvd 55, o que significa vales com um grau de entalhamento muito forte, porém com uma dimensão fluvial que varia de pequena a muito pequena. Os índices de dissecação do relevo dependendo do seu grau revelam sobre a morfologia e morfometria do relevo, em que por exemplo, áreas com grau de dissecação muito fraco representam superfícies planas com declividades inferiores a 2% ou ainda formas de topos planos com drenagem de fraco entalhamento e declividades entre 2 e 5%. Áreas com grau forte costumam ser formas com topos planos a convexos e amplos com canais de forte entalhamento ou formas de topos planos ou convexos de pequena dimensão interfluvial e médio entalhamento dos canais, declividades entre 20% a 30%. Enquanto, grau muito forte representa formas de topos aguçados ou convexos de dimensões interfluviais de média a pequena e forte entalhamento de canais, com declividades acima de 30%, conforme se observa Ross (1992).

Ainda sobre os índices de dissecação do relevo, a partir destes é possível determinar os graus de fragilidade do ambiente natural, uma vez que a intensidade da dissecação é um bom indicador da fragilidade potencial que o ambiente possui. O indicador da densidade de drenagem associada ao grau de entalhamento dos canais combinados, determina a rugosidade topográfica, ou o índice de dissecação do relevo e que por sua vez caracteriza a dimensão interfluvial média dos conjuntos homogêneos de formas ou conjuntos de formas semelhantes (ROSS, 1992).



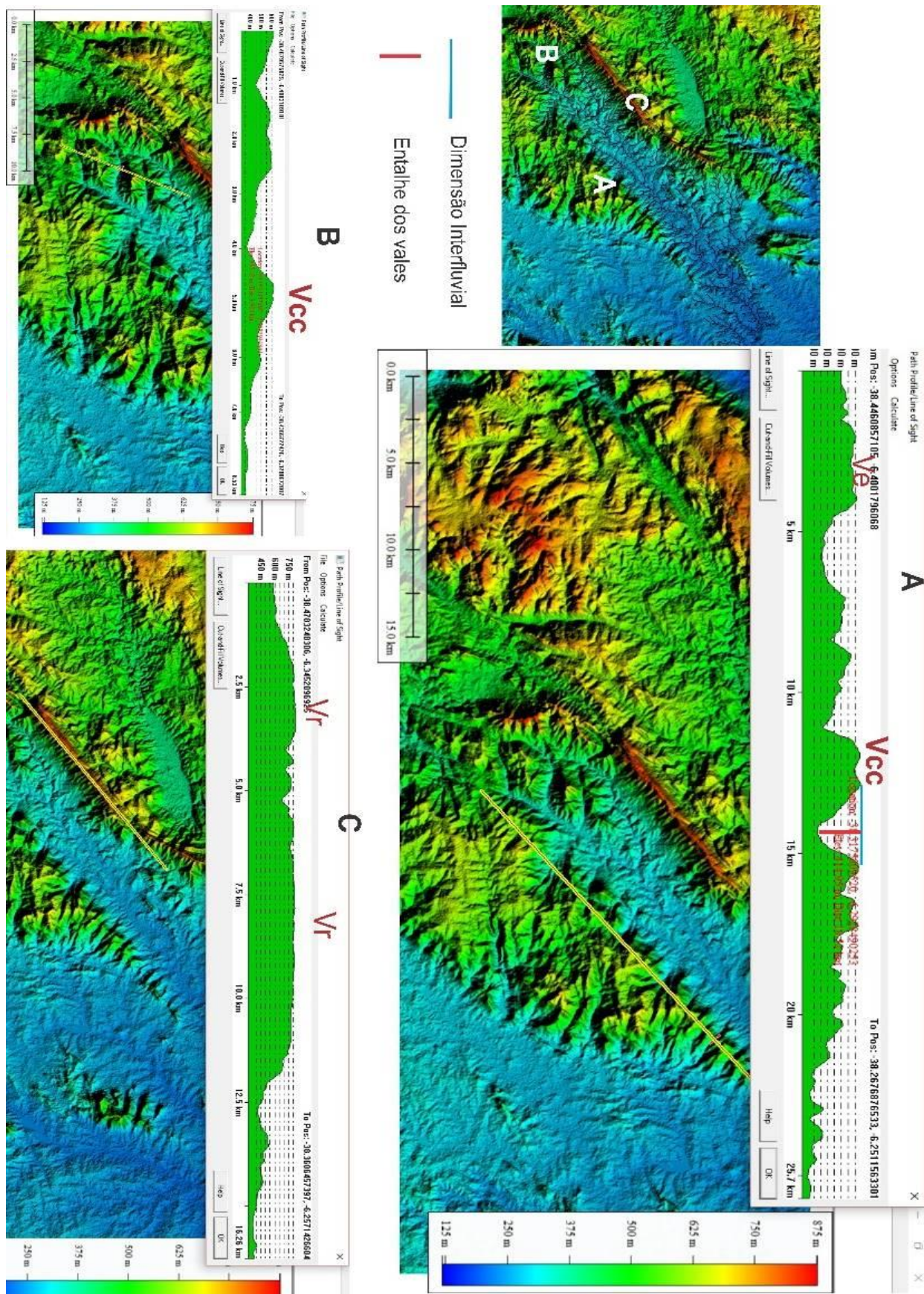


Figura 37: Perfis topográficas em diferentes setores da sub-bacia elaborados no software Global Mapper v.11.0.

Fonte: Dantas (2016)



O 4º táxon refere-se às formas de relevo individualizadas na unidade de padrão de formas semelhantes, que corresponde às unidades aos modelados na metodologia adotada pelo IBGE (1995), e a identificação dele se dá pela representação individual de cada componente do 3º táxon, constituindo assim nas Formas de Relevo. Neste táxon se identificou na paisagem tipos de relevo nas formas de padrões semelhantes, sendo eles os exemplos de serras que correspondem às vertentes do setor W e E. A porção W da bacia é a serra de São José, enquanto a porção E é a serra do Camelo cada uma com suas características peculiares. Ambas são cristas alongadas com orientação estrutural SW-NE com influências tectônicas como as explicadas na abordagem sobre a evolução do Maciço Pereiro, em razão das zonas de cisalhamentos que se encontram próximas a esta região. Para o melhor entendimento por parte do leitor e detalhamento deste tipo de relevo aborda-se primeiramente as características pertencentes à serra de São José (setor W). Está inserida em unidades geológicas de nomes homônimos como a do Grupo de São José Quartzito, Grupo Serra de São José e Suíte Serra do Deserto. O Grupo de São José Quartzito é de idade do Proterozóico, com rochas do tipo metamórfica metaconglomerados, quartzito. O Grupo de Serra de São José é do Proterozóico, rochas ígneas e metamórficas com litologia de xistos, metavulcanico e metaconglomerado. E, a Serra do deserto é uma suíte intrusiva; Eon Proterozóico, plutônica, rochas ígneas, e litologia de granitos e granodioritos.

Estas unidades geológicas possuem praticamente a mesma classe de solos que correspondem aos Argissolos Vermelho/Amarelo, que se apresentam bem desenvolvidos muito em razão da natureza mineralógica, do que em razão do tempo sofrendo alterações pedogenéticas que permitiram o desenvolvimento dos mesmos. Esta classe pedológica se concentra nas partes mais elevadas do relevo em altitudes entre 500 e 800 metros. São zonas com declives bem acentuados, que variam de 20º graus até > 45º nos topos mais elevados.

A maior peculiaridade da serra de São José é a predominância ao longo de toda a vertente das facetas triangulares. São marcas da morfotectônica atuante do relevo regional sobretudo na estrutura do Maciço Pereiro.

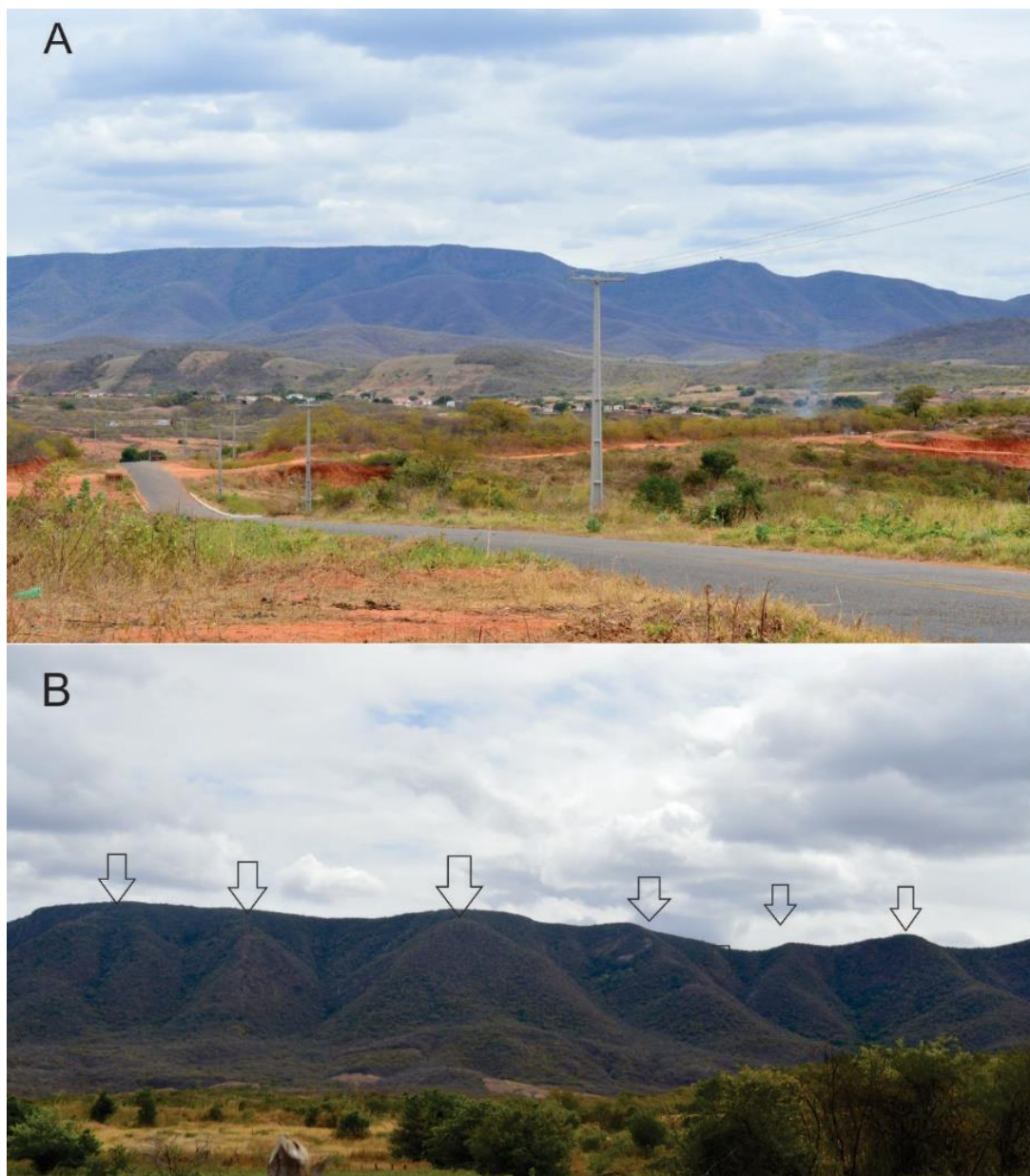
Segundo Penteado (1980), referência no livro de geomorfologia, a originalidade geomorfológica da estrutura falhada é a sua reprodução, no relevo, em forma de escarpas (abruptos de falha), a exemplo do que acontece na escarpa da serra de São





José. O comportamento das falhas origina no relevo tipos específicos de formas. Além disso, a estrutura caracteriza-se por rupturas na crosta, criando compartimentos abaixados ou soerguidos. A escarpa original, em seu primeiro estágio evolutivo produz o desnível e a erosão é acelerada. Durante este processo surgem as ravinas, e erosão dá início ao recuo da escarpa. Por entre as ravinas que sulcam a escarpa subsistem restos do antigo espelho de falha em forma de facetas trapezoidais que passam a triangulares quando o estágio erosivo avança. Neste estágio, a escarpa ainda corresponde ao plano de falha e chama-se escarpa de falha. Neste mesmo contexto, os processos morfodinâmicos com a atuação dos fatores exógenos (clima, ventos, umidade) e ação tectônica criam uma dinâmica de geração de sedimentos que dependendo do estágio evolutivo da vertente geram no sopé da escarpa taludes de sedimentos, ou as rampas de colúvios, que são indicadores paleoclimáticos, pesquisados por Gurgel (2012) no Maciço Pereiro e que já foi referenciado, como na Fig. 39 (imagem do bloco diagrama). Esta vertente também possui influência na modelagem atingida pelos processos de aplainamento e recuo lateral das escarpas, que explicam a história evolutiva da geomorfologia do RN conforme já mencionado anteriormente, assim pode ser reconhecida também como escarpa erosiva.





**Figura 38:** Vertente W- Escarpa de falha da serra de São José.  
**Fonte:** Dantas (2016)

Quanto à serra do Camelo que faz parte da vertente E pertence à Suíte Intrusiva Dona Inêz de idade Proterozóica, rocha ígnea plutônica com litologia do tipo de monzogranito, sienogranito e leuco-granito. A classe de revelo também é de Argissolos vermelho/amarelo e assim como na serra de São José, eles se concentram também nas partes elevadas do relevo com médias altimétricas entre 500 e 650 metros. São zonas com declives que variam de  $12^{\circ}$  a  $40^{\circ}$  graus entrecortados com pequenos morros isolados com declives  $2^{\circ}$  a  $6^{\circ}$  graus. Esta vertente se apresenta morfológicamente diferente da escarpa da vertente W, uma vez que seu controle



estrutural não é tão expressivo quanto á outra. Considerando que a serra do Camelo faz parte da história evolutiva do Maciço Pereiro, ela não se apresenta com facetas trapezoidais e triangulares. Se destaca por outras formas erosivas mais expressivas como anfiteatro erosivo, boqueirão e entalhe de drenagem, como pode ser visto na imagem B da Figura 39 e na Figura 40.



**Figura 39:** Incelbergs.

A definição do 5º táxon, embora seja limitada pela a escala adotada, já que para esta metodologia de classificação taxonômica do relevo é representável cartograficamente apenas em uma escala de 1:25.000 ou maior que isto, optou-se por realizar a classificação, no entanto de forma limitada. Desta forma, a definição deste táxon usa os dados morfométricos do projeto Topodata, mesmo que forma genética (escala muito pequena do Topodata), e os perfis topográficos de diversos setores da bacia que se referem às partes das vertentes de cada uma das formas de relevo.

As vertentes de cada tipologia de forma são geneticamente distintas, e cada um dos setores dessas vertentes pode representar características geométricas, genéticas e dinâmicas diferentes (TOMINAGA, 2000). Assim, mesmo não sendo a escala mais apropriada houve a representação de setores de vertentes ou formas dos topos, que pode ser do tipo escarpada (Ve), convexa (Vc), retilínea (Vr), côncava (Vcc), em patamares planos (Vpp) e inclinados (Vpi), topos convexos (Tc), topos planos, entre outros. Assim, de acordo com a Figura 38 anterior, esta definição dos táxons usou os perfis topográficos para inferir sobre os tipos de vertentes dos tipos de



formas do relevo que correspondem ao 5º táxon. Assim, as vertentes apresentam topos retilíneos.

## **6.2 Compartimentação geomorfológica da Sub-bacia do Riacho Santana**

A Figura 42 apresenta a compartimentação geomorfológica da Sub-bacia do Riacho Santana em que sintetizou em uma única carta a fusão de diversos dados obtidos resultando na classificação de cada táxon do relevo. Nesta carta é possível perceber a compartimentação do relevo na morfoescultura, em que há os inselbergues, a planície fluvial, os maciços residuais e a depressão sertaneja. Nestas morfoesculturas foram identificados os padrões de formas semelhantes, se estes são denudacionais ou agradacionais. E, ainda, dentro dos padrões de formas semelhantes foi possível inferir sobre o grau de entalhamento dos vales, e a sua dimensão interfluvial média conforme já mencionado.

Este tipo de compartimentação do relevo pode servir de aparato científico para estudos de cunho ambiental, sobretudo o planejamento ambiental e do território, uma vez que muitas das informações acerca do relevo irão relevar o diagnóstico de determinada área, a partir do qual se conhece a declividade do lugar, as formas de relevo e os processos envolvidos. É possível também com bases nas classes taxonômicas gerar outros produtos referentes à vulnerabilidade morfodinâmica, em que se pode estudar de acordo com as características físicas do lugar (litologia, cobertura vegetal e pluviosidade) e as formas do relevo (tipos dos topos e declividade), as áreas de estabilidade (natural, antrópica ou moderada) e instabilidade morfodinâmica (alto grau). São ainda informações que também auxiliam na identificação de zonas passíveis de inundações, aqueles lugares que há ocupação humana e em razão do tipo e modelado do relevo pode inundar; áreas de acentuada declividade com escarpas de vertentes e morros, que não podem ser ocupadas, e ainda correm riscos de deslizamentos, de escorregamentos de material lamoso quando for o caso, ou desmoronamento de blocos de rochas em um fenômeno de caos de blocos. São exemplos de situações em que há a aplicabilidade de estudos da compartimentação geomorfológica





## Compartimentação Geomorfológica da Sub-bacia do Riacho Santana-RN

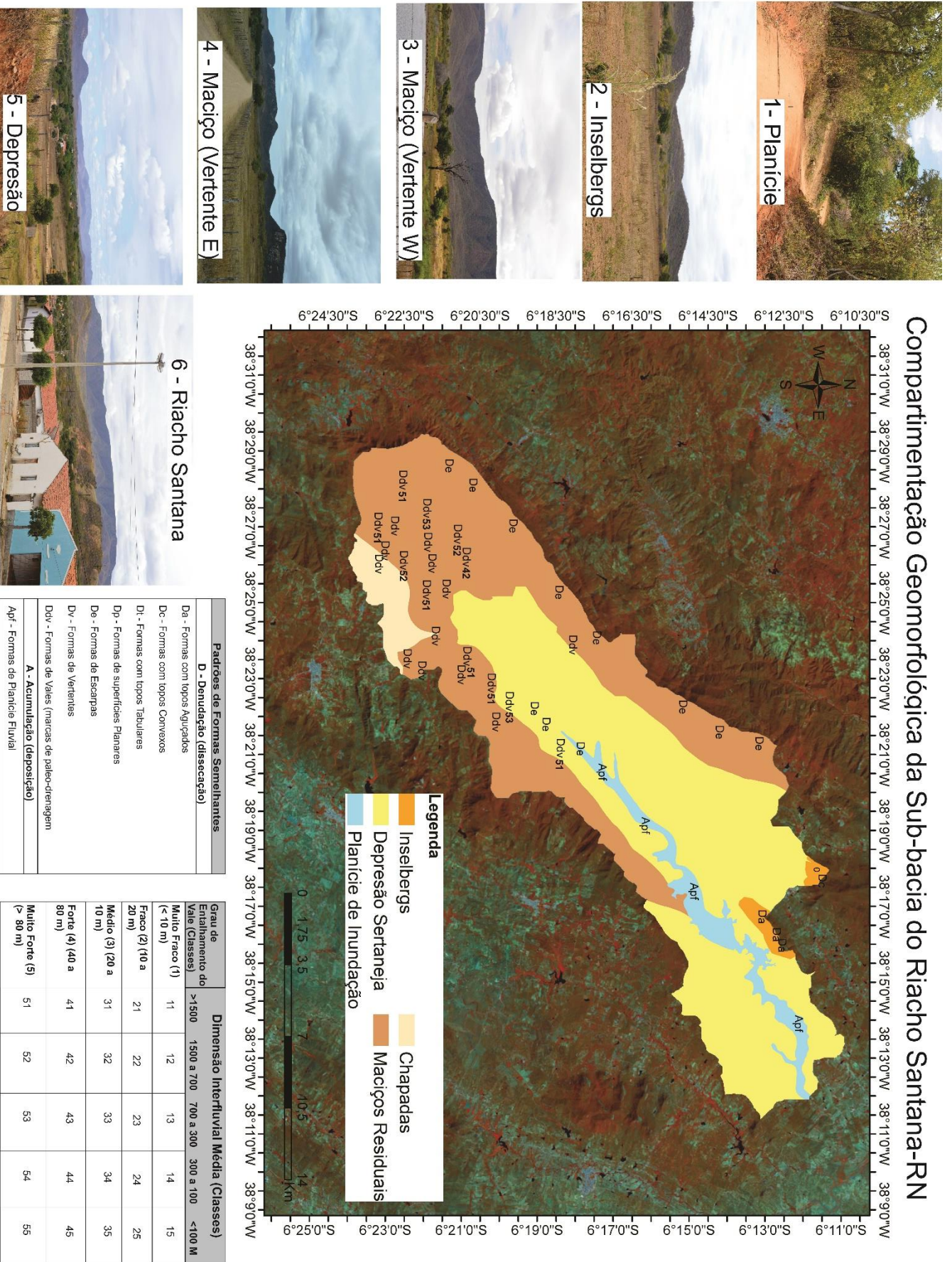


Figura 40: Compartimentação do Relevo da Sub-bacia do Riacho Santana



Para melhor detalhar este mapa da Figura 41, apresentamos a seguir a Tabela X que sintetiza os dados contidos no mapa relacionado-os com a litologia, solo, cobertura vegetal e uso do solo. É uma tabela que pode dar suporte a alguns outros trabalhos ambientais no que diz respeito a fragilidade ambiental da sub-bacia.

**Tabela 7:** Síntese de compartimentação do relevo

<b>Unidade Morfoestrutural Escudo Cristalino</b>					
<b>Unidades Morfoesculturais</b>	<b>Variáveis do meio físico (Atributos Morfodinâmicos)</b>				
	<b>Modelado</b>		<b>Litologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Cobertura Vegetal e Uso do Solo</b>
	<b>Tipo de Forma</b>	<b>Morfometria</b>			
<b>Depressão Sertaneja</b>	De, Ddv 53, Formas de escarpas e Formas de vales com grau de entalhamento muito forte	Declividade e predominante de 6 – 12 %	Predomínio de ortognaisses granodioríticos com restos de metassedimentos	Predomínio do Luvissole, solos rasos a pouco profundos com horizonte B textural e elevado potencial nutricional	Grande predomínio de Mata de Várzea associada com Capoeira e com alguma presença de Caatinga baixa; Exploração agrícola de milho e feijão.
<b>Maçiços Residuais</b>	De, Ddv, Formas de Escarpas e Formas de vales	Declividade e predominante > 20 %	Biotita augen gnaisses e ortognaisses (vertente W); biotita xistos; hornblenda e/ou biotita granitos	Argissolo vermelho/amarelo, solos medianamente profundos a profundos com boa fertilidade	Mata seca, Caatinga alta (vertente W), Caatinga baixa e Mata seca (vertente E); Cultura de subsistência.
<b>Inselberg</b>	Dc, Da, formas com topo convexos e Formas com topos aguçados	Declividade e predominante > 20 %	Predomínio de ortognaisses granodioríticos com restos de metassedimentos e Biotita augen gnaisses e ortognaisses	Predominio de Neosolo litolico, solo pouco profundo e desenvolvido, propicio a atividade erosiva intensa	Caatinga baixa, agricultura de sequeiro
<b>Planície de inundação</b>	Apf, formas de planície fluvial	Declividade e predominante entre 0 – 2 %	Depósitos aluvionais: areis, cascalho e níveis de argila.	Neosolo flúvico, fertilidade natural alta e horizontes medianamente profundos	Mata de várzea, associada com Capoeira, exploração agrícola, com plantio de arroz, feijão, mandioca e frutíferas

**Fonte:** Adaptada de Ross (1992) e Costa (2015)



Por fim, embora as atividades antrópicas entrem no 6º táxon, conforme a proposta de Ross (op cit), esta pesquisa não abordou este táxon em função da escala. Não houve o detalhamento do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Riacho Santana. No entanto, as próximas imagens mostram a interação entre o meio natural da sub-bacia e sua ocupação urbana (município de Riacho Santana), em que os moradores desta região convivem cercados por uma geomorfologia bastante expressiva sobretudo em função das serras que circundam o local, a Serra de São José (porção W) e Serra do Camelo (porção E). É possível perceber os limites entre o pedimento (setor rebaixado no qual se encontra a ocupação urbana) e as vertentes das serras. É uma distância relativamente curta entre as próprias feições de relevo e as residências dos moradores, o que mostra que quaisquer processos morfodinâmicos que eventualmente possam acontecer, de alguma forma ou de outra podem afetar a comunidade local, em que podemos citar, por exemplo, mesmo que em um prognóstico (conforme as futuras alterações naturais que modelam o relevo), a ocorrência de caos de blocos, de escorregamentos nos sopés das vertentes.







**Figura 41:** Município Riacho de Santana rodeado pelas serras de São José (foto superior) e do Camelo (foto inferior).  
**Fonte:** Acervo pessoal.

A sub-bacia ela percorre alguns outros municípios, assim como abrange diversas pequenas comunidades rurais, mas em especial o Riacho de Santana, o qual dar o nome a referida área de pesquisa. Este município que tem sua economia movimentada em função dos festejos juninos, mesmo bem pequeno, demonstra saber





aproveitar este potencial turístico em função da paisagem, e a prova disto é uma grande praça pública que se aproveita da declividade local e se estende por uma significativa parte central do município com um mirante, além de espaços para eventos públicos. Pode-se dizer que este mirante é um ponto forte para o Riacho Santana, pois propicia uma visão privilegiada frente as estas expressivas manifestações do relevo local, como a escarpa da Serra de São José (setor W) e suas belíssimas facetas triangulares, como a prova viva do trabalho de modelagem do relevo no tempo presente.



## 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) através do Sensoriamento Remoto e as técnicas do Geoprocessamento tem se mostrado de suma importância para a caracterização morfológica das diversas regiões geográficas, pois conciliam o levantamento, a análise e o gerenciamento das informações necessárias para sua realização. Nesta pesquisa em questão se fez bastante uso de elementos que fazem parte a este ramo da ciência já citado, como por exemplo as imagens de satélite, em questão Landsat8, bem como as imagens de radar, como as imagens da Nasa e do Topodata. Foram responsáveis desde a extração de dados primários, como declividade, hipsometria, relevo sombreado, até a fotointerpretação, que auxilia de forma grandiosa o pesquisador no reconhecimento de campo, bem como as próprias unidades e feições do relevo, a partir de perspectiva 3D e perfis topográficos.

Os trabalhos desta natureza são imprescindíveis para o reconhecimento e representação do modelado da superfície terrestre. Antes de submeter a uma área certo tipo de uso, é necessário conhecer e, principalmente, compreender os processos, as fragilidades e as potencialidades peculiares a ela, como parte do processo de conservação dos recursos naturais, a partir do seu uso sustentável. No entanto, há que se salientar a questão da dificuldade de interpretação automática, uma vez que tais procedimentos requerem a interpretação visual e o auxílio de edições manuais em certas etapas de poligonização de feições, o que torna a prática do mapeamento semi-automatizada. Outro ponto vital é a necessidade de ampliação e melhoria das informações, como o estabelecimento da gênese e idade do relevo.

Além das dificuldades de levantar dados sobre o ambiente, temos ainda as atividades humanas afetando cada vez mais intensamente os recursos naturais devido à introdução de novas técnicas no cotidiano, além de ocupações indevidas em lugares não propícios e a falta de ordenamento e planejamento do território. E isso desencadeia processos de degradação ambiental que atingem, além do ambiente natural, o próprio homem, como se observa nos espaços urbano e rural que, atualmente, buscam formas de mitigar e/ou evitar os efeitos negativos das atividades antrópicas.

Visando contribuir para a mitigação das problemáticas ambientais, com base



na produção de conhecimento e aporte científico, esta pesquisa foi norteadada pela necessidade da realização de estudos que possibilitem a compreensão geomorfológica e ambiental do espaço, com a pretensão de contribuir para o planejamento ambiental e territorial. Nesta perspectiva, o estudo geomorfológico com a compartimentação do relevo mostra-se um importante instrumento de análise do relevo em suas diversas escalas, fornecendo dados e informações, bem como permitindo fazer inferências sobre sua morfodinâmica, alcançando assim as dimensões dos processos geomórficos. É importante ressaltar que a utilização das tecnologias para mapeamento, cartografia geomorfológica, ou até mesmo compartimentação do relevo, como o Sensoriamento Remoto e o SIG, devem estar atreladas à pesquisa de gabinete e de campo para garantir um resultado final satisfatório e confiável.

Foram apresentadas as premissas fundamentais do projeto TOPODATA: a extensão do território nacional sob carência de mapeamentos; as facilidades atuais de tratamento digital de dados topográficos; e a recente disponibilidade de modelos digitais de elevação com ampla cobertura configuram uma situação interessante para a utilização de métodos paramétricos de análise do relevo. A evolução do uso de dados topográficos em estudos do meio físico deve se intensificar à medida que bases de dados se tornarem disponíveis e mais facilmente incorporados no fluxo dos trabalhos de pesquisa ou da cadeia produtiva. Tais ganhos estão condicionados sobretudo às possibilidades de análise dos recursos existentes e das características dos dados SRTM nas diferentes situações de relevo.

O delineamento de pré-amostragem para o levantamento de aspectos diversos da paisagem trará também ao sensoriamento remoto (orbital e multi-espectral) maiores possibilidades de aplicação. Isto se comprova pelo fato que inferências ocasionais sobre pequenas áreas caracterizadas em campo podem assim ter sua distribuição espacial definida em compartimentos topográficos. A isto soma-se uma ampliação do arcabouço metodológico dos estudos do meio físico que envolvem sensoriamento remoto orbital, o que eleva o nível de aplicação das informações inseridas a partir do imageamento por satélites.

Portanto, conclui-se que é possível a realização satisfatória de estudos geomorfológicos a partir da geração de produtos cartográficos obtidos em ambiente Sig e trabalhados em softwares de geoprocessamento. Os dados base para os



processamentos são muitas vezes disponibilizados de forma gratuita e livre sem tanto conhecimento por parte do público, e isto algumas vezes vem a ser uma limitação para o desenvolvimento de pesquisas científicas de cunho ambiental. Desta forma, este estudo de caso da sub-bacia do Riacho Santana serve como uma orientação para guiar quanto a alguns processos executáveis na ciência Geomorfologia.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDON, Myrian de Moura. **Os impactos ambientais no meio físico: erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AB'SÁBER, A. N. **Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário**. São Paulo: IGEOG USP, 1969.

ANGELIM, Luiz Alberto de Aquino. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte**. 2006.

ANDRADE LIMA, D. The Caatings dominium. **Estratégias de controle de invasão biológica por *Prosopis juliflora* (Sw.) DC** na Caatinga e ecossistemas associados. Revista Brasileira de Botânica, São Paulo. v.4, p. 149-153,1981. In GONÇALVES, G. S. Universidade Federal da Paraíba. Centro de ciências agrárias. Areia/PB, 2011. 81p.

ARAÚJO, A. C. **A variabilidade pluviométrica no município de Caicó/RN: uma análise do período de 1996-2011**. Monografia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ensino Superior do Seridó. Departamento de Geografia. Caicó, 2013. 67p.

ARGENTO, M. S. F. Mapeamento Geomorfológico. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. da (Org). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995, p. 365-391.

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

BERTALANFFY, L. V. General system theory. **General systems**, v. 1, n. 1, p. 11-17, 1956.

BERTRAND, Georges; TRICART, Jean. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.

BEZERRA, F. H. R., VITA-FINZI, C., 2000. **How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil**. *Geology* 28, 91–59

BIGARELLA, João José; DE ANDRADE, Gilberto Osório. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. **Geological Society of America Special Papers**, v. 84, p. 433-452, 1965.

BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 269-300, 1999.

BOTELHO, Rosângela Garrido Machado; SILVA, AS da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro:



**Bertrand Brasil**, p. 153-192, 2004.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, EJ dos; VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. **Tectonic Evolution of South America**, v. 1, p. 151e182, 2000.

BURROUGH, P. A AND MCDONNELL, R. A. 1998. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxford University Press. 333 p.

CAILLEUX, A. & TRICART, J. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. In: Armand Colin (Org). **Annales de Géographie**. Paris: Armand Colin, 1956, p.162 -186.

CASSETI, VALTER. GEOMORFOLOGIA. 2005. **LIVRO ONLINE PARA DOWNLOAD. DISPONÍVEL EM< [HTTP://WWW. FUNAPE. ORG. BR/GEOMORFOLOGIA/](http://www.funape.org.br/geomorfologia/)>. ACESSO EM, V. 28, 2016.**

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Blucher,1980.

COSTA, L. B. D., CUNHA, F. S., & LIMA, E. C. (2014). **ANÁLISE GEOAMBIENTAL INTEGRADA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO SANTANA, COMO SUBSIDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL**. *Revista Geotemas*, 4(1), 27-37.

COSTA, L. B. **Análise e proposta de zoneamento geoambiental da sub-bacia hidrográfica do Riacho Santana, sudoeste do Rio Grande do Norte**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciência Humanas. Mestrado em Geografia, 2015. 135p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município Rafael Fernandes, estado do Rio Grande do Norte**. Organizado [por] João de Castro Marcarenhas; Breno Augusto Beltrão; Luiz Carlos de Souza Junior; Saulo Tarso Monteiro Pires et al. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município Riacho de Santana, estado do Rio Grande do Norte**. Organizado [por] João de Castro Marcarenhas; Breno Augusto Beltrão; Luiz Carlos de Souza Junior; Saulo Tarso Monteiro Pires et al. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CREPANI, E. & MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia**. São José dos Campos: INPE. 2004.

CUNHA, C. M. L. & QUEIROZ, D. S. A cartografia geomorfológica de detalhe: uma proposta visando à multidisciplinaridade. **CLIMEP-Climatologia e Estudos da**



**Paisagem**, v. 7, n. 1-2, 2012.

CUNHA, C. M. L. A Cartografia geomorfológica em áreas litorâneas. 2011. Tese de Doutorado. Rio Claro, 2011.

CUNHA, Cenira Maria Lupinacci; PINTON, Leandro Godoi. A CARTOGRAFIA DO RELEVO COMO SUBSÍDIO PARA A ANÁLISE MORFOGENÉTICA DE SETOR CUESTIFORME. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 12, n. 27, p. 149-158, 2013.

DANTAS, M. E.; FERREIRA, R. V. RELEVO. In: Pfaltzgraff, P. A. dos S.; Torres, F. S. de M. (Org.). **Geo-diversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2010.

DAVIS, W. M. The geographical cycle. **The Geographical Journal**, v. 14, n. 5, pp. 481-504. 1899.

DE CARVALHO, Thiago Morato; BAYER, Maximiliano. Utilização dos Produtos da "SHUTTLERADARTOPOGRAPHYMISSION"(SRTM) no Mapeamento Geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, 2008

DE CARVALHO, Thiago Morato; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, 2004.

DE OLIVEIRA, Paula Cristina Almeida; RODRIGUES, Sílvio Carlos. Cartografia do relevo: um estudo aplicado na região oeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia-Ano**, v. 8, n. 2, 2007.

DE SÁ, EF Jardim; LEGRAND, J. M.; MCREATH, I. " Estratigrafia" de rochas granitoides na região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. **Brazilian Journal of Geology**, v. 11, n. 1, p. 50-57, 1981.

Demek, J. Generalization of Geomorphological Maps, **Progress Made in Geomorphological Mapping**, Brno, 1967.

DONÉ, S. S. B. Mapas Geomorfológicos e suas legendas. **Uma contribuição para estudos analíticos**. Notas Geomorfológicas, Campinas, v. 21, n. 41, p. 85-110, 1981.

DYMOND, J. R.; DEROSE, R. C.; HARMSWORTH, G. R. 2006. **Automated mapping of land components from digital elevation data**. Earth Surface Process and Landforms. Volume 20, Issue 1, p. 131-371.

FAN, F.M; COLLISCHONN, W. **Manual Arc-Hydro para aplicação do modelo MGBIPH.. Engineering And Remote Sensing**, vol. 54, n. 11, p. 1593-1600, nov. 1988.



FELGUEIRAS, C. A. Apostila do Curso de Modelagem Digital de Terreno e Aplicações. **INPE, São José dos Campos, 48p**, 1997.

FELIPE, J. L. A. ; CARVALHO, E. A; ROCHA, E. A . **Atlas do Rio Grande do Norte: espaço geo-histórico e cultural**. João Pessoa: Grafset, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagens TM-Landsat e HRV-SPOT na elaboração de cartas geomorfológicas de uma região do rio Taquari, MS**. Brasília: Pesq. Agropec. Brasileira. v. 33, nº especial,p. 1721-1727. 1998.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia, Conceitos e Tecnologias atuais**. 2008.

GUERRA, A. G. *et al.* **Perfil do Rio Grande do Norte**. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E MEIO AMBIENTE. 2012.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, Maria Daniely Freire; DE SOUZA, Marcos José Nogueira; LUSTOSA, Jacqueline Pires Gonçalves. Revisitando a teoria geossistêmica de Bertrand no século XXI: aportes para o GTP (?). *Geografia em Questão*, v. 5, n. 2, 2012.

GURGEL, Silvana Praxedes de Paiva. **Evolução morfotectônica do maciço estrutural pereiro, Província Borborema**. 2012.

GUSTAVSSON, M.; KOLSTRUP, E.; SEIJMONSBERGEN, A. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. **Geomorphology**, n. 77, p. 90–111, 2006.

HANCOCK, G. R. & WILLGOOSE, G. **The production of digital elevation models for experimental model landscapes**. *Earth Surface Processes and Landforms*. Volume 26, Issue 5, Pages 475 – 490. 2001.

HUTCHINSON, M. F. & GALLANT, J. C. 2000. **Digital elevation models and representation of terrain shape**. In: Wilson, J. P. & Gallant, J. C. (Eds.) *Terrain analysis: principles and applications*. New York: John Wiley & Sons. p. 29 – 50.

IBGE, **Censo demográfico 2010**. 2016. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 18 jun.

IBGE, **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2ª ed., 2009

IBGE, **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: IBGE, 2ª ed., 2004. 332p.

IDEMA. **Aspectos Físicos do RN**. Disponível em< [www.idema.rn.gov.br/governo/secretarias/idema/.../Aspectos-fisicos.pdf](http://www.idema.rn.gov.br/governo/secretarias/idema/.../Aspectos-fisicos.pdf)>. Acesso em:





13 jun. 2016.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981.  
JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. **Extracting Topographic Structure from Digital**

Kohler, H. C. A escala na análise geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 3, n. 1, 2001.

LIMA, K. C., DA CUNHA, C. M. L., & PEREZ FILHO. A. Dificuldade e possibilidades da cartografia geomorfológica no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, n. 65-66, 2013.

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. W. **Geographic information Systems and Science**. England: Wiley, 454p. 2001.

LOBÃO, Jocimara Souza Brito; VALE, Raquel de Matos Cardoso. Microbacias na Região do Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC): Um Modelo em SIG para Análise Ambiental. **Anais do XIII SBSR-Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis-SC, Brasil**, p. 21-26, 2007.

MAIA, R. P. **Neotectônica e Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró**. Natal: UFRN, 2012. 242 p. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Geomorfologia e mapeamento temático da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, Nordeste do Brasil. **Revista Geonorte, Edição Especial**, v. 2, n. 4, p. 510 – 519. 2012.

MAIA, R. P.; AMARAL, R. F. do; GURGEL, S. P. P. **Geomorfologia do Estado do Rio Grande do Norte**. ALBANO, G. P.; FERREIRA, L.; ALVES, A. M. In: Capítulos de Geografia do Rio Grande do Norte. Natal: Fundação José Augusto, 2013. 237p..ii.(coleção Cultura Potiguar, nº44).

MABESOONE, J. M.; CASTRO, C. de. Desenvolvimento geomorfológico do nordeste brasileiro. **Boletim do Núcleo Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 3, p. 5-35, 1975.

MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: an introduction**. England: Wiley. 292p. 1999.

MATOS, R. M. D. de, 1992. **The Northeast Brazilian rift system**. *Tectonics*: v. 11, n. 4, p. 766-791.

MENEGHETTI, G. T.; FERREIRA, N. J. **Variabilidade sazonal e interanual da precipitação no Nordeste Brasileiro**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p.1685-1689. Disponível em: [marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.../1685-1689.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.../1685-1689.pdf). Acesso em: 12 jun. 2016.



MEŠČERJAKOV, J. P. Les concepts de morphostructure et de morphosculpture, un nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. **Annales de Géographie**, v. 77, n. 423, p. 539-552, 1968.

NETO, M. C. P. **Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB – Brasil)**. 2013. Dissertação (Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia) – UFRN. Natal, 2013.

NUNES, B. A.; RIBEIRO, M. I DE C.; ALMEIDA, V. J.; NATALI FILHO, T. **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1994. 113p.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D.M. **The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetric Elevation Data**. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, n. 28, p. 323-344, 1984

OGUCHI, T. GIS APPLICATIONS IN GEOMORPHOLOGY – A REVIEW. IN: **VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, 2006, GOIÂNIA, GO. ANAIS... GOIÂNIA: UBG, 2006. LECTURES, P.10

OLIVEIRA JÚNIOR, E. T. **Bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró: macroinvertebrados como bioindicadores e a percepção ambiental dos pescadores e marisqueiras do seu entorno**. Dissertação (Mestrado) – UFPB/PRODEMA. João Pessoa, 2009. 115p.

PENCK, W. **Morphological analysis of land forms: a contribution to physical geology**. MacMillan and Company, 1953.

PENCK, W., & PENCK, A. **Die morphologische Analyse: ein Kapitel der physikalischen Geologie**. Engelhorn, 1924.

PENTEADO, Margarida M. Fundamentos de Geomorfologia. 3a edição. **IBGE, Rio de Janeiro, 185p**, 1980.

PEULVAST, J. & CLAUDINO-SALES, V. Aplainamento e Geodinâmica: revisitando um problema clássico em geomorfologia. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, n. 1, 2002.

PILESJÖ, P.; ZHOU, Q. **Theoretical Estimation of Flow Accumulation from a Grid-Based Digital Elevation Model**. Proceedings of GIS AM/FM ASIA'97 and Geoinformatics'97 Conference, Taipei, n. 26-29, pp 447-456, 1997.

RAMOS, Verônica Moreira et al. **Avaliação de metodologias de determinação do cálculo de áreas de contribuição**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 4, n. 2, 2003.

RAMME, E.J.; KRUGER, C.M. **Delimitação de bacias hidrográficas com auxílio de geoprocessamento** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17., 2007.



RENNÓ, Camilo Daleles et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

RIBEIRO, S. C., MARÇAL, M. S. & CORREA, A. C. Geomorfologia de áreas semiáridas: uma contribuição ao estudo dos setões nordestinos. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 120-137, 2010.

ROBINSON, A. H. ; MORRISON, J. L.; MUEHRCKE, P. C.; KIMERLING, A. J.; GUPTILL, S. C. **Elements of Cartography**, Sixth Edition, John Wiley & Sons: New York, USA. 1995.

ROCHA, A. B; BACCARO, C. A. D; SILVA, P. C. M; CAMACHO, R. G. V. **Mapeamento geomorfológico da bacia do Apodi-Mossoró – RN – NE do Brasil**. Mercator – Revista de Geografia da UFC. Ano 08, número 17, 2009.

RODAL, M. J. N; MARTINS, F. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. **Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco**. Revista Caatinga, Universidade Federal Rural Do semiárido (UFERSA). (Mossoró Brasil) v.21, n.3, p .192-205, **julho/setembro 2008**.

ROS, D. D. & BORGA, M. **Use of Digital elevation model data for derivation of the geomorphological instantaneous unit hydrograph**. Hydrological Process. Volume 11, Issue 1, p. 13 – 33. 1998.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1991.

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do Relevo**. **Revista do Depto. de Geografia**, v.6, p. 17-29, 1992.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO**. SÃO PAULO, SP: FFLCH/USP E IPT/FAPESP, 1997.  
MAPAS E RELATÓRIO

SAADI, Allaoua; TORQUATO, Joaquim Raul. Contribuição à neotectônica do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**, v. 5, p. 5-38, 1992.

SANTOS, Edinardo et al. **A SECA NO NORDESTE NO ANO DE 2012: RELATO SOBRE A ESTIAGEM NA REGIÃO E O EXEMPLO DE PRÁTICA DE CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIO NO DISTRITO DE IGUAÇU/CANINDÉ-CE**. Revista Geonorte, v. 3, n. 8, p. 819-830, 2012.

SEMARH. **Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos**. Bacias hidrográficas. Disponível em<<http://www.semarh.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBacia.asp>>. Acesso em 20jun. 2016.

SILVA, T. I. & RODRIGUES, S. C. **Tutorial de Cartografia Geomorfológica Arcgis 9.2 e ENVI 4.0**. Revista Geográfica Acadêmica: Uberlândia. 2009.



SMITH, M. J. & CLARK, C. D. **Methods for the visualization of digital elevation models for landform**. Earth Surface Process and Landforms. Volume 30, Issue 7, P. 885-900. 2005

SOBRINHO, Teodorico Alves et al. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. 2010.

SOUZA, L. H. D. F. **Representação Gráfica de feições lineares do relevo: proposta de aplicação de simbologia linear digital na cartografia geomorfológica**, 2006. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia). Orientador: Prof. Dr. Sílvio Carlos Rodrigues, 2006.

SUERTEGARAY, D. M. A.. **Feições ilustradas**. 2008. Porto Alegre: Editora da UFRGS.

TOMINAGA, Lídia Keiko. **Análise morfodinâmica das vertentes da serra do Juqueriquerê em São Sebastião-SP**. 2000. Tese de Doutorado. apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução a Climatologia**. São Paulo: cengage learning, 2011.

TORRES, F. T. P.; NETO, R. M. & MENEZES, S. O. **Introdução a Geomorfologia**. 1ª edição. 2013.

TRICART, J. Divisão morfoclimática do Brasil central. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 31, p. 3-44, 1959.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson et Cie. Editeurs, 1965.

VALENÇA FERREIRA, Rogério. **Mapeamento geomorfológico e de processos erosivos da bacia hidrográfica do Rio Botafogo-PE, utilizando técnicas de geoprocessamento**. Tese de Doutorado, Programa de Pós graduação em geociencias, UFPE, 2008.

VALERIANO, M. M. 2004. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE. 72p.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 1-8

VALERIANO, M. M. 2007. **Visualização de imagens topográficas**. Florianópolis: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. 1377 - 1384p.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). **Ecorregiões: propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste: Instituto





de Conservação Ambiental, 2002. 75 p.

VERSTAPPEN, H. T., & VAN ZUIDAM, R. A. **ITC System of geomorphological survey**. Enschede: ITC, 1975.

Vitte, A. C. A Construção da geomorfologia no Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, 2011.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Digital terrain analysis**. In: Wilson, J. P. & Gallant, J. C. (eds.). *Terrain analysis: principles and applications*. New York: John Wiley & Sons. p. 4-27.2000.

ZACHARIAS, A. A. **Metodologias Convencionais e Digitais Para a Elaboração de Cartas Morfométricas do Relevo**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2001