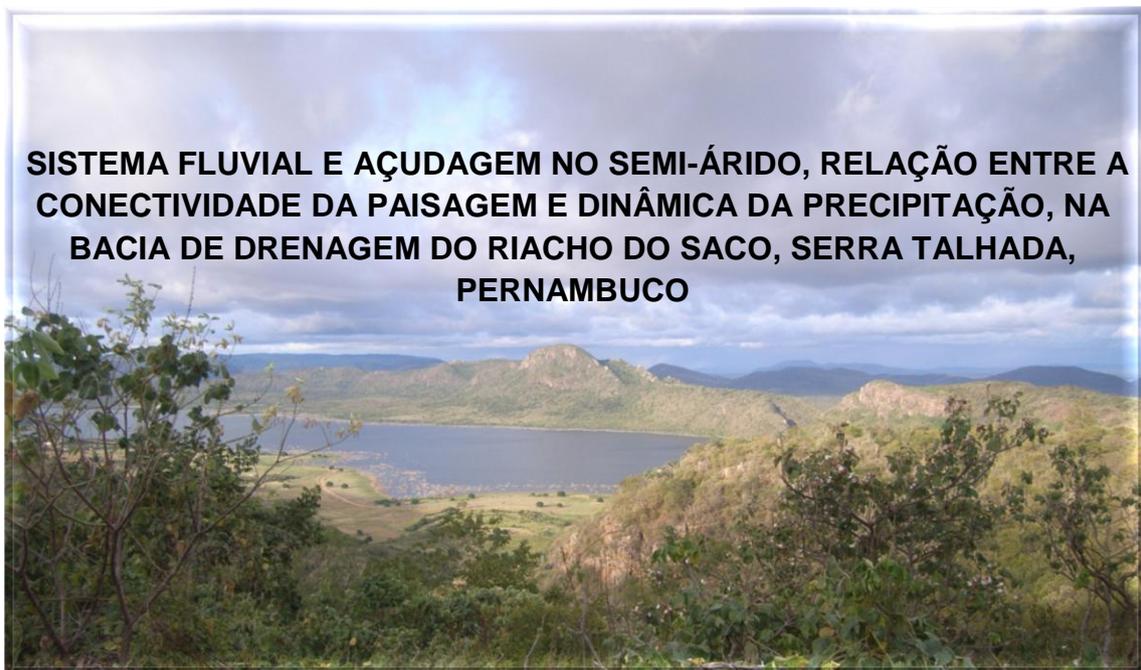


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS – DCG**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGeo**



**SISTEMA FLUVIAL E AÇUDAGEM NO SEMI-ÁRIDO, RELAÇÃO ENTRE A  
CONECTIVIDADE DA PAISAGEM E DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO, NA  
BACIA DE DRENAGEM DO RIACHO DO SACO, SERRA TALHADA,  
PERNAMBUCO**

**AUTOR: JONAS OTAVIANO PRAÇA DE SOUZA.**

**ORIENTADOR: PROF. Dr. ANTONIO CARLOS DE BARROS CORRÊA.**

**RECIFE, 2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS – DCG**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGeo**

**SISTEMA FLUVIAL E AÇUDAGEM NO SEMI-ÁRIDO, RELAÇÃO ENTRE A  
CONECTIVIDADE DA PAISAGEM E DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO, NA  
BACIA DE DRENAGEM DO RIACHO DO SACO, SERRA TALHADA,  
PERNAMBUCO**

**AUTOR: JONAS OTAVIANO PRAÇA DE SOUZA.**

**ORIENTADOR: PROF. Dr. ANTONIO CARLOS DE BARROS CORRÊA.**

Dissertação de Mestrado  
apresentada por Jonas Otaviano  
Praça de Souza ao Programa de  
Pós-Graduação em Geografia da  
Universidade Federal de  
Pernambuco, para obtenção do  
título de Mestre em Geografia

**RECIFE, 2011**

Catálogo na fonte

S729s Souza, Jonas Otaviano Praça de

Sistema fluvial e açudagem no semi-árido, relação entre a conectividade da paisagem e dinâmica da precipitação, na bacia de drenagem do riacho do saco, Serra Talhada, Pernambuco / Jonas Otaviano Praça de Souza. – Recife: O autor, 2011.

166 p. : il., 30 cm.

Orientadora : Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa.

Bibliotecária Divonete Tenório Ferraz Gominho, CRB4-985

Ata da sessão de arguição do mestrando Jones Otaviano Braga Souza do Programa de Pós-graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Pernambuco

Em 24 (vinte e quatro) dias do mês de fevereiro de 2011 (véspera e onze), reuniu-se a comissão composta dos seguintes professores: Iônio Carlos de Barros Costa (orientador), Mônica dos Santos Maciel eIVALDO GILSON DA SILVA SOUZA, sob a presidência do primeiro, procederem ao exame da dissertação de mestrado de Jones Otaviano Braga Souza, sob o título "Sistema Eluvial e Uedagem no Semi-Árido, relação entre a conectividade da Paisagem e Dinâmica da Precipitação na Bacia de Drenagem do Rio do Saco, Serra Talhada, Pernambuco". Iniciados os trabalhos, a presidência informa os objetivos da reunião, salientando a regulamentação em vigor. Em seguida concede a palavra ao autor da dissertação para que, de maneira sucinta, apresentasse o mencionado trabalho. Após exposição do assunto e arguição, os componentes da banca examinadora reúnem-se em caráter reservado para deliberação do parecer a ser atribuído, considerando a referida dissertação "A VADA". Sendo o assunto específico da reunião, a presidente encerra a sessão e para constar em Boa Fé, assinamos, Jones Otaviano Braga Souza, deixei a presente ata que dele e assinamos juntamente com os demais presentes. Recife, 24 de fevereiro de 2011.

x Iônio Carlos de Barros Costa  
 x Mônica dos Santos Maciel  
 x IVALDO GILSON DA SILVA SOUZA  
 x Jones Otaviano Braga Souza

OBS: Sendo efetuadas as alterações sugeridas pela banca há sugestão de publicação.

## AGRADECIMENTO

Ao professor Dr. Antônio Carlos Barros Corrêa pela orientação e acompanhamento da presente dissertação, como também durante a graduação.

A minha família que mesmo longe sempre me apoiou nesses dois anos.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Osvaldo Girão e Prof<sup>a</sup>. Dra. Mônica dos Santos Marçal, por aceitarem avaliar e contribuir com o presente trabalho.

À Pós-Graduação de Geografia da UFPE, funcionários e professores, por toda ajuda durante os dois anos do curso.

À Ana Clara Magalhães de Barros e Évio Marcos, pela ajuda no tratamento dos dados e pelo apoio no campo e nos estudos da bacia. A Diogo Galvão pela direção off-road no campo.

À Danniele Gomes, Lucas Cavacanti e Keyla Manuela, pelo apoio e conversas esclarecedoras sobre o trabalho.

Aos companheiros de grupo de pesquisa pelos debates científicos, ou não; Kleython Monteiro, Bruno de Azevedo, Ronaldo Missura.

Aos demais amigos do departamento de Geografia da UFPE.

À Hanna Lima pelo apoio e companhia nos últimos 10 meses, e por ter suportado e me ajudado a suportar as pressões dos últimos meses.

Por fim, a todas as pessoas que ajudaram de uma forma ou de outra na elaboração deste trabalho.

**SUMÁRIO**

<b>AGRADECIMENTO</b>	<b>III</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMO</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XIV</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO GERAL</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>5</b>
<b>1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Aspectos regionais</b>	<b>9</b>
<b>1.2. Geologia</b>	<b>9</b>
<b>1.3. Clima</b>	<b>10</b>
<b>1.4. Vegetação</b>	<b>15</b>
<b>1.5. Solo</b>	<b>17</b>
<b>1.6. Hidrografia</b>	<b>24</b>

1.7.	Uso e ocupação	29
2.	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>32</b>
2.1.	Sistemas ambientais	32
2.2.	Sistema fluvial	37
2.3.	Sensitividade da paisagem	45
2.4.	Dinâmica da precipitação nas terras secas	52
2.5.	Processos fluviais e formas resultantes nas terras secas	55
2.6.	Conectividade da paisagem	66
3.	<b>METODOLOGIA</b>	<b>84</b>
3.1.	Metodologia climática	86
3.2.	Mapeamentos bases	89
3.3.	Mapeamento geomorfológico	90
3.4.	Mapeamento de uso do solo	92
3.5.	Mapeamento de conectividade da paisagem e das áreas de captação efetiva	93
4.	<b>RESULTADO E DISCUSSÕES</b>	<b>97</b>
4.1.	Análise e tipologia dos eventos chuvosos	97
4.2.	Análise dos mapeamentos bases	99
4.3.	Análise do mapa geomorfológico	104
4.4.	Análise do mapa de uso do solo	115
4.5.	Análise do mapa de conectividade da paisagem e da área de captação efetiva	122

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>138</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>141</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Bacia do riacho do Saco.....	6
Figura 2: Patamares altimétricos da bacia do riacho do Saco. ....	7
Figura 3: Mapa de classes de solo (2º nível categórico) da bacia do riacho do Saco. Adaptado de Brasil (1972) e Silva <i>et al</i> (2001).....	18
Figura 4: Catena típica do contato entre pedimentos e maciços residuais na depressão sertaneja. Exemplo obtido na Serra do Poço, município de Poço das Trincheiras, Alagoas. Fonte: CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, em prelo....	21
Figura 5: Catena típica de planaltos em rocha cristalina. Exemplo obtido no município de Santa Cruz da Baixa Verde, Pernambuco. Fonte: CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, Em prelo. ....	22
Figura 6: Mapa de recursos hídricos da bacia do riacho do Saco.....	25
Figura 7: Perfil Longitudinal do riacho do Saco (perfil 01) e de seus dois principais afluentes (perfil 02 e 03). Relação entre a altimetria e a distância da cabeceira dos rios, dados em metros.....	26
Figura 8: Ordem dos canais da bacia do riacho do Saco.....	28
Figura 9: Sequência de procedimentos para identificação dos estilos fluviais (BRIERLEY, FRYIRS, <i>et al.</i> , 2002, tradução do autor). ....	71
Figura 10: Estilos fluviais encontrados em bacias costeiras de New South Wales - Austrália (BRIERLEY, FRYIRS, <i>et al.</i> , 2002, tradução do autor). ....	73
Figura 11: Planta do canal com estilo fluvial semi-árido - confinado leito rochoso com presença de corredeiras e poços (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, <i>et al.</i> , 2009, adaptado dos autores).....	76
Figura 12: Escalas e tipos de conectividades (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006, tradução do autor). ....	78

Figura 13: Modelo espacial de impedimentos e sua relação com a área de captação efetiva e com a escla de tempo efetiva (FRYIRS, BRIERLEY, et al., 2007a, tradução do autor) .....	81
Figura 14: Modelo Digital de Elevação da Bacia do riacho do Saco. ....	100
Figura 15: Mapa de Declividade da Bacia do riacho do Saco .....	102
Figura 16: Exemplo de alguns mapas hipsométricos utilizados.. Cota altimétrica entre as curvas de 20m (A), 50m (B) e 100m (C).....	103
Figura 17: Mapa Geomorfológico de Detalhe da bacia do riacho do Saco ....	105
Figura 18: Lago ao norte da bacia (visível no mapa geomorfológico) na cimeira a 700m. ....	106
Figura 19: Barragem colmatada. ....	107
Figura 20: Cânion, com presença de matacões. ....	108
Figura 21: Canal de cabeceira de drenagem, apresentando sequencia de soleiras e depressões. ....	109
Figura 22: Planície de inundação na entrada da cidade de santa Cruz da Baixa Verde.....	110
Figura 23: Marmita de dissolução em cimeira .....	111
Figura 24: Erosão linear em área com mudanças de cultura. ....	112
Figura 26: Visão do açude do Saco e das cristas. ....	113
Figura 27: Parede do açude, drenagem superimposta. ....	114
Figura 28: Mapa de Uso do Solo da Bacia do riacho do Saco .....	116
Figura 29: Cambissolo háplico sendo preparado para cultivo de cana-de-açúcar, com a presença de cana-de-açúcar ao fundo. ....	117
Figura 30: Tanques redes usados para piscicultura no açude do Saco .....	118
Figura 31: Ponte a jusante da planície de inundação, mostrada na foto 22, à largura do vale fluvial é diminuída a metade nesse ponto.....	120
Figura 32: Barramento de drenagem a montante (esquerda) e erosão a jusante (direita). ....	120

Figura 33: Planície de inundação com a presença de poço amazonas e de pasto. ....	121
Figura 34: Cercas de pedra dividindo propriedades. ....	121
Figura 35: Mapa de (des)conectividade da Bacia do Açude do Saco. Identificação dos elementos limitantes. ....	123
Figura 36: Sub-bacias da bacia do riacho do Saco. ....	125
Figura 37: Declividade dos exutórios das sub-bacias. ....	127
Figura 38: Tipos de impedimento de cada sub-bacia. A – Açude, U – Zona Urbana, E – Estrada, PC – Planície de inundação contínua, PD – Planície de inundação descontínua, L – Leque aluvial, T – Canal tributário preenchido. .	129
Figura 39: Numero de impedimentos de cada sub-bacia .....	130
Figura 40: Área de captação efetiva – eventos de baixa magnitude .....	133
Figura 41: Área de captação efetiva – eventos de magnitude moderada .....	134
Figura 42: Área de captação efetiva – eventos de alta magnitude.....	135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Precipitação em Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde (fevereiro de 2006-dezembro de 2010), dados fornecidos pelo AGRITEMPO.....	12
Tabela 2: Média histórica de precipitação em Triunfo e Serra Talhada, dados fornecidos pelo LAMEPE/ITEP.....	13
Tabela 3: Média histórica de precipitação em Serra Talhada, dados fornecidos dados fornecidos pelo AGRITEMPO.....	14
Tabela 4: Relatório técnico do açude do Saco I. (DNOCS, 1980).....	30
Tabela 5: Matriz de informação de um estilo fluvial semi-árido - confinado leito rochoso com presença de corredeiras e poços (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, <i>et al.</i> , 2009, adaptado dos autores).....	74
Tabela 6: Valores mensais de escoamento superficial em milímetros do município de Santa Cruz da Baixa Verde.....	97
Tabela 7: Valores mensais de escoamento superficial em milímetros do município de Triunfo. As células amarelas representam os eventos de magnitude moderada, e as células em vermelho representam os eventos de magnitude alta. A tabela apresenta como limites mínimos 101 mm e 178 mm para os eventos de magnitude moderada e magnitude alta, respectivamente.	98
Tabela 8: Valores mensais de escoamento superficial em milímetros do município de Serra Talhada. As células amarelas representam os eventos de magnitude moderada, e as células em vermelho representam os eventos de magnitude alta. O ano de 1996 foi retirado por conter erros em vários meses, e por apresentar dados confusos e com pouca confiabilidade nos outros meses. A tabela apresenta como limites mínimos 52 mm e 128 mm para os eventos de magnitude moderada e magnitude alta, respectivamente.....	99
Tabela 9: Área de captação efetiva em diversos cenários de eventos. Área total em Km <sup>2</sup> .....	136
Tabela 10: Área de captação efetiva em diversos cenários de eventos. Porcentagem da área total.....	136

## LISTA DE SIGLAS

AGRITEMPO – Sistema de Monitoramento Agrometeorológico

ASA – Anti-ciclone do Atlântico Sul

ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CCM – Complexo Convectivo de Meso-escala

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DAAS – Disponibilidade de Água Acumulada no Solo

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENOS – El Niño-Oscilação Sul

IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco

LAMEPE – Laboratório de Meteorologia de Pernambuco

LI – Linha de Instabilidade

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital de terreno

NE – Nordeste

PCD – Plataforma de Coletas de Dados

SIG – Sistema de Informação Geográfico

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

SW - Sudoeste

UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco

VCAS – Vórtice Ciclônico de Atmosfera Superior

ZCIT – Zona de Convergência Inter-Tropical

# **SISTEMA FLUVIAL E AÇUDAGEM NO SEMI-ÁRIDO, RELAÇÃO ENTRE A CONECTIVIDADE DA PAISAGEM E DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO, NA BACIA DE DRENAGEM DO RIACHO DO SACO, SERRA TALHADA, PERNAMBUCO**

## **RESUMO**

A gestão de recursos hídricos no semi-árido nordestino está intimamente ligada com a variabilidade anual e interanual de precipitação, o que levou ao estabelecimento de uma rede de infraestrutura hídrica baseada na construção de açudes/barragens, com o objetivo de abastecimento/irrigação para a população, tornando, assim, necessário o gerenciamento desses açudes e de suas áreas de contribuição. Esta pesquisa procurou fazer uma análise do sistema físico da bacia de drenagem do riacho do Saco, localizado no Sertão de Pernambuco, dando ênfase ao sistema fluvial, e a partir disso avaliar a questão do planejamento regional voltado a açudagem no semi-árido brasileiro. Tendo como foco principal a conectividade da paisagem analisando os processos de transporte e sedimentação em ambiente semi-árido. Para tanto foram realizadas análises geomorfológicas e de uso do solo, a partir de mapeamentos 1:25000. Como também classificação dos eventos de precipitação do sistema, baseado nos escoamentos superficiais mensais médios, identificando assim os eventos efetivos do sistema. Essas análises levaram a identificação dos fatores limitantes de transmissão de matéria no sistema, que conjuntamente com a análise climática possibilitou a identificação a área de captação efetiva da bacia mediante três tipos de eventos chuvosos. No cenário de baixa magnitude apenas 33,8 % da bacia contribuíam efetivamente para a rede de drenagem, no de magnitude moderada o valor subia à 61,6 %, essa diferença é resultado da superação dos impedimentos sedimentares; chegando à 70,8% nos eventos de magnitude alta, a pouca variação dá-se a partir do controle dos açudes que interrompem todo transporte de carga de fundo, sendo esse transporte liberado apenas quando há rompimento do açude. Esse tipo de análise pode subsidiar a gestão ativa dos açudes do semi-árido focando a captura dos sedimentos de carga de fundo antes da chegada dos mesmos ao açude, aumentando, assim, a vida útil do mesmo.

**Palavras-chave:** Geomorfologia fluvial; semi-árido; sistema fluvial; mapeamento geomorfológico; conectividade da paisagem

**FLUVIAL SYSTEM AND DAMMING ON THE SEMI-ÁRID, RELATIONSHIP BETWEEN CONECTIVITY AND DYNAMIC OF THE PRECIPITATION, ON DRAINAGE BASIN OF SACO'S CREEK, SERRA TALHADA, PERNAMBUCO.**

**ABSTRACT**

The water resources management in the semi-arid northeast has a close linkage with the annual and inter-annual variability of precipitation, which induced the creation of a hydro infrastructure network based in construction of dams, to use of supply and irrigation to population, being essential the management of these dams and of their contributions areas. This study tried to analyze the physical system of the drainage basin of the Saco's creek, situated in Pernambuco's countryside, with emphasis on the fluvial system, and from of this evaluate the issue of regional planning aimed at damming the semi-arid areas. Having as center of attention landscape connectivity, analyzing process of conveyance and sedimentation in semi-arid environmental. For this were performed analyses geomorphological and of land use, from mappings 1:25000. But also classification of precipitation events of system, based at the average monthly runoff, identifying the effective events of the system. Theses analyses led to identifying of limiting factors of matter transmission in the system, which together with the climatic analyze enabled the identifying of effective catchment area on the basin by three types of rainy events. In the low magnitude scenario only 33,8% of the basin contributed effectively to drainage network, at moderate magnitude this value grew to 61,6%, this variation is result of the overcoming of sedimentary impediments; coming to 70,8% in high magnitude events, this little variation is resulted of the control of the dams which interrupt the transport of all bed load, being this transportation released only when have disruption of the dams. This kind of research can subsidize the active management of the semi-arid dams, focusing the capture of the bed load sediments before them arrive in the dam, rising his useful life.

**Keywords:** Fluvial geomorphology; semi-arid environment; fluvial system; geomorphological mapping; Landscape sensitivity.

## INTRODUÇÃO

A ideia de gerenciamento de recursos hídricos a partir das bacias hidrográficas está cada vez mais presente nas políticas públicas, contudo essa modalidade de gestão, na maior parte das vezes, está focada nos usos da água, esquecendo assim os outros componentes físicos das bacias de drenagem.

Dada à crescente relevância dos estudos de bacias, a partir da emergência dos Comitês de Bacia Hidrográfica, delineia-se a necessidade de pesquisas verticalizadas sobre o sistema físico das bacias, e sua relação com o sistema antrópico, para que a partir dos dados obtidos se possa pensar concretamente em planejamento local.

Dentro da perspectiva de gerenciamento dos usos da água disponível, há uma maior complexidade quando se trata de um ambiente semi-árido sem a presença de um curso d'água perene, nascentes, ou outra fonte de água naturalmente disponível o ano inteiro (VIEIRA, 2003). Essa característica levou ao estabelecimento de uma rede de estrutura hídrica baseada na construção de açudes/barragens tendo como objetivo básico o abastecimento das populações das áreas semi-áridas do Brasil, priorizando as áreas urbanas (VIEIRA, 1996; MOLINAS, 1996; CAMPOS, VIEIRA NETO e MARTINS, 1997; VIEIRA, 2003).

Seguindo esse modelo de gestão foi disseminada, principalmente nas zonas rurais semi-áridas, a construção de inúmeras barragens de cursos fluviais de baixa ordem. Geralmente a construção se dá com baixo aporte tecnológico (MOLINAS, 1996), e deste modo não só as áreas urbanas utilizam dos artifícios dos barramentos, como também as áreas rurais (VIEIRA, 1996; CIRILO, ABREU, *et al.*, 2003).

O planejamento e gerenciamento, quando eles existem, desses reservatórios estão baseados, apenas, na quantidade de precipitação da área de drenagem, a qual seria o aporte de material/energia para o reservatório (MOLINAS, 1996; CAMPOS, VIEIRA NETO e MARTINS, 1997; OLIVEIRA e LANNA, 1997). Deste modo são negligenciadas questões relacionadas às dinâmicas de transmissão de energia e matéria no sistema; áreas de estocagem de energia e matéria; produção,

transporte e sedimentação do sistema; entre outras questões com ênfase em geomorfologia fluvial; necessárias para a gestão ambiental da área, e não apenas para as questões políticas/sociais dos usos da água (CHELLA, FERNANDES, *et al.*, 2005).

A açudagem no semi-árido brasileiro levanta questões teóricas e técnicas importantes. Casos como o da bacia do riacho Mulungu, onde há rompimentos recorrentes e generalizados das barragens na drenagem local (SOUZA, 2008), se repetem em várias áreas do semi-árido nordestino. Neste caso, além da má qualidade técnica das barragens construídas, a alta taxa de produção de sedimentos em ambientes semi-áridos, conjuntamente com os padrões de uso da terra e as peculiaridades do sistema climático, limitam a vida útil dos reservatórios. Os rompimentos de barragens são eventos catastróficos capazes de remobilizar uma alta taxa de sedimentos e causar forte erosão a jusante (COLLISCHONN e TUCCI, 1997).

Nesta pesquisa busca-se compreender como se dá o funcionamento de uma bacia de drenagem em ambiente semi-árido, como também propor uma análise voltada ao tratamento da bacia hidrográfica como objeto de estudo e unidade de planejamento.

Esta pesquisa procurou fazer uma análise do sistema físico da bacia de drenagem do riacho do Saco, localizado no Sertão de Pernambuco, dando ênfase ao sistema fluvial, e a partir disso avaliar a questão do planejamento regional voltado à açudagem no semi-árido brasileiro. Procurou-se trabalhar com novas perspectivas teóricas e metodológicas para a análise ambiental no que tange aos processos e interações entre os compartimentos geomorfológicos da área.

A fundamentação teórica/metodológica do trabalho focou-se em recentes teorias e metodologias de análise, já consagradas no exterior, contudo sem um desenvolvimento expressivo na literatura nacional. A base teórico-metodológica principal advém da ideia dos estilos fluviais (BRIERLEY e FRYIRS, 2005) e da conectividade da paisagem (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006). Tendo como paradigma holístico a ideia sistêmica da sensibilidade da paisagem (BRUNSDEN, 2001).

A literatura nacional sobre a geomorfologia fluvial não incorporou alguns temas mais recentes das produções internacionais, o que se reflete na incipiente produção recente de livros base com temática específica sobre geomorfologia fluvial, mantendo-se assim, como referência livros do final da década de 1970 (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979) e do início da década de 1980 (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Outro ponto a ser lembrado é a diminuta produção em geomorfologia fluvial dos ambientes semi-áridos na literatura nacional. Isso se dá, entre outros motivos, pela concentração de cursos de pós-graduação no eixo sul-sudeste, o que concentra também a maior parte dos grupos de pesquisa de geomorfologia. Essa produção é ainda menor quando se trata de processos fluviais em ambientes semi-áridos, o que torna necessário o aprofundamento dos estudos nesse tema.

É crucial lembrar a importância de identificar todos os componentes paisagísticos que perfazem o sistema no qual a bacia do riacho do Saco está inserida. Este tipo de trabalho apoia-se também na necessidade de compreender a dinâmica geomorfológica das cabeceiras de uma bacia que integra a rede de drenagem do rio São Francisco, sobretudo face às condições que se estabelecerão a partir do projeto de transposição/integração de suas águas.

A bacia em questão está inserida em um arcabouço de fatores físicos e sociais semelhantes à grande parte do semi-árido nordestino, em especial às áreas de cabeceiras ao norte do estado de Pernambuco. Deste modo espera-se que este estudo seja representativo para outras áreas similares.

Os impactos antrópicos modificam as taxas de operação dos processos superficiais dentro do sistema fluvial, acelerando a colmatação dos reservatórios, entre outras modificações. A área de estudo está submetida a séculos de ocupação, e deste modo apresenta seu sistema físico bastante alterado.

Os estudos sobre sistema fluvial, utilizando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento mostram-se necessários para se avaliar a eficácia da açudagem no semi-árido, possibilitando a análise dos impactos antrópicos sobre a rede de drenagem.

Os resultados deste trabalho possibilitam aplicações voltadas ao gerenciamento do Açude do Saco I, no município de Serra Talhada – PE, a partir de uma perspectiva que leva em consideração critérios geomorfológicos, tais como o aporte de sedimentos ao açude, que é tão importante quanto o aporte de água.

Para a realização do estudo tornou-se necessária uma sistematização das análises sobre a área de drenagem do Açude do Saco. Deste modo focou-se a análise na produção, transporte e deposição de água e sedimentos.

A “produção” de água seria o aporte de água no sistema, que no caso da bacia em questão dá-se a partir dos inputs climáticos em forma de precipitação. Há também uma contribuição incipiente de algumas nascentes, contudo esta representa um volume ínfimo, que portanto não foi levado em consideração nas análises realizadas

A análise da “produção” de água deu-se a partir do estudo das precipitações na área. Levando em consideração características como volume de precipitação, distribuição, sazonalidade, irregularidade, comportamento das precipitações, “tipos de chuvas”, gênese e sistemas sinóticos atuantes.

A produção de sedimentos dá-se a partir do fornecimento de clastos inconsolidados, passíveis de transporte, ao sistema. São comuns na literatura estudos sobre taxas de produção de sedimentos, definida como a relação entre a produção de sedimentos e a área drenada. Para os fins desta pesquisa foi realizada um análise dos setores do sistema fluvial que mais produziram sedimentos e como ocorre a evacuação/deposição desses.

O transporte está relacionado com a deposição; pois quando há uma diminuição da capacidade de transporte no sistema, há a deposição do material. Deste modo estudando as características de transmissão de energia e matéria do sistema é possível verificar as áreas de deposição e estocagem de material. Assim colocou-se a análise da transmissão de energia e matéria no sistema como objeto principal da análise desta pesquisa. Decompondo-se o sistema a partir das interações entre seus componentes.

## **OBJETIVO GERAL**

Esta pesquisa procurou fazer uma análise do sistema físico da bacia de drenagem do riacho do Saco, localizado no Sertão de Pernambuco, dando ênfase ao sistema fluvial, e a partir disso avaliar a questão do planejamento regional voltado à açudagem no semi-árido brasileiro. Assim colocou-se a análise da transmissão de energia e matéria no sistema como objeto principal da análise desta pesquisa. Decompondo-se o sistema a partir das interações entre seus componentes.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterização da área
- Levantamento de fundamentação teórica específica sobre o ambiente fluvial semi-árido
- Analisar e classificar os tipos de eventos chuvosos a partir do escoamento superficial
- Realizar mapeamentos bases, tais como mapa de declividade, modelo digital de elevação, e mapas de curva de nível
- Realizar o mapeamento geomorfológico da área
- Realizar o mapeamento de uso do solo da área
- Identificar a localização e os tipos de impedimentos da bacia
- Identificar a área de captação efetiva em diferentes cenários chuvosos

## 1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia de drenagem do riacho do Saco está situada na micro-região do Pajeú, Sertão de Pernambuco, entre os municípios de Serra Talhada, Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde, além de ter algumas cabeceiras de drenagem nos municípios de Manaira e São José da Princesa, na Paraíba (figura 01), com área de 142,5 Km<sup>2</sup>.

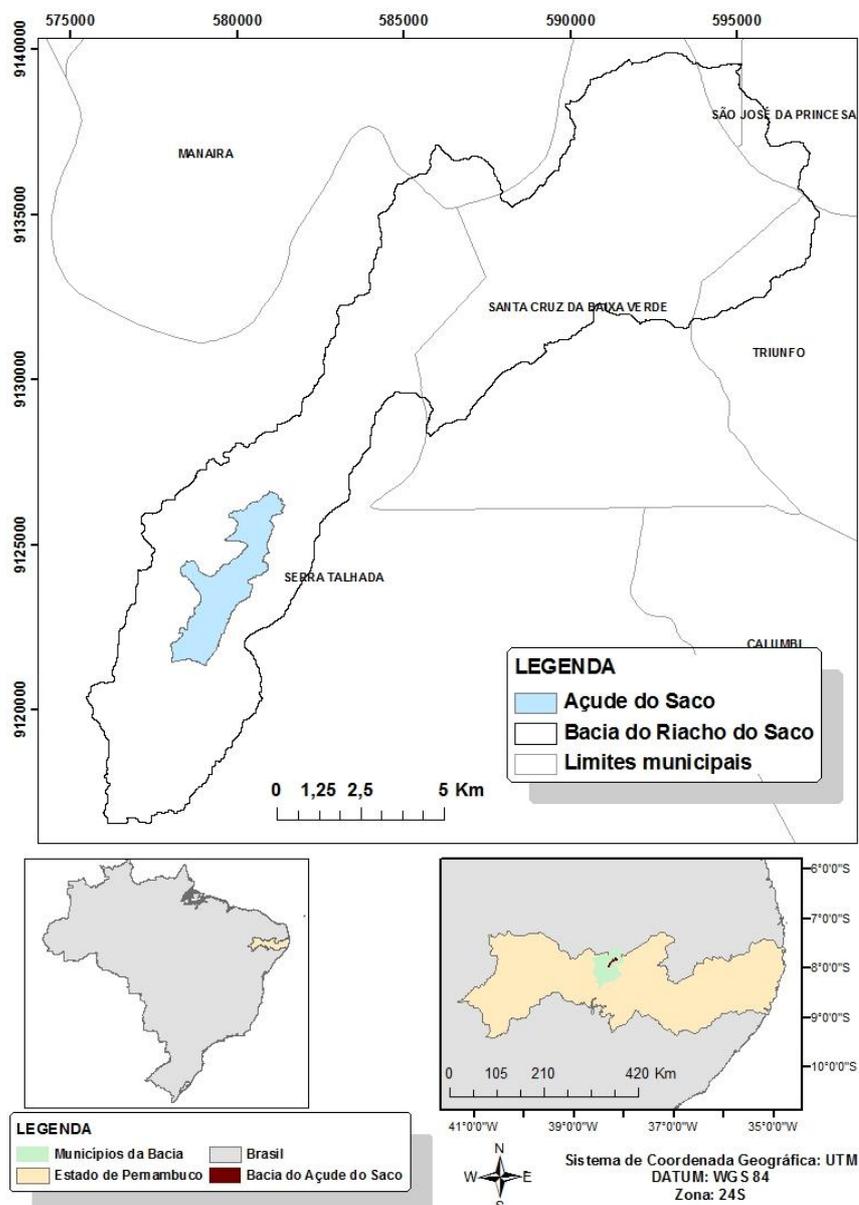


Figura 1: Mapa de localização da Bacia do riacho do Saco.

Dentro da bacia destaca-se o lago do Açude do Saco I, situado em seu médio curso. Nenhum dos riachos tributário do açude, componentes de sua bacia de drenagem apresentam toponímia nas referências cartográficas utilizadas. Regionalmente a bacia está inserida, em partes, na Depressão Sertaneja, e suas cabeceiras de drenagem encontram-se sobre a Encosta Meridional do Planalto da Borborema (EMBRAPA, 2001).

A bacia apresenta uma diferença altimétrica de cerca de 700 metros entre a sua foz (409m) e suas cabeceiras (superior a 1100m); apresentando entre estes extremos dois patamares aplainados com altimetrias de 600m e 800m, respectivamente. A transição entre esses patamares dá-se de forma abrupta, respondendo aos controles estruturais (figura 02).

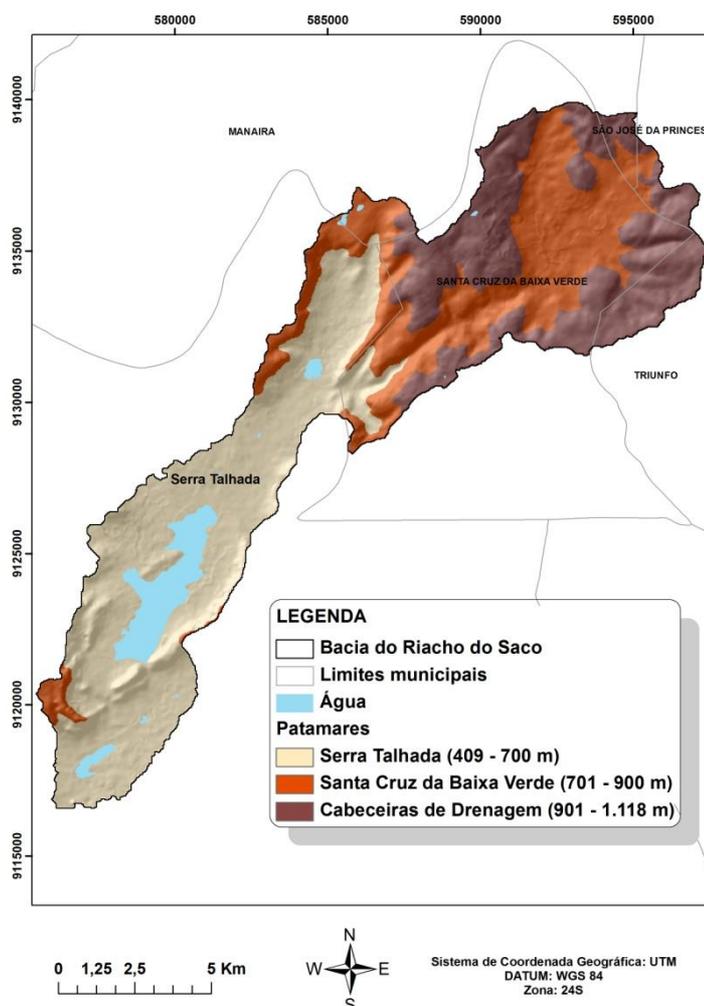


Figura 2: Patamares altimétricos da bacia do riacho do Saco.

Essa diferença altimétrica se reflete em diferenças na paisagem formando, basicamente, duas paisagens distintas; uma abaixo de 700 metros e uma acima dos 900 metros; além de uma paisagem de transição, com características das duas anteriores, entre 700 metros e 900 metros. Essa diferença ocorre basicamente pela diferença de umidade que vai refletir em várias outras características da paisagem. Corrêa (1997) apontava a diferenciação da umidade em diferentes cotas altimétricas do maciço da Serra da Baixa Verde – a bacia do riacho do Saco está inserida na transição do da parte sul do maciço para a depressão sertaneja – que iria provocar a diferenciação da vegetação entre as cotas altimétricas.

Para facilitar a identificação o patamar abaixo dos 700 metros será chamado patamar de Serra Talhada, por se inserir exclusivamente em Serra Talhada; e o patamar entre 700 e 900 metros será chamado de patamar de Santa Cruz da Baixa Verde, por estar inserido, em sua grande parte no Município de Santa Cruz da Baixa Verde, além de pequenas áreas nos outros municípios, contudo mantendo o cerne em Santa Cruz da Baixa Verde. Enquanto que as áreas acima de 900 m serão chamadas cabeceiras de drenagem, não formando um patamar (no sentido de área contínua com características homogêneas) em si, por conter basicamente áreas de encostas íngremes, e diminutas áreas elevadas e planas.

Na área há duas estações meteorológicas (do tipo PCD, gerenciadas pelo LAMEPE/ITEP); uma em Serra Talhada ao lado do Açude do Saco e outra na área urbana de Santa Cruz da Baixa Verde. Contudo em relação à PCD de Santa Cruz da Baixa Verde há apenas dados a partir de 01/02/2006; assim os dados gerados são insuficientes para uma análise climática, com ênfase no comportamento dos eventos chuvosos. A partir dessa dificuldade escolheu-se utilizar os dados para Triunfo, cuja estação está a menos de mil metros da área pesquisada.

## 1.1. Aspectos regionais

## 1.2. Geologia

A área de estudo encontra-se no contato entre o maciço da Baixa Verde e a Depressão Sertaneja. Corrêa (1997, 2001) identificou as principais características ligadas ao maciço da Baixa Verde e seu entorno. Inclusive considerações sobre a vertente meridional do maciço, onde a bacia do riacho do Saco se insere.

O maciço da Baixa Verde é parte componente do Planalto da Borborema, que ao ser decomposto podem-se identificar maciços menores isolados, o que é o caso da área em questão.

Basicamente na litologia da área, há uma intrusão sienítica circundada de rochas metamórficas. Corrêa (2001) coloca:

A transição entre o maciço e a depressão é marcada pelo contato litológico da intrusão sienítica com as rochas metamórficas, com diferentes graus de dinometamorfismo das faixas de dobramento que formam o embasamento da Superfície Sertaneja e circunscrevem o maciço, sobretudo em sua porção meridional (CORRÊA, 2001, p. 26)

Corrêa (1997, 2001) comenta, também, que a transição entre o maciço e a depressão na vertente sul é abrupta, com diferenças altimétricas entre sopé e cimeira de até 750 metros, enquanto que a vertente norte tem declividades menos acentuadas. Essa descontinuidade na vertente sul indica influência de falhamentos, que se apresenta de forma clara na diferenciação altimétrica dos patamares da área em pesquisa (patamar Serra Talhada e patamar Santa Cruz da Baixa Verde).

A área em questão apresenta três unidades litoestatigráficas: Complexo São Caetano: gnaisse metagrauvaca, matavulcânica félsica a intermediária,

metavulcanoclástica; Complexo Salgueiro-Riacho Gravatá: xisto, metavulcânica básica a ácida, metaulmáfica, metavulcanoclástica e metatufo; e Suite shoshonítica ultapotássica Triunfo: biotita, hornblenda, piroxênio, álcalifeldspato, granito/sienito (CPRM, 2005a; 2005b; 2005c; 2005d; CPRM, 2005e).

Entre as unidades a intrusão de Triunfo é a que mais se destaca na área em questão, estando presente nas áreas mais elevadas da bacia, enquanto que o Complexo São Caetano situa-se ao sul da área, próxima a foz da bacia. O Complexo Salgueiro-Riacho Gravatá aparece à montante do açude do Saco, em uma pequena área de interflúvio.

A área de maior interesse, que é a área contribuinte para o açude do Saco, está em grande parte inserida na unidade Suite shoshonítica ultapotássica Triunfo. Corrêa (1997) define o sienito Triunfo como:

Tratam-se de rochas peralcalinas ultra-potássicas saturadas em sílica e representadas principalmente por sienitos álcali-feldspáticos, tendo como destaque o batólito da Serra da Baixa Verde ou batólito de Triunfo, como também alguns pequenos corpos no sul da Folha, como os inselberge que balizam a escarpa meridional do maciço. (CORRÊA, 1997, p. 82)

Os mapeamentos geológicos existente são em escalas incompatíveis com o detalhamento desejado nesse estudo, deste modo a inferência exata das litologias não pode ser feita de forma direta. Assim no atual estudo, tentou-se delimitar as unidades estruturais pela compartimentação geomorfológica, onde os limites de algumas unidades geomorfológicas serviriam para identificar os limites das unidades litoestratigráfica. Contudo essas delimitações não foram os enfoques principais da pesquisa, sendo utilizadas de maneira acessória para as análises geomorfológicas.

### **1.3. Clima**

Nimer (1989) coloca que devido aos inúmeros fenômenos que irão modificar os sistemas de circulação da atmosfera na região, a climatologia da região Nordeste, em relação da precipitação, é uma das mais complexas do mundo.

Os dados das estações do tipo Plataforma de Coleta de Dados (PCD) gerenciadas pela Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, a partir do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) e do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEPE), foram escolhidos para as análises específicas visando identificar o comportamento dos eventos chuvosos da área. O estudo do comportamento das precipitações nos ambientes semi-áridos é importante para compreender o fluxo e os processos fluviais (GRAF, 1988).

A escolha deu-se pela oferta de dados diários pelas estações, assim possibilitando a análise diária da precipitação, buscando padrões de precipitação a partir da gênese. Esses dados foram obtidos online a partir do projeto Agritempo (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Antes de avaliar o comportamento dos eventos chuvosos é necessário definir as características básicas do clima da bacia, sobretudo as diferenças climáticas do seu interior, com ênfase nas diferenças de precipitação. A partir dessas características observou-se que o clima da bacia do riacho do Saco apresenta uma variação climática relacionada à variação altimétrica de suas áreas. A área mais alta, relativa ao patamar de Santa Cruz da Baixa Verde se caracteriza como um brejo de altitude e exposição (CORRÊA, 1997), o que leva a formação de nuvens pelo fator orográfico, gerando assim uma dinâmica diferenciada de precipitação.

Corrêa (1997, 2001) analisou o clima da Serra da Baixa Verde a partir de dados de postos pluviométricos de quatro cidades – Triunfo, Serra Talhada, Manaira, Princesa Isabel – e avaliou que a diferença de precipitação estaria relacionada com o relevo local e a diferença altimétrica. Corrêa utilizou metodologias para inferir dados climáticos a cotas altimétricas específicas – no caso, 500, 700, 900 e 1100 – e concluiu que ao diminuir a cota altimétrica haveria uma maior deficiência hídrica e o período seco aumentaria.

Contudo a análise foi realizada para toda a Serra da Baixa Verde, no caso da área atual de estudo, o posto de coleta de dados de Triunfo estaria fora da área de análise, contudo a PCD de Santa Cruz da Baixa Verde está fornecendo dados apenas até 2006, o que é insuficiente para a análise climática, e assim os dados de

Triunfo serão utilizados, apesar da diferença altimétrica entre eles ser maior que 100 metros. Corrêa (1997) analisando as diferenças entre as cotas de 900m (Santa Cruz da Baixa Verde) e 1100m (Triunfo) observou que as distribuições dos meses com excedente e deficiência hídrica se aproximam, contudo há um menor nível de precipitação, cerca de 140 mm em média ao menos na cota de 900m.

Observando os dados de Santa Cruz da Baixa Verde e de Triunfo entre fevereiro de 2006 (início das atividades da estação de Santa Cruz da Baixa Verde) até dezembro de 2010 (tabela 01), notou-se que o nível de diminuição de precipitação não é fixo, sendo que em 2008 e 2009 a diferença superou os 500 mm. A análise desses dados destoa dos dados obtidos por regressão apresentados por Corrêa (1997), contudo observando esse curto período de tempo (menor que cinco anos) não é possível determinar as diferenças da precipitação entre os dois pontos.

**Tabela 1: Precipitação em Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde (fevereiro de 2006-dezembro de 2010), dados fornecidos pelo AGRITEMPO.**

Ano	Precipitação (mm) - Soma - Santa Cruz da Baixa Verde	Precipitação (mm) - Soma - Triunfo
2006	771,2	862
2007	708,2	889,5
2008	985,6	1593,7
2009	1068,8	1632,8
2010	786,3	1179

O LAMEPE/ITEP disponibiliza dados com as médias históricas de precipitação Serra Talhada, de duas estações a LAMEP/ITEP (fica ao lado do Açude do Saco a 504m, e a CPTEC (fica próxima a zona urbana a 430m) e de Triunfo. Enquanto que da média histórica de temperatura ele disponibiliza de Serra Talhada, apenas um dado sem especificar de qual estação se trata; Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde. Essa não uniformização da disponibilidade dos dados das médias históricas, somados com as discordâncias entre essas médias e as médias obtidas a partir dos dados diários fornecidos pelas PCDs dificultaram a análise climática das estações. Os dados das médias históricas apresentados por Corrêa (1997, 2001) também destoam das médias obtidas

Entretanto os dados diários oferecidos apresentam uma variação temporal curta; 20 anos para as estações de Serra Talhada; 5 anos para a estação de Santa Cruz da Baixa Verde; a estação de Triunfo disponibiliza dados a partir de 1912, contudo apenas a partir de 1994 começa a disponibilizar os dados diários. Assim não é possível comparar os dados diários fornecidos pelas PCDs com as médias históricas fornecidas pelo LAMEPE/ITEP. Deste modo para a análise da diferença histórica de precipitação serão utilizados os dados das médias históricas disponibilizados pelo LAMEPE/ITEP (tabela 02).

**Tabela 2: Média histórica de precipitação em Triunfo e Serra Talhada, dados fornecidos pelo LAMEPE/ITEP e CPTEC.**

<b>LOCALIDADE</b>	<b>Serra Talhada (LAMEPE/ITEP) 504m</b>	<b>Serra Talhada (CPTEC) 430m</b>	<b>Triunfo (LAMEPE/ITEP) 1034m</b>
<b>JAN</b>	112	76	107
<b>FEV</b>	145	103	165
<b>MAR</b>	192	156	225
<b>ABR</b>	169	106	195
<b>MAI</b>	71	48	142
<b>JUN</b>	47	27	115
<b>JUL</b>	36	14	101
<b>AGO</b>	12	8	44
<b>SET</b>	14	6	22
<b>OUT</b>	13	13	23
<b>NOV</b>	29	29	31
<b>DEZ</b>	56	53	60
<b>ANUAL</b>	896	639	1230

A partir da tabela acima fica claro a relação entre a topografia local e a altimetria dos postos, com o volume de precipitação. Deste modo pode-se aceitar o volume médio de precipitação anual de Santa Cruz da Baixa Verde como sendo próximo a 1000mm como aponta Corrêa (1997) para a cota altimétrica de 900m.

O principal problema observado nos dados históricos fornecidos pelo LAMEPE/ITEP ao se comparar com as médias extraídas dos dados diários fornecidos pelo projeto AGRITEMPO, são os dados relativos ao posto de Serra Talhada (LAMEPE/ITEPE) que se encontra a 504m de altitude. Pela média histórica ele deveria apresentar uma precipitação média anual de 896mm, enquanto que pela

média obtida dos dados diários, em 20 anos) este valor seria de 596,2 mm (tabela 03). Essa diferença de 300mm não é justificada por um período de seca prolongada, nas últimas duas décadas, na região, devendo assim haver algum tipo de incoerência na medição da média histórica anual, que também destoa da média obtida por Corrêa (1997) para a cota de 500 metros (659mm).

**Tabela 3: Média histórica de precipitação em Serra Talhada, dados fornecidos dados fornecidos pelo AGRITEMPO.**

Ano	Precipitação - Soma - Serra Talhada (LAMEPE/ITEP)	Precipitação - Soma - Serra Talhada (CPTEC)
1990	512	512
1991	546	546
1992	580	580
1993	265	265
1994	769	769
1995	745	745
1996	710	710
1997	745	745
1998	205	205
1999	575	575
2000	634	634
2001	488,4	593
2002	460,9	546
2003	573,2	515,8
2004	903,4	841,2
2005	379,4	467,8
2006	537,3	491,1
2007	607,8	463
2008	650,9	585,9
2009	1036,7	1004,8
Média em 20 anos (mm)	596,2	589,73

Ao mesmo tempo nota-se que a diferenciação dos dados entre o posto do LAMEPE/ITEP e do CPTEC dá-se apenas a partir de 2001, nos anos anteriores os dados de uma estação foi transposto para a outra, não sendo possível identificar de qual estação são esses dados. Contudo a diferença média de precipitação entre os dois pontos de coleta de Serra Talhada não se aproxima aos 250mm apontados pelos dados históricos fornecidos pelo LAMEPE/ITEP.

A partir dessas considerações sobre os dados de precipitação tomou-se como base para as médias históricas os dados fornecidos pelo LAMEPE/ITEP, fazendo-se a ressalva de descartar os dados que apontam 896 mm/ano, por destoar dos outros dados obtidos. Assim para as áreas do patamar de Serra Talhada adotou-se o padrão de dados semelhante às médias históricas para o posto Serra Talhada (CPTEC) com média de 639 mm/ano, por se aproximar mais às médias obtidas a partir dos dados diários, utilizados para a identificação do comportamento dos eventos chuvosos; apresentando cerca de 7 a 8 meses secos no ano. Triunfo não apresenta incongruência entre os dados, sendo esses válidos para as cotas superiores a 1000 metros; apresentando de 3 a 4 meses secos no ano.

Já Santa Cruz da Baixa Verde por ter escassez de dados representa a área com maior possibilidade de erro na análise climática. Estabelecendo-se uma média entre a extrapolação realizada por Corrêa (1997) e dos dados obtidos da PCD de Santa Cruz da Baixa Verde, como também da relação com os dados da PCD de Triunfo, optou-se por utilizar uma média próxima aos 950 mm. Abaixo da média da extrapolação realizada por Corrêa (1997), pelo padrão dos dados obtidos e a relação com anos normais das outras PCDs. Apresentando de 5 a 6 meses secos no ano.

Os principais sistemas sinóticos atuantes na área são a Zona de Convergência Intertropical, Anticiclone do Atlântico Sul, Vórtice Ciclônico da Atmosfera Superior, Linhas de Instabilidade e os Complexos Convectivos de Meso Escalas (SILVA, CORREIA, *et al.*, 2008). A atuação de Frentes Frias na área, como aponta Corrêa (1997), deve ser avaliada com cautela, pois o alcance das Frentes Frias começa a ser re-avaliado e sua influência em Pernambuco possivelmente é menor do que era colocado, em eventos raros alcançando o sul de Pernambuco (BARBOSA e CORREIA, 2005; CORREIA, ARAGÃO e ARAÚJO, 2010).. Sendo que alguns eventos sazonais modificam o volume de precipitação da área, tais como: *El nino*, *La nina*, Dipolo do Atlântico Sul (OLIVEIRA, ALVES e NÓBREGA, 2010)..

#### **1.4. Vegetação**

A distribuição da vegetação na área de pesquisa está diretamente ligada com a variação climática, em especial da precipitação. Corrêa (1997) fez um excelente levantamento, identificação e distribuição da vegetação da Serra da Baixa Verde, através de pesquisa de campo e de levantamento bibliográfico. Os resultados obtidos por Corrêa (1997) se enquadram na escala desejada no presente trabalho, em relação às formações vegetais naturais da área. Deste modo, após verificação em campo dos dados, as considerações sobre a vegetação da área será baseada nos dados obtidos por Corrêa (1997).

Corrêa (1997) dividiu a vegetação em três tipos: floresta sub-caducifolia, caatinga, e vegetação de transição. Do mesmo modo que o autor definiu o clima a partir da altitude, usando cotas altimétricas (500, 700, 900 e 1100), ele analisou a vegetação relacionando-a com a altitude, inclusive elaborando perfis fisiográficos da vegetação por cota altimétrica. Essa relação dá-se pelo aumento crescente da umidade com o aumento das cotas altimétricas. Contudo mesmo nas cotas superiores a vegetação é modificada pelo regime irregular de precipitação, submetidos às variações anuais e sazonais.

Corrêa (1997) coloca que até os 700 metros a vegetação dominante é a caatinga, hiperxerófila nas altitudes inferiores e hipoxerófila nas altitudes superiores; o que segue a lógica do aumento da umidade ao se aumentar a altitude. Essa área apresenta um contexto clima/vegetação; relação entre sucessão vegetal, sazonalidade e intensidade de precipitação e da existência da serrapilheira do solo (CORRÊA, 1997); onde há um forte carreamento de sedimentos das encostas e pedimentos em direção aos cursos de água, provocando um assoreamento rápido dos reservatórios, constituindo assim um grave problema à gestão dos recursos hídricos na região (SAMPAIO, SAMPAIO, *et al.*, 2001).

A partir da cota de 900 metros com o aumento do volume das precipitações e da diminuição da temperatura houve a possibilidade para o desenvolvimento de uma vegetação florestal sub-caducifolia, chamada de floresta plúvio-nebular típica dos brejos de altitude (CORRÊA, 1997). Corrêa (1997) coloca que apesar da mudança das características climáticas, a irregularidade das precipitações impõe o caráter sub-caducifólio a esse conjunto de vegetação.

Já em relação à vegetação compreendida entre as cotas de 700 metros e 900 metros Corrêa (1997, p. 41) coloca que: "... entre as cotas de 700 e 900 metros, numa espécie de "zona de indeterminação florística", onde prevalecem espécies das duas outras formações limítrofes". Sendo que a fisionomia vai se alterando em favor das características de cada vegetação ao se aproximar ao limite de 500 metros ou 700 metros, caatinga e floresta sub-caducifólia respectivamente.

Mas a ocupação antiga da área diminuiu gradativamente a área de vegetação natural, tanto pelas ocupações urbanas, quanto pelo desenvolvimento da agropecuária. Sendo preservadas a vegetação das áreas de difícil acesso e em vertentes com alta declividade. As áreas de maior altitude, acima dos 800 metros, que sofreram uma maior retirada da cobertura vegetal; resultante da dinâmica iniciada nos meados do século XIX para implantação da cana-de-açúcar e do café (CORRÊA, 1997). Contudo Guerra (1995) coloca que os maiores problemas estarão localizados nas áreas semi-áridas, a partir da retirada da vegetação e do superpastoreio e do uso agrícola inadequado. A distribuição atual da cobertura vegetal da área em pesquisa será apresentada posteriormente na análise de uso do solo.

### **1.5. Solo**

A área em questão apresenta dois mapeamentos de solos, não sobrepostos, em escalas distintas: um na parte pernambucana na escala de 1:100.000 (EMBRAPA, 2001); e na parte paraibana na escala de 1:500.000 (BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1972), com atualização da nomenclatura (CAMPOS e QUEIROZ, 2006). Esses dados geraram duas questões a serem analisadas: a diferença das escalas dos dados mapeamentos; e a incompatibilidade das escalas desses dados com a escala de análise do atual trabalho, que busca a análise na escala de 1:25.000.

A primeira questão a ser analisada é o fato dos mapeamentos de solos terem sido realizados em escalas diferentes e a partir de metodologias diferentes. Contudo como a área paraibana da bacia, com menor escala (1:500.000), é pequena foi possível utilizar esses dados para elaborar um mapa geral dos solos da bacia (figura 03).

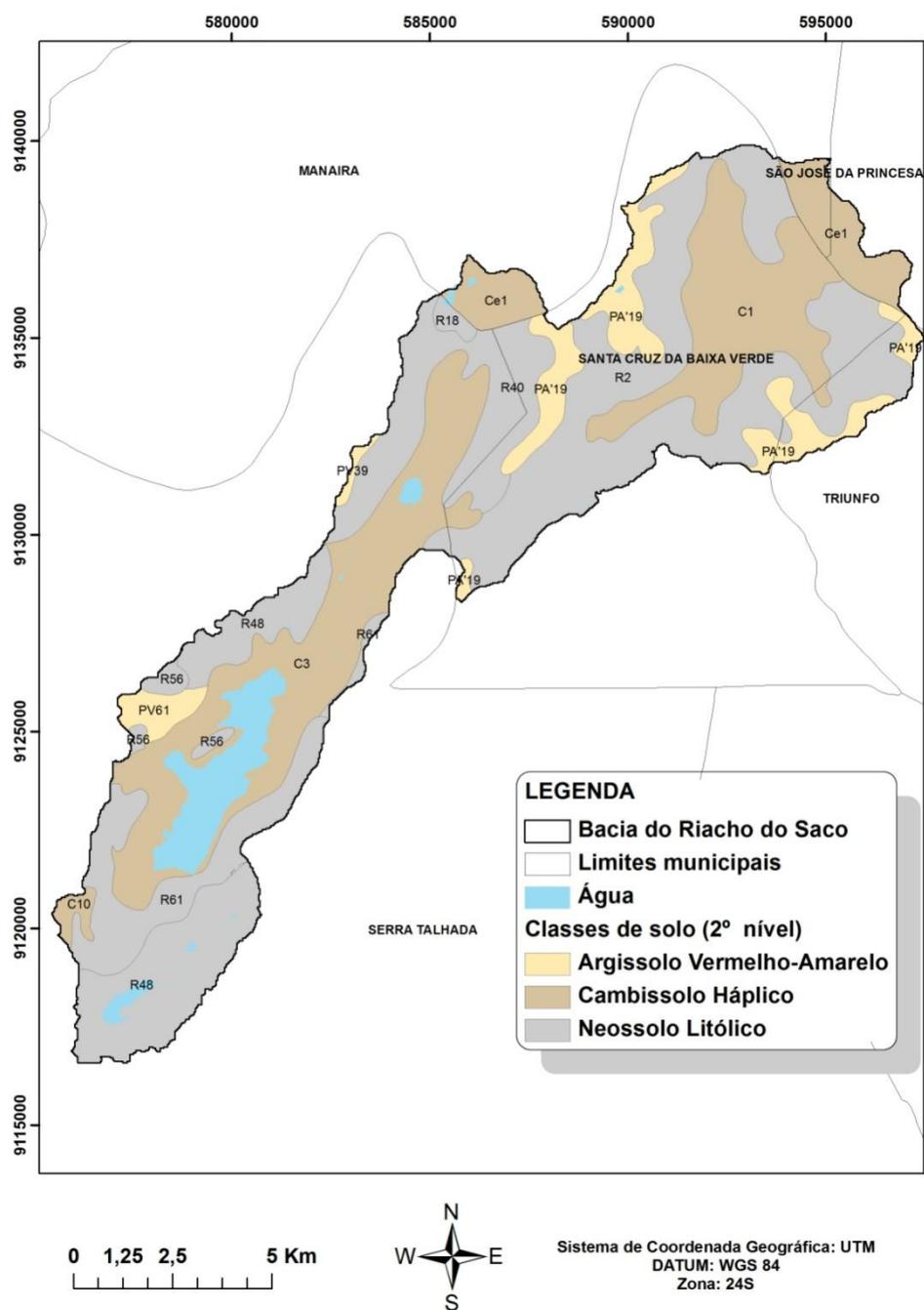


Figura 3: Mapa de classes de solo (2º nível categórico) da bacia do riacho do Saco. Adaptado de Brasil (1972) e Silva *et al* (2001).

A atualização da nomenclatura dos solos de Pernambuco foi realizada a partir das orientações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOLOS, 2006).

As classes apresentadas são na realidade o tipo de solo predominante, sendo que eles representam associações entre classes de solos em diferentes proporções,

identificadas pelas siglas contidas no mapa. As associações identificadas por EMBRAPA (2001) apresentam as porcentagens de cada classe de solo; ao contrário as identificadas por BRASIL (1972) indica apenas as classes associadas a classe principal. As associações da área da bacia são; dados extraídos de Silva *et al* (2001) e BRASIL (1972), e adaptadas seguindo as instruções de EMBRAPA (2006):

- Ce 1: Cambissolo Háplico + Neossolo Litólico (sem informações quantitativas);
- C 1: Cambissolo Háplico + Argissolo Vermelho + Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico (50-30-20 %);
- C 3: Cambissolo Háplico + Argissolo Vermelho + Planossolo Nátrico e Planossolo Háplico (50-30-20 %);
- C 10: Cambissolo Háplico + Argissolo Vermelho-Amarelo + Neossolo Litólico (35-35-30 %);
- PA' 19: Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo + Neossolo Litólico + Afloramento Rochoso (60-25-15 %);
- PV 39: Argissolo Vermelho-Amarelo + Neossolo Litólico + Afloramento Rochoso (55-30-15 %);
- PV 61: Argissolo Vermelho-Amarelo + Neossolo Litólico + Planossolo Nátrico e Planossolo Háplico (35-35-30 %);
- R 2: Neossolo Litólico + Cambissolo Háplico (60-40 %);
- R 18: Neossolo Litólico + Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho e Cambissolo Háplico + Planossolo Háplico (50-30-20 %);
- R 40: Neossolo Litólico + Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho + Afloramento Rochoso (60-20-20 %);
- R 48: Neossolo Litólico + Luvisolo Crômico + Planossolo Nátrico e Planossolo Háplico (50-30-20 %);
- R 56: Neossolo Litólico + Afloramento Rochoso (75-25 %);
- R 61: Neossolo Litólico + Argissolo Vermelho-Amarelo + Afloramento Rochoso (60-20-20 %).

Em relação susceptibilidade à erosão Corrêa *et al* (2009), ao trabalhar Belém de São Francisco (bacia do Pajeú – semi-árido), coloca que há uma estreita relação

entre as principais classes de solos e a susceptibilidade à erosão ao longo do canal, sendo os Planossolos com acúmulo de sais em sub-superfície a classe mais afetada pela erosão linear. Essa consideração enquadra-se às áreas mais baixas da bacia do riacho do Saco.

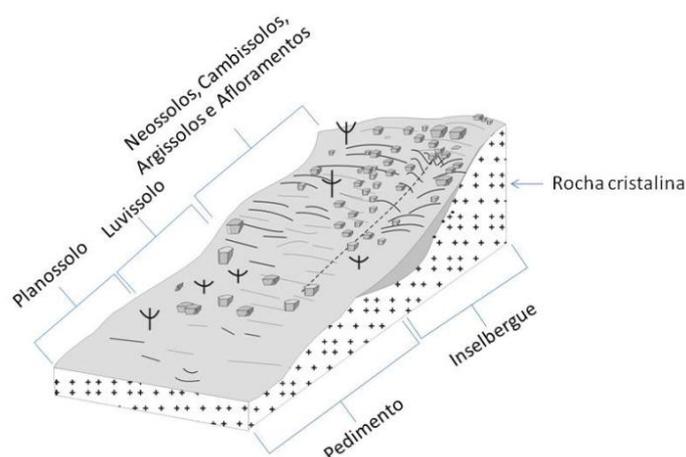
A segunda questão é a incompatibilidade das escalas desses dados com a escala de análise do atual trabalho, que busca a análise na escala de 1:25.000. Para diminuir esse erro acrescentou-se a compreensão do mapa de solos da bacia à relação solo-relevo; e como as informações sobre o relevo são mais detalhadas foi possível acrescentar informações à análise dos solos. A partir dessa relação, é possível obter-se um maior detalhamento das classes de solos, no entanto não foi realizado um novo mapeamento usando essa relação, mas os limites das classes associadas puderam ser melhor compreendidos, como também a distribuição das classes de solos na paisagem.

Analisando essa relação Corrêa, Silva, *et al* (2009) identificam uma topossequência dos solos sendo os Luvisolos presentes nas rampas de pedimentos, os Planossolos nas baixadas pertos dos riachos, os Neossolos litólicos e afloramentos de rocha nos topos dos interflúvios (CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009). Essa topossequência é comum nas áreas da Depressão Sertaneja pernambucana, como é o caso das áreas classificadas como R 48 no mapa de solos da bacia do riacho do Saco.

Já analisando a Serra da Baixa Verde, Corrêa (1997) faz relações solo-relevo a partir da declividade e a partir da altimetria. Em relação à declividade, o autor coloca que a posição do solo na paisagem indica a estabilidade e a probabilidade do solo atingir a maturidade; ou seja, solos em altas declividades não têm estabilidade para se desenvolver sendo removidos, e assim se configuram como solos pouco desenvolvidos. Nas áreas de baixa declividade aconteceria o inverso e, deste modo, os solos nessas áreas seriam bem desenvolvidos.

Corrêa (1997) também relacionou os valores texturais dos solos com as cotas altimétricas (500, 700, 900, 1100 metros), buscando identificar as áreas mais propensas à remoção, no caso foram as áreas próximas a 1100 metros.

O aprofundamento do estudo da relação solo-relevo no semi-árido dá-se por estudos recentes (CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, em prelo) e leva em consideração a distribuição dos solos no semi-árido a partir da localização no relevo e da litologia associada. Criou-se, assim, quatro catenas típicas no semi-árido, três para ambientes de rochas cristalinas e uma para ambientes de rochas sedimentares (CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, em prelo); os autores partiram de uma catena simples, contudo a de maior ocorrência no semi-árido nordestino, que é a que representa os pedimentos da depressão sertaneja, e a partir desta identificaram as catenas dos contatos desses pedimentos com outros compartimentos geomorfológicos do semi-árido. A área da bacia do riacho do Saco estaria representada por duas dessas catenas: a catena do contato entre pedimentos e maciços residuais (figura 04), o patamar inferior da bacia (patamar de Serra Talhada); e a catena de planaltos em rocha cristalina (figura 05), a porção superior da bacia (patamar de Santa Cruz da Baixa Verde), inclusive os autores usaram o exemplo de Santa Cruz da Baixa Verde para identificar essa catena.



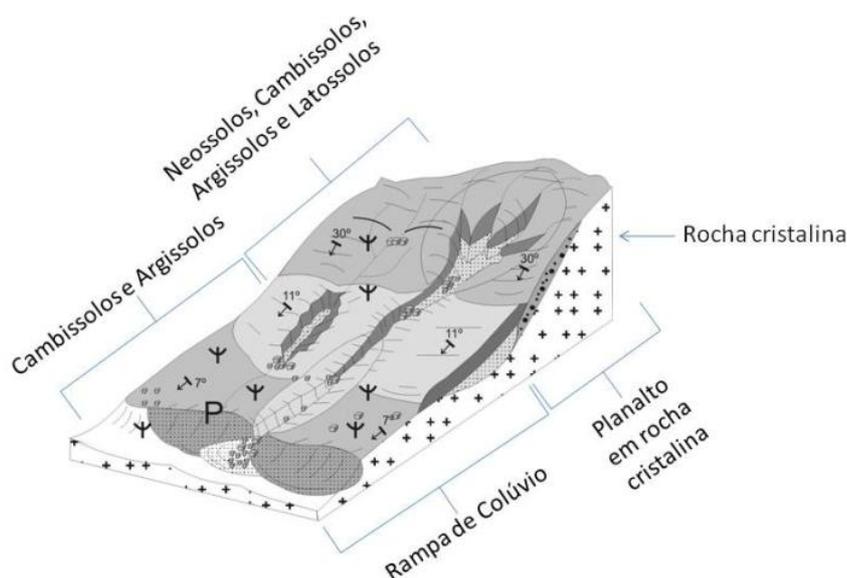
**Figura 4: Catena típica do contato entre pedimentos e maciços residuais na depressão sertaneja. Exemplo obtido na Serra do Poço, município de Poço das Trincheiras, Alagoas. Fonte: CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, em prelo.**

Descrevendo essa catena os autores colocam:

No caso do nordeste brasileiro, este tipo de catena é comum no contato entre pedimentos e maciços residuais, comumente desenvolvidos sobre plútons neoproterozóicos, que emergem de um domínio metamórfico mais antigo, característica típica dos ambientes de depressões. Em geral os solos são pouco desenvolvidos (Neossolos e Cambissolos), todavia podem

ocorrer solos mais desenvolvidos (Argissolos), sendo que os afloramentos rochosos são comuns. (CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, em prelo)

Analisando essas considerações e a catena, observa-se a resposta dessa distribuição no mapa de solos da bacia, na área de Serra Talhada, a partir das associações dos solos identificadas no mapa. Com o início da catena próximo dos cursos fluviais com a presença de Planossolos, os Luvisolos nas rampas de baixa declividade; e com o contato com os maciços e o aumento da declividade, inicia-se uma associação de cambissolos e argissolos (normalmente relacionado com uma mudança de volume de precipitação, de origem espacial ou temporal), contudo com o aumento da declividade há um incremento na remoção do solo, dificultando a pedogênese e assim favorecendo a gênese dos neossolos (litólicos e regolíticos) e dos afloramentos rochosos. A distribuição da associação dos solos no caso do encontro com os maciços vai estar relacionada com a estabilidade de cada vertente, e sua taxa de morfogênese/pedogênese.



**Figura 5: Catena típica de planaltos em rocha cristalina. Exemplo obtido no município de Santa Cruz da Baixa Verde, Pernambuco. Fonte: CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, Em prelo.**

Os autores também geraram uma catena para os compartimentos elevados em rocha cristalina, onde a diferenciação dos controles litológicos e climáticos (com a diminuição da temperatura e o aumento da precipitação) modifica a pedogênese, possibilitando a gênese de solos mais desenvolvidos como Latossolos e Argissolos. Contudo a relação com a estabilidade das encostas leva a uma associação dos

solos mais profundos com solos menos profundos, Cambissolos e Neossolos. Contudo os autores fazem uma ressalva para os planaltos com vertentes de maior declividade, como é o caso do Planalto da Borborema (no qual o maciço da Serra da Baixa Verde está inserido):

No caso dos planaltos em rochas cristalinas, como o Planalto da Borborema, o relevo é ondulado a forte ondulado, com encostas de retilíneas a convexas, que tendem a acumular leques coluviais nos sopés das encostas, materiais que são por sua vez, produto do retrabalhamento de depósitos e mantos de alteração de um nível hipsométrico superior. Este material remobilizado dá origem ora a Argissolos, ora a Cambissolos, dependendo do tempo transcorrido para o desenvolvimento do perfil. (CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, em prelo)

O aumento da presença de Argissolos no patamar de Santa Cruz da Baixa Verde demonstrada no mapa de solos é resultado na mudança desses controles, como também do retrabalhamento dos colúvios. Nas áreas de acumulação de colúvio, nas baixas encostas, há a associação dos Argissolos e Cambissolos, representada no mapa de solos pela unidade de solos "C1". Enquanto que nas áreas com vertentes de maior instabilidade há a disseminação dos Neossolos, exemplo da unidade de solo "R2". Nas áreas mais altas, onde há uma diminuição da declividade há a presença dos Argissolos em associação com os Neossolos e Afloramentos Rochosos (por se encontrar nas áreas somitais), a unidade de solo PA' 19 é um exemplo claro dessa relação solo/relevo.

Com a combinação das informações obtidas pelos levantamentos dos solos da área, resumida no mapa de solos, e levando em consideração a relação solo/relevo, é possível realizar uma aproximação das informações pedológicas a escalas mais detalhadas, como é o caso da atual pesquisa.

## 1.6. Hidrografia

A Serra da Baixa Verde atua como um divisor de águas entre Pernambuco e Paraíba, no caso da bacia do riacho do Saco encontra-se inserida na bacia do rio Pajeú, importante bacia regional e afluente do rio São Francisco.

Regionalmente, na bacia do rio Pajeú, há um controle estrutural da rede de drenagem, orientada, geralmente, na direção SW-NE, sentido preferencial das estruturas geológicas locais (CORRÊA, 1997). Outra característica regional comum, indício de controle estrutural na rede de drenagem, são os desvios abruptos de curso por interceptação de linhas de falhas. Tais características são mais comuns nas áreas próximas as cabeceiras do Pajeú, como é o caso da bacia do riacho do Saco.

Corrêa (1997) analisou a rede de drenagem formada a partir do maciço da Baixa Verde, à escala de 1:50.000, identificando a predominância de rios efêmeros e intermitentes de 1ª e 2ª ordem; além de identificar a presença de áreas alagadas:

Verificou-se, principalmente através da toponímia, a presença de cachoeiras perenes e intermitentes, bem como a existência de pequenas lagoas, alagados (?) nos níveis mais elevados da serra, em áreas de topografia acentuadamente plana e drenagem impedida. (CORRÊA, 1997, p. 114)

As características regionais da rede de drenagem estão presentes na bacia do riacho do Saco, sendo identificadas no mapa apresentado. Tais como: a predominância de cursos de baixa ordem; o direcionamento SW-NE; os desvios abruptos por interceptação de linhas de falhas; e a presença de pequenas lagoas e alagados nas áreas planas.

Essas características são bem identificadas no mapa de recursos hídricos da bacia (figura 06), como também no perfil longitudinal do riacho do Saco e de seus dois principais afluentes (figura 07). A metodologia específica para a obtenção dos dados necessários para a confecção desse mapa, será detalhada posteriormente.

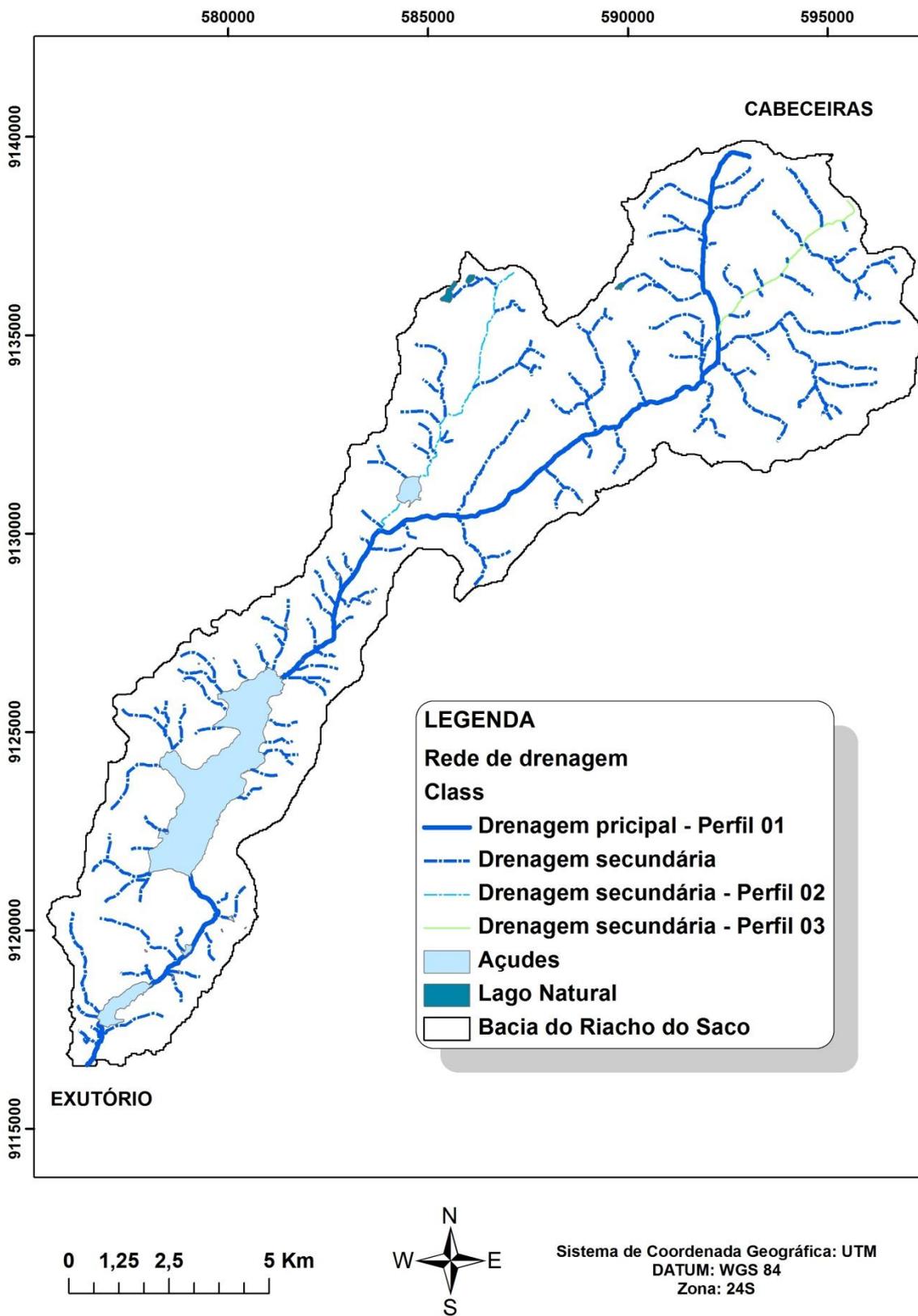
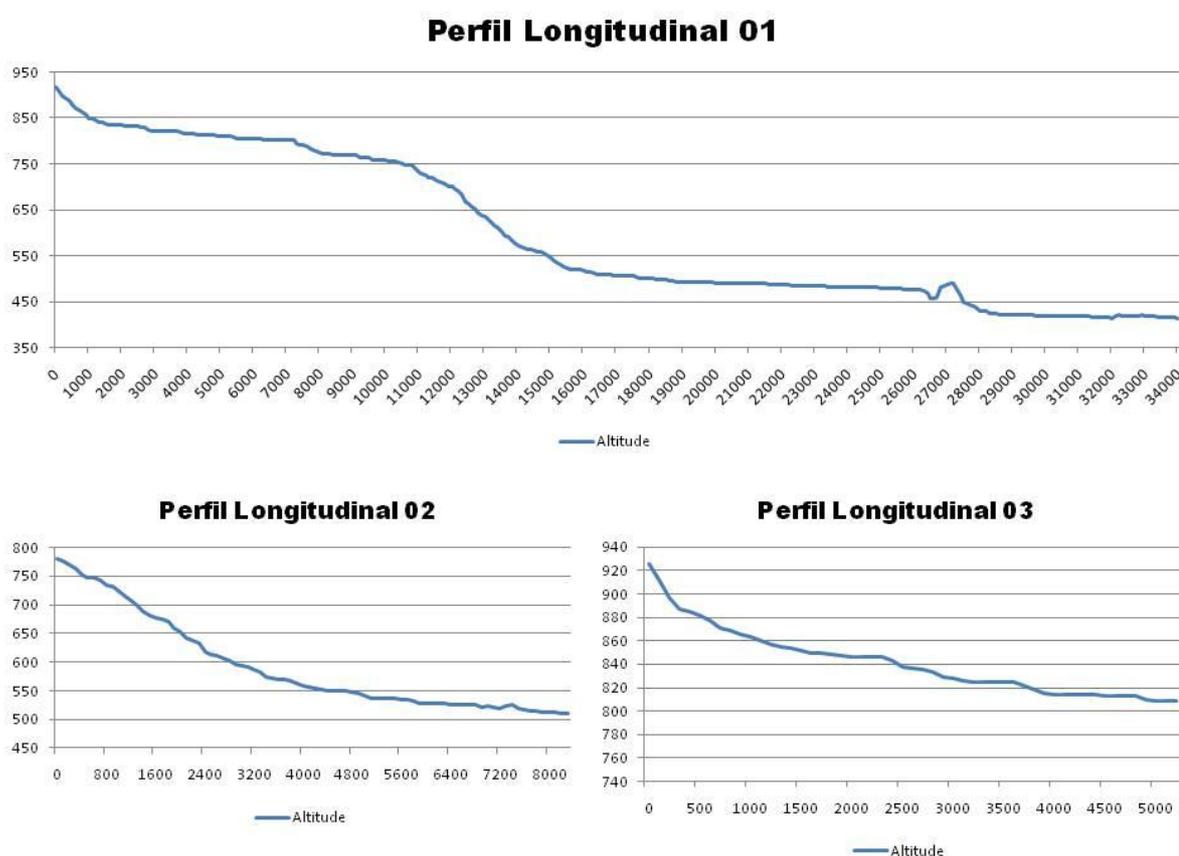


Figura 6: Mapa de recursos hídricos da bacia do riacho do Saco.

É visível o controle do direcionamento SW-NE, na rede de drenagem da bacia, apresentando apenas alguns pequenos ajustes no direcionamento. Também, é visível a diferença da densidade de drenagem entre o patamar de Santa Cruz da Baixa Verde e o patamar de Serra Talhada, onde o primeiro apresenta uma rede de drenagem mais desenvolvida, resultado entre outros motivos na diferenciação climática entre as duas áreas.

A presença de lagoas e áreas alagadas nas cimeiras também foi observada, sendo comuns na área, e mapeadas junto com a rede de drenagem na escala de 1:25000; contudo na maioria das vezes sua visualização em planta resta impedida pela sua exígua expressão espacial.



**Figura 7: Perfil Longitudinal do riacho do Saco (perfil 01) e de seus dois principais afluentes (perfil 02 e 03). Relação entre a altimetria e a distância da cabeceira dos rios, dados em metros.**

A partir dos perfis do riacho do Saco (perfil 01) e dos seus dois afluentes principais (perfil 02 e 03), é possível identificar alguns controles e características gerais da bacia estudada.

Analisando o perfil 01, pode-se compreender a morfologia básica dos diferentes patamares da bacia e das transições entre eles. Inicialmente a área de cabeceira com altimetria acima dos 850/900m apresentando gradientes altos e percorrendo entre 500/1000 metros. Posteriormente há a diminuição da declividade e o início de patamares escalonados com gradiente suave entre eles, seriam o patamar de Santa Cruz da Baixa Verde, entre 850 e 750 metros de altitude. Tanto a área de cabeceira como o patamar de Santa Cruz da Baixa Verde também são visíveis no perfil 03.

Ao fim da área do patamar de Santa Cruz da Baixa Verde há a encosta da Serra da Baixa Verde, sob influência da falha de Serra Talhada (CORRÊA, 1997; 2001), observa-se um aumento considerável no gradiente do rio entre a altimetria de 750m e 550m, percorrendo uma faixa longitudinal de até 4500m, sendo essa faixa de tamanho variável. Logo depois da descida da encosta da Serra da Baixa Verde, apresenta-se o início do patamar de Serra Talhada, que compreende dois compartimento, um que é reflexo do soerguimento da Serra da Baixa Verde, entre 550m e 450m de altitude, e o outro já na Depressão Sertaneja *stricto sensu*, abaixo dos 450m de altitude. A transição entre os dois compartimentos dá-se através da superação da crista, onde está implantado a parede do açude do Saco. O perfil 02 apresenta tanto a encosta da Serra da Baixa Verde, como o primeiro compartimento do patamar de Serra Talhada.

O perfil 01 e o perfil 02 também revelam claramente a subida do nível de base resultante do represamento dos canais. No caso do perfil 01 é visível esse aumento entre 26000m e 28000m da faixa longitudinal e na faixa de 32000m, consequência do represamento para a construção dos açudes do Saco e Borborema, respectivamente. Já no perfil 02 a subida do nível de base dá-se na faixa próxima a 7200m, onde se encontra o açude da fazenda Fagusa.

Em relação à ordem dos canais (figura 08), na bacia predominam canais de baixa ordem, havendo um maior desenvolvimento da drenagem na área do patamar de Santa Cruz da Baixa Verde. Tendo como canal de ordem maior o riacho do Saco que após receber o afluente representado pelo perfil 03 (figura 07), alcança a quarta ordem.

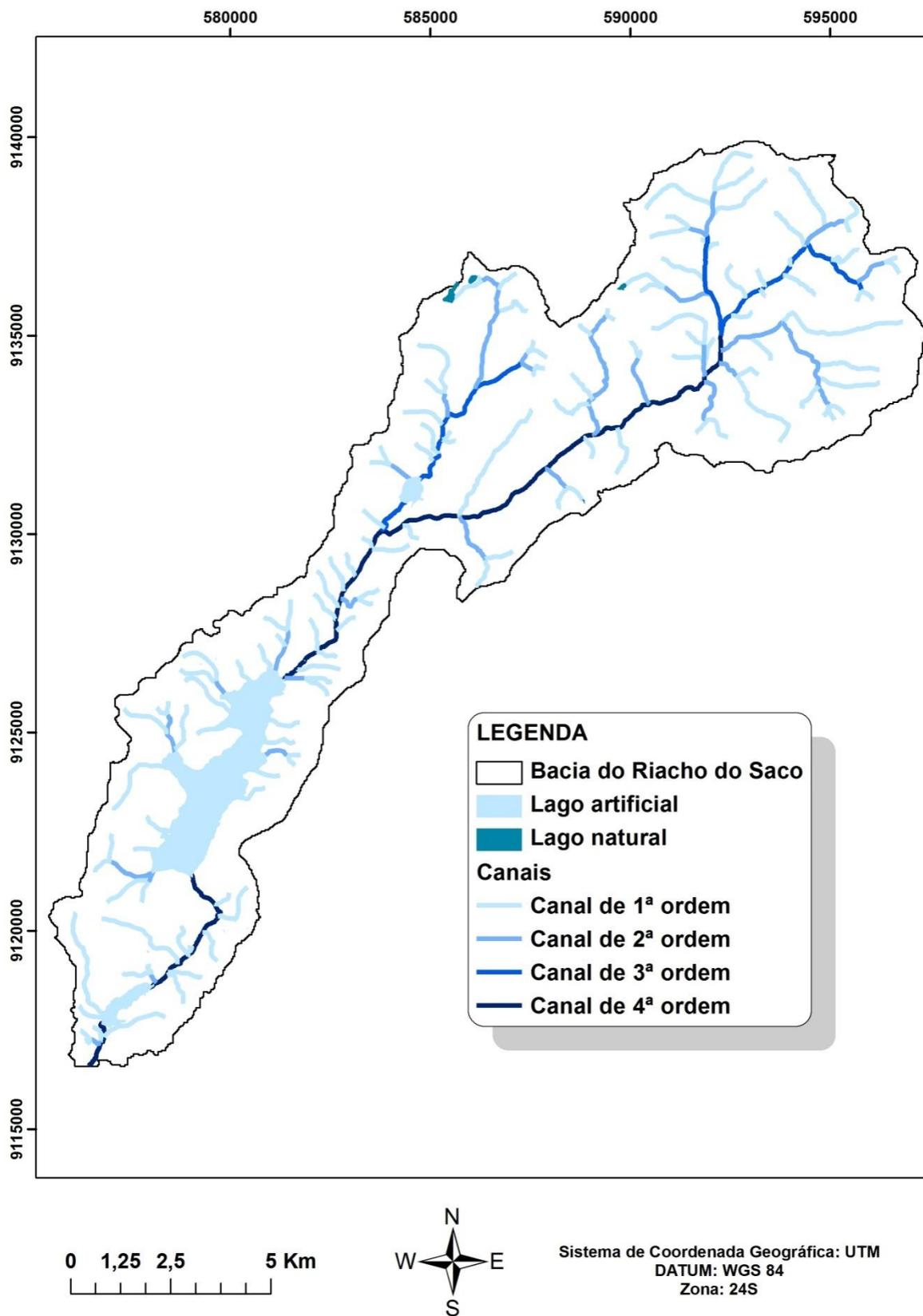


Figura 8: Ordem dos canais da bacia do riacho do Saco

### 1.7. Uso e ocupação

A ocupação moderna da área em pesquisa, a partir da colonização européia, remonta ao século XVIII, a partir de fazendas de gados e missões religiosas. Alguns estudos do início do século XX já apresentavam uma ocupação de área próxima ao que existe atualmente (CORRÊA, 1997). Deste modo as mudanças antrópicas dos controles do sistema natural não são recentes; ou seja, o sistema não se encontra em estágio inicial de adaptação aos novos controles e limiares de mudanças (BRUNSDEN, 2001). Esses novos controles, modificados pela ocupação humana, já interagem e “integram” esse sistema.

As características ambientais distintas dentro da bacia influenciaram uma diferenciação do uso e ocupação das terras. Nas áreas mais secas há a predominância da pecuária extensiva, característica comum do semi-árido nordestino, enquanto que nas áreas mais úmidas há a predominância do cultivo de cana-de-açúcar e de policultura, além da presença dos sítios urbanos, com maior representatividade do sítio urbano de Serra Talhada, junto ao exultório da bacia.

Há também uma diferenciação na estrutura fundiária entre a área de Serra Talhada e a área de Santa Cruz da Baixa Verde. Enquanto em Serra Talhada predominam as grandes propriedades, nas áreas de Santa Cruz da Baixa Verde (as áreas mais elevadas, com características físicas mais favoráveis à agricultura) há a predominância de pequenas propriedades. Essas pequenas propriedades trabalham a partir do sistema cana-policultura (CORRÊA, 1997); onde a produção de cana é vendida para engenhos locais.

Contudo já a partir do século XX (CORRÊA, 1997), deu-se uma retração da área plantada de cana, com a introdução de outras culturas, como milho e feijão, afetou-se assim o equilíbrio obtido pelo uso tradicional e extensivo das terras. Ou seja, o tempo e o estágio de antropização já tinham estabelecido novos controles para a relação morfogênese/pedogênese, o qual foi rompido com a introdução de novas culturas em áreas sobre os domínios desses controles antropizados (áreas canavieiras). Esse desequilíbrio pode gerar um aumento das taxas de produção de sedimento.

Outro fator importante da área foi a implantação do açude do Saco, na década de 1930, obra realizada pelo DNOCS (na época denominado de Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas – IFOCS), que tinha como objetivo o abastecimento humano e a irrigação (DNOCS, 1980). Atualmente além dos usos programados inicialmente há o uso para piscicultura. O açude não faz parte dos açudes monitorados pelo DNOCS, sendo que a maior parte das informações sobre ele são resultados dos estudos da época de implantação (tabela 04).

Tabela 4: Relatório técnico do açude do Saco I. (DNOCS, 1980)

<b>RELATÓRIO TÉCNICO DO AÇUDE DO SACO I</b>	
<b>Reservatório</b>	Açude Saco I
<b>Código</b>	213
<b>Nome</b>	Saco I
<b>Bacia Hidrográfica Estadual</b>	BACIA DO RIO PAJEÚ
<b>Finalidade</b>	Abastecimento humano, irrigação
<b>Estado</b>	PE
<b>Cidade</b>	Serra Talhada
<b>Ano início construção</b>	
<b>Ano conclusão construção</b>	1936
<b>Capacidade (1.000 m<sup>3</sup>)</b>	36.000
<b>Volume Morto (1.000 m<sup>3</sup>)</b>	5.400
<b>Vazão Liberada (l/s)</b>	0,00
<b>Cota soleira sangradouro (m)</b>	110,00
<b>Cota do coroamento (m)</b>	112,00
<b>Bacia Hidráulica (m<sup>2</sup>)</b>	6.610.000,00

A construção do açude gerou a possibilidade de novos usos das terras da bacia, em especial na sua área central próxima ao açude, a partir da introdução da irrigação. Houve também a implantação de uma Estação Experimental do IPA, para o desenvolvimento de pesquisa em variadas culturas, como também pesquisa sobre irrigação. A partir da década de 1970 o IPA introduziu a piscicultura na sua pauta de experimentos, utilizando o açude do Saco para esse objetivo. Essas novas possibilidades modificaram a dinâmica de uso e ocupação das terras nas áreas próximas do açude; fugindo, assim, ao padrão dominado pela pecuária extensiva tradicional do semi-árido. Esta ficou restrita às áreas ao norte da bacia mais distantes do açude. A partir de 2006 com a instalação de um campus da UFRPE, ao sul do açude, as atividades de pesquisa na área se intensificaram.

Ao seu turno, as áreas do baixo curso, com a expansão da sede do município de Serra Talhada, passaram por um processo generalizado de urbanização, sendo o

controle antrópico predominante a partir do açude Borborema, no início da área urbana de Serra Talhada. Contudo essa área é a de menor interesse na presente pesquisa, que foca-se principalmente nas características do sistema ambiental relacionado às áreas drenadas para o açude do Saco. Assim, a análise da área a jusante do açude do Saco é de interesse secundário neste trabalho.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A fundamentação teórica da presente dissertação está centrada na construção de um arcabouço teórico básico com ênfase em geomorfologia fluvial, principalmente nos processos geomorfológicos; na relação produção, transporte e deposição. Como também na consolidação/esclarecimento dos conceitos e metodologias utilizadas.

Outro ponto importante foi a necessidade de verticalizar o estudo nas especificidades do ambiente semi-árido. Como a literatura sobre o ambiente semi-árido nordestino não é vasta, foi necessário trabalhar com analogias a partir de estudos em outros ambientes semi-áridos, tais como nos EUA, na área Mediterrânea, e na Austrália.

A fundamentação está organizada na seguinte sequência: sistemas ambientais; sistema fluvial; sensibilidade da paisagem; dinâmicas da precipitação nas terras secas; processos fluviais nas terras secas; e a conectividade da paisagem.

Sobre os tópicos torna-se necessário esclarecer o motivo da verticalização sobre a sensibilidade da paisagem que se deu no contexto de divulgar a teoria na literatura nacional, não se utilizando a metodologia associada na presente dissertação; sendo que a sensibilidade da paisagem vai ancorar a perspectiva da compreensão do problema, servindo de paradigma norteador para a investigação empírica.

### **2.1. Sistemas ambientais**

A partir da década de 1950, com a formulação e explicitação da Teoria Geral dos Sistemas por Bertalanffy, que buscava uma linguagem científica que pudesse abranger todos os campos do conhecimento, a ideia de sistema – definida como um complexo de componentes em interação – passa a ser utilizada como

alternativa/complemento ao modelo cartesiano (BERTALANFFY, 1975), onde deveria se estudar as questões resultantes das interações entre as partes, não apenas as partes e os processos isoladamente; adotando, assim, um exercício lógico que analisa os detalhes e ao mesmo tempo se preocupa com o todo (THORNES e BRUNSDEN, 1977; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; GUERRA e MARÇAL, 2006; CHRISTOFOLETTI, 2007). Contudo a Teoria Geral dos Sistemas seria, também, uma nova visão de mundo, baseada na totalidade, uma visão holística, onde a natureza seria concebida de forma integrada, sendo impossível a compreensão separada (CHRISTOFOLETTI, 2007; VALE, 2008).

Ao falar do uso da teoria Sistêmica para a compreensão da realidade e de sua complexidade (dos sistemas), Graf (1988) coloca que “A Teoria Geral dos Sistemas é uma base de conhecimento e convenções que formalizam a maneira que nós vemos os sistemas e pode ajudar a acrescentar a complexidade” (p. 30, tradução do autor).

Os sistemas não podem ser entendidos analiticamente, deste modo as partes só são compreendidas no contexto do todo, a partir da organização do todo; pois cada parte apresenta características intrínsecas e características de inter-relações com os outros elementos e com o todo (THORNES e BRUNSDEN, 1977; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; CHRISTOFOLETTI, 2007). O pensamento sistêmico é contextual e busca princípios de organização, e a alternância do foco entre as partes e o todo é a alternância do estudo entre os objetos e as relações (SANTOS, 2004).

Ao se propor como uma disciplina lógico-matemática aplicável a todas as ciências que tratam de ‘todos organizados’ (VASCONCELLOS, 2002), ela trouxe como contribuição para a Geografia uma maior integração entre seus elementos cruciais, natureza e sociedade, podendo assim se fazer uma análise dos fenômenos também em suas particularidades, não somente em suas leis gerais.

Uma definição de Ferdinand Saussure, de 1931, diz que “sistema é uma totalidade organizada, feita de elementos solidários só podendo ser definidos uns em relação aos outros em função de seu lugar na totalidade” (MORIN, 1997, p. 99). Christofolletti coloca que, “um sistema pode ser definido como um conjunto dos elementos e relações entre si e seus atributos” (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Cada sistema pode ter diversos tamanhos e estar contido e conter outros sistemas (está relacionado com a escala trabalhada), assim pode-se classificá-los como antecedentes ou subsequentes; contudo a relação entre eles é complexa e não linear podendo haver retroalimentação, onde o sistema subsequente exerce influência no antecedente (BRUNSDEN e THORNES, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1980; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; DREW, 2005; CHRISTOFOLETTI, 2007).

Para entender a composição de cada sistema é importante observar vários aspectos, tais como: a matéria, corresponde ao material que vai ser mobilizado dentro do sistema; a energia corresponde à força (potencial ou cinética) que faz com que o sistema “funcione” (realize trabalho); e estrutura, corresponde aos elementos e suas relações, o arranjo dos componentes do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1980). Sobre a estrutura é importante ressaltar três características: tamanho, correlação e casualidade. O tamanho vai estar relacionado com a quantidade de variáveis que compõe o sistema; a correlação entre as variáveis demonstra como elas se relacionam em força e direção; e a casualidade mostra a relação de independência e dependência entre as variáveis (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os sistemas recebem uma variedade de classificação e tipologias, contudo o presente trabalho irá deter-se no conceito de sistemas de processos-respostas e nos sistemas controlados (sistemas de processos-respostas com atuação antrópica). Os sistemas de processos-respostas são formados pela associação de sistemas morfológicos (as formas do sistema) e sistemas em sequência (os processos do sistema), assim busca-se identificar as relações entre os processos e as formas do sistema (SCHUMM, 1977; THORNES e BRUNSDEN, 1977; CHRISTOFOLETTI, 1980; 1999; GRAF, 1988).

Entretanto, como dito anteriormente, a relação é complexa e não linear, assim, uma mudança na forma pode alterar os processos e mudanças nos processos podem alterar as formas (THORNES e BRUNSDEN, 1977). Essa característica dos sistemas é conhecida como mecanismo de retroalimentação (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004), sendo quatro tipos mais comuns: retroalimentação direta, quando há relacionamento direto de ida e vinda entre duas variáveis; retroalimentação em circuito, quando envolve mais de duas variáveis e a

retroalimentação é cíclica voltando ao ponto inicial; retroalimentação negativa, é quando uma alteração externa causa alterações no sistema visando extinguir ou estabilizar a mudança inicial (tido como a retroalimentação mais comum); e retroalimentação positiva, quando as relações entre as variáveis reforçam o impulso externo de mudança, não levando a estabilidade do sistema, e sim à sua “destruição” (CHRISTOFOLETTI, 1980; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; BRIERLEY e FRYIRS, 2005; DREW, 2005), como é o exemplo clássico da evolução das *badlands* (FAULKNER, 2008)..

Dentro dessa perspectiva a geografia física tenta se inserir buscando consolidar as noções de totalidade e intercambiando com a biologia, física e química passa a partilhar a noção de sistemas dinâmicos, não lineares e de comportamento caótico (CORRÊA, 2006). Na geomorfologia a teoria de Bertalanffy foi explicitamente introduzida por Chorley em 1962 (GRAF, 1988).

A Teoria dos Sistemas foi mais amplamente utilizada na geografia física a partir da idéia de geossistemas, resgatando a noção de totalidade aos estudos geográficos. Contudo a relação natureza-sociedade nos estudos sobre os geossistemas não foi totalmente resolvida, havendo discordância entre os principais autores (CORRÊA, 2006). Deste impasse surgem os principais problemas, sobretudo metodológicos, do uso do conceito de geossistemas; motivo pelo qual, no presente trabalho, não será adotada a terminologia do geossistema nem a metodologia associada a ela, preferindo-se trabalhar com a terminologia e o conceito de sistema fluvial (SCHUMM, 1977), utilizado largamente nos estudos que tratam da dinâmica de bacias hidrográficas.

Christofolletti (1999) coloca como objeto da geografia física o estudo dos sistemas ambientais físicos, onde esses representariam a organização espacial resultante da interação dos componentes físicos da natureza, possuindo uma dimensão espacial. O autor coloca, assim, o geossistema como sinônimo de sistema ambiental físico (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A não utilização da metodologia específica associada aos estudos de geossistemas, entre as quais as metodologias de classificação e diferenciação de unidades de paisagem, foi o principal motivo da não utilização dos geossistemas.

Assim preferiu-se trabalhar, apesar das semelhanças teóricas, baseado no sistema fluvial e dentro da perspectiva de limiar de resistência da sensibilidade da paisagem (BRUNSDEN, 2001).

Outros autores classificam os ambientes naturais, decorrentes das diferentes relações de troca de energia e matéria, como ecossistemas onde a denominação de sistemas ambientais seria mais recente, não diferenciando sistemas ambientais e ecossistemas (ROSS, 2003). Da mesma forma inserem as ações antrópicas como elementos dos sistemas ambientais, não as diferenciando dos elementos naturais (ROSS, 2003; TOMASONI, 2004; LEFF, 2006).

Porém outros autores contrariam a ideia de que o sistema antrópico está inserido no sistema ambiental, afirmando que há relações entre os sistemas ambientais/naturais e os sistemas antrópicos (CHRISTOFOLETTI, 1999; CHRISTOFOLETTI, 2007; OLIVEIRA e MACHADO, 2007). Sobre a equivalência conceitual entre ecossistema e geossistema, pode-se afirmar que o ecossistema é um tipo de sistema ambiental, como o geossistema é outro tipo, assim, não se pode colocar ecossistema e sistema ambiental como sinônimos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A abordagem sistêmica apresenta-se como meio de compreensão do mundo natural, assim possibilitando a previsão de mudanças, avaliação dos sistemas ambientais, interferências e limiares do sistema (THORNES e BRUNSDEN, 1977; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; DREW, 2005). É dentro dessa perspectiva sistêmica que se enquadra a sensibilidade da paisagem (BRUNSDEN, 2001), utilizada como meio de compreensão das questões trabalhadas no presente estudo. Fortalecendo essa ideia, Santos (2004) coloca que:

Um aspecto importante desse novo paradigma refere-se à implicação de que a epistemologia – a compreensão do processo de conhecimento – precisa ser explicitamente incluída na descrição dos fenômenos naturais (SANTOS, 2004, p. 41)

Há também de se observar que no caso de sistemas dinâmicos não lineares ou complexos; onde existe, por exemplo, retroalimentação ou estocagem de energia

e/ou matéria (SCHUMM, 1977; THORNES e BRUNSDEN, 1977; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004); outras perspectivas podem ser levadas em consideração como a teoria do caos e a geometria fractal (CHRISTOFOLETTI, 2007), contudo essas questões não serão discutidas no presente trabalho, preferindo-se trabalhar com a fundamentação epistemológica sistêmica da sensibilidade da paisagem (BRUNSDEN, 2001) e com metodologias diferenciadas (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b).

## 2.2. Sistema fluvial

A bacia de drenagem pode ser considerada um sistema aberto, que recebe energia da atuação climática e das forças tectônicas e perde energia a partir da saída de água, sedimento e nutrientes da área da bacia (COELHO NETTO, 1998). Alterações nesse sistema, mesmo que de baixa intensidade, levariam à desestabilização do sistema, devido ao grande número de interações e retroalimentações dos sistemas naturais (DREW, 2005).

Mattos e Perez Filho (2004) ao defenderem o estudo sistêmico e complexo das bacias hidrográficas falam da impossibilidade da compreensão das bacias a partir de estudos isolado dos elementos:

A bacia hidrográfica não pode ser entendida pelo estudo isolado de cada um dos seus componentes: sua estrutura, funcionamento e organização são decorrentes das inter-relações desses elementos, de modo que o todo resultante não é resultado da soma da estrutura, funcionamento e organização de suas partes. Analisar separadamente os processos que ocorrem nas vertentes e aqueles que acontecem nos canais fluviais não permite compreender como o sistema bacia hidrográfica funciona enquanto unidade organizada complexa. (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004, p. 17)

Santos (2004) defende a utilização do paradigma sistêmico nos estudos sobre bacia hidrográfica:

Podemos, de maneira geral, afirmar que o arcabouço teórico dos sistemas e o conceito de organização se adaptam perfeitamente ao estudo de bacias

hidrográficas e, faz com que os analistas do ambiente reconheçam o fato de que as partes dessa paisagem não são independentes, que a bacia hidrográfica, dentro de certos limites, constitui-se num todo interconectado, expressa espaço-temporalmente através de padrões, arranjos morfológicos e estruturais complexos. (SANTOS, 2004, p. 47)

Guerra e Mendonça (2007) defendem, também, se trabalhar bacias hidrográficas a partir do conceito de sistemas:

As bacias hidrográficas podem ser consideradas sistemas abertos, em termos de *inputs* de energia, oriundos da precipitação, e dos *outputs*, relacionados à água e sedimentos oriundos da erosão fluvial e das encostas existentes no âmbito das bacias. (GUERRA e MENDONÇA, 2007, p. 231)

Thornes e Brunnsden (1977) novamente colocam as bacias de drenagem como exemplo de sistema ao afirmar que “a bacia de drenagem pode ser reconhecida como um sistema em qual o input é a chuva e o output é a descarga do canal principal e da água subterrânea” (p. 11, tradução do autor).

Graf (1988) chega a um ponto de colocar como evidente a ideia que os rios apresentam-se como sistemas:

O comentário que os rios são sistemas gerais integrados de elementos conectados pelos processos da água e o que acontece para um elemento acaba afetando todos os elementos, parece ser como uma declaração superficial, também sendo evidente. (GRAF, 1988, p. 295, tradução do autor)

A partir da premissa de que a bacia hidrográfica é uma unidade sistêmica há a necessidade de explicitar o conceito de bacia hidrográfica que é múltiplo, seguindo a perspectiva e objetivo de cada estudo. Desse modo irá se abordar alguns conceitos de bacia hidrográfica e bacia de drenagem, onde os autores trabalham com ambas nomenclaturas podendo ou não esses conceitos serem sinônimos.

Em um estudo hidrológico a bacia hidrográfica ou de drenagem é a área total de superfície de terreno de captação natural da água precipitada, na qual um aquífero ou um sistema fluvial recolhe sua água (TUCCI, 1993). Nessa definição

pode-se observar que há uma diferença entre bacia hidrográfica e sistema fluvial, diferença essa que será apontada posteriormente.

Outro conceito de ênfase hidrológica de bacia hidrográfica diz que é o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes, deste modo é colocada como unidade apropriada para estudos qualitativos e quantitativos dos fluxos/recurso de água, sedimentos e nutrientes (PIRES, SANTOS e DEL PRETTE, 2008).

Coelho Netto (1998) classifica a bacia de drenagem como um sistema hidrogeomorfológico, ao afirmar que “a bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial” (COELHO NETTO, 1998, p. 97-98).

Uma ideia mais ampla de bacia hidrográfica, voltado ao planejamento para conservação dos recursos naturais, conta, além dos elementos hidrológicos, com os aspectos da estrutura biofísica, e no estudo dos padrões de uso do solo, suas modificações e as mudanças resultantes deles (PIRES, SANTOS e DEL PRETTE, 2008).

Dentro dessa perspectiva Campos (2006) ao condensar os conceitos sobre bacia hidrográfica, introduz a ideia de funcionamento do sistema ao colocar:

Portanto, uma bacia hidrográfica considerada um sistema físico e dinâmico, configura-se como uma unidade funcional básica de planejamento e gerenciamento ambiental, pois nela ocorre a integração das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social. (CAMPOS, 2006, p. 105)

Apesar da visão mais ampla do planejamento de bacias hidrográficas o foco dos estudos baseado nessas idéias deu ênfase às questões relacionadas ao recurso água, tais como: irrigação, abastecimento, inundações, e secas. A partir da evolução dos estudos incorporaram-se aspectos relacionados com o uso múltiplo da água, tentando solucionar os conflitos entre os diversos usuários, tendo a perspectiva de que o uso dos recursos hídricos está relacionado com fatores naturais, econômicos, sociais e políticos; sendo a água o ponto central das relações (PIRES, SANTOS e

DEL PRETTE, 2008). Novamente o enfoque deu-se no recurso água, não aprofundando os estudos sobre os outros elementos físicos do sistema.

A partir da implementação do uso de Sistemas de Informações Geográficas – SIG – fortaleceu-se a análise integrada dos elementos em estudos de gestão de bacia hidrográfica, tendo como foco não apenas os recursos hídricos; como também outros aspectos ecológicos e ambientais, fluxos de energia e riscos ambientais (BECKER, 2008; PIRES, SANTOS e DEL PRETTE, 2008). Embora haja uma ampliação real dos elementos estudados o estudo sedimentológico não é feito usualmente.

Essa perspectiva ecológica tem como ênfase a classificação de áreas homogêneas (zoneamento), baseada nas características físicos-sociais da bacia; não havendo o devido cuidado com a compreensão dos processos e do funcionamento do sistema; onde a partir da soma das características haveria a possibilidade de classificar a área (BECKER, 2008). Assim Lorandi e Cançado (2008) defendem essa idéia ao falar sobre o Zoneamento Ambiental:

Consiste na divisão do território estudado tendo como base a classificação ambiental dos parâmetros físicos associados e a consequente análise dos quadros ambientais e futuros, no que diz respeito aos instrumentos de controle das atividades antrópicas e suas respectivas políticas públicas (LORANDI e CANÇADO, 2008, p. 37-38)

Essa visão “empilha” as informações e classifica as áreas homogêneas a partir desse “empilhamento”; contudo, na prática, a noção de estrutura e funcionamento do sistema não é trabalhada, ou seja os processos de produção, transporte e deposição de sedimentos.

Apesar disso com a utilização de novas epistemes sistêmicas, tais como ecologia da paisagem, surge a preocupação com os processos na bacia hidrográfica, ou seja, a relação entre a estrutura e função do sistema, e, assim, fortalece-se as questões sedimentológicas (PIRES, SANTOS e DEL PRETTE, 2008).

Além das questões da gestão de bacia hidrográfica, e dos elementos para essa gestão que fazem ou não parte da bacia, a bacia hidrográfica deve ser encarada como um recorte espacial, que irá limitar e identificar a área da pesquisa, como Becker (2008) aponta:

A utilização da abordagem de bacia hidrográfica traz intrinsecamente a noção de espaço, ou seja, de que os padrões e processos que ocorrem dentro de uma unidade espacial denominada bacia hidrográfica são fortemente determinados ou associados tanto à posição absoluta de entidades no espaço, quanto à sua posição relativa a outras entidades. (BECKER, 2008, p. 91)

Assim na presente pesquisa a bacia hidrográfica será tratada como delimitação da área de pesquisa, sendo a delimitação do sistema estudado. Sendo definida como parte da superfície terrestre que é ocupada por um sistema de drenagem ou drena água para aquele sistema de drenagem, sendo sinônimo de bacia de drenagem, e compreendendo uma unidade de caráter espacial (SUGUIO, 1998).

Dentro da perspectiva espacial sobre a bacia hidrográfica surge outro ponto a ser discutido, que é a ideia de micro-bacia hidrográfica que seria utilizada como unidade de ordenamento do território, por ser uma unidade sistêmica e na escala adequada ao planejamento (BOTELHO, 2005).

No entanto, falta consenso dentro da comunidade acadêmica sobre a definição do que vem a ser micro-bacia hidrográfica e principalmente sobre a sua dimensão, apesar dessa ideia haver se difundido muito fortemente nos estudos das geociências. Contudo uma micro-bacia seria uma bacia hidrográfica cuja área tivesse tamanho suficiente para que se pudessem observar as inter-relações existentes entre seus diversos elementos e com o tamanho compatível com os recursos disponíveis, sendo possível realizar projetos de planejamento (BOTELHO e SILVA, 2004).

De tal modo a bacia do riacho do Saco representaria uma micro-bacia, contudo o termo “micro-bacia” não será utilizado, por causa da falta de consenso

sobre ele, a despeito das idéias relacionadas às chamadas micro-bacias se enquadrarem para o contexto da bacia do riacho do Saco.

Para proceder a uma análise cujos resultados possam ser aplicados diretamente às iniciativas de planejamento local faz-se ainda necessário a escolha de uma bacia representativa, ou seja, uma bacia que não destoe das características físicas e sociais comuns à região que se pretende estudar (BOTELHO e SILVA, 2004), o que seria o caso da bacia do riacho do Saco.

Assim, os elementos, processos e estruturas estudadas estarão epistemologicamente amparados no conceito de sistema fluvial, que é entendido como a zona fonte de sedimentos, a rede de transporte e os sítios de deposição. Esses elementos não são espacialmente excludentes, interagindo entre si, além de apresentar escalas diferenciadas. Para compreender as inter-relações, ou algum dos elementos em separado; é necessário compreender o comportamento dos rios, o aporte de água na zona fonte de sedimento, qual quantidade e tipo de sedimento disponível, como são os controles climáticos e geológicos e o que eles afetam, qual o uso do solo e cobertura vegetal e sua relação com as zonas do sistema fluvial, etc. (SCHUMM, 1977).

Schumm (1977) coloca que ao pensar na zona fonte de sedimentos deve-se focar na evolução erosiva e no modo que essa zona responde a mudanças no sistema. Todas as áreas da bacia podem ser encaradas como zona fonte de sedimento.

Ao analisar a rede de transporte deve-se dar ênfase ao estudo das características dos rios, seu comportamento, e a relação estabilidade/instabilidade e as respostas relacionadas (SCHUMM, 1977). Contudo é necessário ter em mente que o transporte é realizado em todo o sistema, a ênfase na rede de drenagem dá-se pelo maior volume de transporte a partir da rede de drenagem.

O estudo dos sítios de deposição deve trabalhar tanto com as características dos lugares de deposição, principalmente as relacionadas com a deposição, como também analisar os depósitos resultantes. Os locais mais favoráveis, em volume de sedimento, para os sítios de deposição são os sopés das encostas e as planícies

costeiras (SCHUMM, 1977); contudo há sítios de deposição em diversas outras áreas da bacia (inclusive resultada das modificações antrópicas).

Para o estudo do sistema fluvial é necessário levar em consideração quatro conceitos: uniformidade dos processos, limiares de mudança, evolução da paisagem e respostas complexas. A uniformidade dos processos seria a permanência das leis físicas no espaço e no tempo. O limiar de mudança seria o nível de energia necessária para levar a uma alteração no estado do sistema. A evolução da paisagem está relacionada com o estado atual da paisagem e sua alteração no tempo, tempo geológico ou tempo humano. E as respostas complexas estariam relacionadas às respostas e ajustes do sistema às mudanças, às retro-alimentações, às inúmeras variáveis envolvidas (SCHUMM, 1977; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004).

Os processos geomórficos, regimes de fluxo, vegetações associadas e a disponibilidade de sedimentos (balanço sedimentológico) irão modificar as forças de distribuição de energia e matéria dentro do sistema fluvial, e essa interação irá determinar as características e distribuição dos elementos do sistema (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

Nota-se que essa definição dá forte ênfase aos processos geomorfológicos (atendendo assim às necessidades do presente estudo) do sistema, apontando assim a importância desse tema para análises diversas, como conservação dos solos, gestão ambiental, gerenciamento do uso do solo, engenharia ambiental, geomorfologia, geologia, entre outros (SCHUMM, 1977). Destarte torna-se conveniente expandir esse ponto.

Christofolletti (1981) ao falar do material detrítico transportado pelo rio, e sua relação com a bacia hidrográfica, coloca:

Há muito tempo reconhece-se que o transporte dos sedimentos é o governado pelos fatores hidrológicos, que o transporte dos sedimentos é responsável por fatores hidrológicos que controlam as características e o regime dos cursos de água. Os fatores hidrológicos, cujos mais importantes são a quantidade e a distribuição da precipitação, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal influenciam a formação do

material intemperizado na bacia hidrográfica e o carregamento desses materiais até o rio. (CHRISTOFOLETTI, 1981, p. 19)

Pires, Santos e Del Prette (2008) ao citar a possibilidade de um aumento na carga de sedimentos, resultante do uso inadequado dos solos, afirma que:

A retenção de sólidos (assoreamento) nas planícies inundáveis e nos rios associados também proporcionam grande preocupação. As modificações geomorfológicas da planície de inundação podem influenciar sua produtividade biológica, determinando uma mudança nos padrões de produtividade pesqueira de toda a bacia hidrográfica, além de interferir no transporte fluvial e no padrão de cheias. (PIRES, SANTOS e DEL PRETTE, 2008, p. 31)

Sobre a importância da sedimentação fluvial para o planejamento, e do impacto humano nos sistemas fluviais Chistofoletti (1981) afirma que:

Qualquer programa de planejamento regional, urbano ou agrícola, envolve aspectos ligados com a sedimentação fluvial. Muitas atividades humanas podem aumentar ou diminuir a quantidade de água escoada superficialmente, tendo consequências no regime fluvial e na intensidade das cheias. (CHRISTOFOLETTI, 1981, p. 20)

O estudo das características físicas, entre eles as sedimentológicas, da bacia mostra-se de vital importância para um possível planejamento local da área como sugerem Bigarella, Suguio e Becker (1979):

O conhecimento das características fluviais é importante não somente no que concerne aos recursos hídricos, tanto do ponto de vista da hidráulica e do controle de erosão, como também do ponto de vista sedimentológico, geomorfológico e do planejamento regional. (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979, p. 22)

Bigarella, Suguio e Becker (1979) também tratam da importância do impacto da retirada da vegetação natural e sua relação com o balanço de sedimentação dentro do sistema fluvial. “Antes das derrubadas, os rios transportavam pequena carga de sedimentos. Agora esta é elevada, provém da erosão dos solos das

extensas áreas de agricultura primitiva e degradativa” (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979, p. 167).

### **2.3. Sensitividade da paisagem**

Para se entender o conceito de sensitividade da paisagem, é importante entender a proposição de estabilidade da paisagem, como uma função de distribuição temporal e espacial de forças de resistência e perturbação e, portanto, complexa (BRUNSDEN, 1996). Ou seja, a estabilidade é a relação entre resistências e perturbações nas paisagens, com as devidas diferenças espaciais e temporais. Ela pode ser medida pela proporção da magnitude das forças de perturbação e da magnitude e eficiência do limiar de estabilidade, a partir do qual o sistema passa a ter respostas perceptíveis à mudança (BRUNSDEN e THORNES, 1979).

A força de resistência do sistema é a habilidade do sistema para resistir a uma mudança do estado inicial após uma perturbação (BRUNSDEN e THORNES, 1979; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004). A força de perturbação são aplicações de energia a partir dos controles do sistema, como clima e tectônica, em alguns casos interferências biótica e antrópicas podem atuar como força de perturbação (BRUNSDEN, 2001). Contudo não se deve confundir força de perturbação com modificação da resistência de um sistema, por exemplo, a retirada da vegetação não é em si quem vai causar uma modificação do sistema geomorfológico, ela vai modificar a resistência da área.

Ao analisar as forças de resistência do sistema encontra-se o limiar de mudança do sistema (limiar de estabilidade), ou seja, ao nível de perturbação, que ao ser superado o sistema apresentaria mudança, sendo definido a partir das forças de resistências (BRUNSDEN e THORNES, 1979; BRUNSDEN, 2001; ZEHE e SIVAPALAN, 2009). O limiar de mudança do sistema não é fixo, podendo variar no tempo e no espaço, tanto relacionado com as forças de resistência; como a partir de respostas às forças de perturbação, mesmo antes dessas atingirem o limiar de resistência; como também quando as forças de perturbação superam o limiar de

resistência às mudanças, há a possibilidade de haver alterações nos valor inicial do limiar de mudança (PHILLIPS, 2009; ZEHE e SIVAPALAN, 2009).

Baseado nessas idéias, a sensibilidade da paisagem seria a probabilidade que uma mudança nos controles do sistema ou nas forças aplicadas sobre ele, produzir respostas sensíveis, reconhecíveis, sustentáveis, contudo complexas (BRUNSDEN e THORNES, 1979; BRUNSDEN, 1996; BRUNSDEN, 2001). Ou seja, tanto a mudança das forças de perturbação quanto as mudanças nas forças de resistência, irão afetar a sensibilidade da paisagem. A base teórica da sensibilidade da paisagem não é nova, sendo usual e alguns conceitos bem estabelecidos na literatura, contudo a sensibilidade da paisagem organiza e padroniza a conceituação e terminologias, como também tenta desenvolver uma práxis convergente e sólida baseada nessas idéias compiladas/ampliadas pela sensibilidade (THOMAS, 2001).

A sensibilidade da paisagem surge como uma organização lógica, conceitual, terminológica e metodológica de várias questões abordadas pela geomorfologia. Organizando uma série de informações que possibilitam uma análise multi-variada das questões relacionadas com mudanças nas paisagens, como também apresenta respostas complexas às mudanças. Oferecendo uma série de ferramentas metodológicas para a análise sobre a capacidade de mudança do sistema ou de absorver mudanças, baseado em informações como: resistência e força; frequência, magnitude e duração das perturbações; estabilidade/resiliência das paisagens; e os controles temporais e espaciais das características do sistema (PHILLIPS, 2009).

A sensibilidade de um sistema é definida pelas suas especificações, que caracterizarão sua propensão para a mudança e sua habilidade para absorver forças desestabilizadoras (BRUNSDEN, 2001). Outro ponto a ser levado em consideração é a temporalidade da sensibilidade, que pode variar pelo tempo, assim como pelo espaço. A variação temporal pode ser considerada a partir de várias escalas temporais, variação dentro de um dia, de um mês, de um ano, décadas, séculos, milênios, ou em escalas geológicas de tempo (THOMAS, 2001). A idéia de temporalidade representa-se anualmente na área de estudo, por causa de seu regime de chuvas mal distribuído que altera periodicamente suas forças de resistência, que são um dos principais controles do limiar de estabilidade do sistema.

As forças de resistência podem ser distribuídas em cinco tipos (BRUNSDEN, 2001): resistência de força; resistência morfológica; resistência estrutural; resistência de filtro; e resistência do estado do sistema.

A resistência de força (*strength resistance*) é a barreira à mudança das propriedades e disposições dos materiais constituintes do sistema. Incluindo dois aspectos; o primeiro são as características de fabricação estrutural da paisagem, da formação das rochas e da história tectônica da área, assim como linhas de fraqueza (THOMAS, 2001). O segundo aspecto são as propriedades químicas e físicas da litologia; a resistência e erodibilidade; os tipos de resposta a forças de estresse (líquida, plástica ou quebrantável). Essas características vão controlar o relevo, a declividade, entre outras características morfológicas (BRUNSDEN, 2001).

A resistência morfológica (*morphological resistance*) é a variação da distribuição, pelo sistema, da energia potencial; distribuindo e analisando a altimetria e a declividade das encostas. A resistência de morfologia também orienta a sensibilidade da paisagem em relação à concentração e dispersão das forças de estresses, tais como o comportamento relacionado com formas de encosta, *hollows* e *noses*, onde no primeiro há concentração de água (força de perturbação) e no segundo há dispersão de água (BRUNSDEN, 2001).

A resistência estrutural (*structural resistance*) é o desenho atual de um sistema, seus componentes, topologia, ligações, limiares e controles (HARVEY, 2002). A resistência estrutural é composta de duas resistências inter-relacionadas; a primeira é resistência de localização que consiste na localização relativa dos elementos do sistema em relação às atividades de processos capazes de modificar o sistema (THOMAS, 2001). A segunda é a resistência de transmissão que é a capacidade do sistema de transmitir impulsos de mudança. A partir das barreiras de transmissão identificadas no mapa, podemos avaliar as ligações do sistema, que expressam uma relação entre dois locais e podem ser: ligados (*coupled*) (BRUNSDEN e THORNES, 1979), onde os elementos estão ligados pela livre transmissão de energia e matéria; desligados (*decoupled*), onde a transmissão de energia e matéria foram temporariamente interrompidas; e não ligados (*not coupled*),

onde não há nenhuma ligação entre as partes do sistema, normalmente pela descontinuidade entre dois domínios de processos (BRUNSDEN, 2001).

A resistência de filtro (*filter resistance*) é o mecanismo de controle e remoção de energia do sistema. Envolve o uso e absorção de energia, e também os ajustes para minimizar a taxa de uso de energia (difusão, armazenamento); o armazenamento de energia pode controlar o desenvolvimento do sistema por longos períodos (BRUNSDEN, 2001).

Por último; a resistência do estado do sistema (*system state resistance*) é a capacidade, do sistema, resistir a mudanças pelo seu histórico, cada sistema tem um modelo individual de impulsos de mudança e eventos formativos, resultado do seu histórico único (PHILLIPS, 2007). Representa os elementos herdados por cada sistema, como também o estado atual do sistema. Essas características podem explicar as diferenças espaciais de sensibilidades entre dois locais com características semelhantes (BRUNSDEN, 2001).

Sobre o estado do sistema é importante frisar algumas características tais como: elasticidade, a velocidade para o sistema voltar ao estado inicial; amplitude, é o nível de mudança que permite que o sistema volte para o estado inicial; histerese, é a medida em que o padrão de recuperação é diferente do padrão da degradação; maleabilidade, é o grau que o novo estado permanente é diferente do estado inicial, pré-perturbação (BRUNSDEN, 2001). “Esses aspectos trabalhados na sensibilidade são bem conhecidos pelos geomorfólogos, mas os termos não são ocasionalmente usados” (BRUNSDEN, 2001, p. 103, tradução do autor).

Além da análise das resistências é necessário analisar os processos dependentes do tempo e sua relação com a sensibilidade, eles incluem: os efeitos do curso do tempo nas mudanças espaciais das especificações do sistema; probabilidade e sequência de eventos e modelos de respostas anômalas; a natureza e características das ondas de agressão; as mudanças das barreiras de resistência através do tempo; processos modificadores dos limites espaciais do sistema; as pequenas variações de sensibilidade relacionadas às características herdadas (BRUNSDEN, 2001).

É necessário analisar as mudanças temporais nas características do sistema, essas mudanças podem ser nas características intrínsecas do sistema ou dos eventos externos (BRUNSDEN e THORNES, 1979); essa análise pode ser compreendida a partir de alguns modelos de mudanças no sistema, tais como: mudança dos limiares do sistema; mudança na frequência dos eventos; mudanças na magnitude dos eventos; mudanças na magnitude e frequência dos eventos; mudança na duração dos eventos; mudança na sequência dos eventos; mudança nas tendências das características dos eventos; e mudanças bruscas dos eventos (BRUNSDEN e THORNES, 1979; BRUNSDEN, 2001; ZEHE e SIVAPALAN, 2009).

É necessário, também, compreender o comportamento dos eventos, entendendo a provável distribuição dos mesmos no tempo e espaço, ou seja, a distribuição da sua frequência, magnitude e duração (BRUNSDEN e THORNES, 1979). A sensibilidade é mensurada a partir da reação de cada parte do sistema a esses eventos. É interessante observar dois pontos, o primeiro é que os efeitos dos eventos não são homogêneos dentro do sistema e em sistemas vizinhos, partindo da idéia que há diferenciações espaciais em um determinado evento; resultado das diferenciações locais entre os sistemas (PHILLIPS, 2007). E segundo que as respostas aos eventos são complexas (BRUNSDEN e THORNES, 1979), não apenas respostas diretas, mas também séries complexas de retroalimentações podem ser geradas por determinado evento (BRUNSDEN, 2001).

A sensibilidade da paisagem está claramente relacionada aos modelos de erosão, por exemplo, uma incisão gerada por uma mudança de nível modifica várias características do sistema (BRUNSDEN, 2001). Contudo aquela modificação não fica restrita aquele ponto, ela se propaga em várias direções (lateralmente, a montante e a jusante) distanciando-se da área fonte da mudança. Não só a forma se propaga, mas os processos gerados a partir desse evento modificam outras áreas. O avanço dessas ondas de agressão está diretamente ligado com a capacidade de transmissão de energia e matéria do sistema (BRUNSDEN e THORNES, 1979). As ondas de agressão são efeitos da retroalimentação positiva, que levam a uma propagação da instabilidade no sistema, que ao invés de ajustar-se para absorver a mudança cria novas características e relações que aumentam a instabilidade (THOMAS, 2001).

Algumas características de resistência do sistema são dependentes da passagem do tempo - características temporárias. Um exemplo são as áreas onde houve algum tipo de endurecimento dos sedimentos, como as áreas de concreções ferruginosas, os ferricretes, que ao serem destruídos aos poucos pela erosão, diminuem a resistência da área em que se encontra. Como também algumas mudanças da vegetação, como as características das vegetações caducifólias e sub-caducifólias (BRUNSDEN, 2001).

As ondas de agressão podem, a partir da sua evolução, atravessar os limites do sistema, anexando áreas anexas. Essa modificação da área do sistema modifica os processos relacionados, incluindo uma série de informações novas e modificando as já existentes. Um exemplo dessas modificações de limite do sistema são as capturas de drenagem (BRUNSDEN, 2001).

Entre as características funcionais dos sistemas podem-se encontrar as formas herdadas (BRUNSDEN, 2001). Os processos relacionados com essas formas vão ter padrões diferenciados ao se comparar com as características funcionais, e isso vai causar modificações pontuais na sensibilidade da paisagem (THOMAS, 2001).

Tendo em mente essas idéias surge a possibilidade de mapear a sensibilidade da paisagem de determinado sistema, utilizável para o planejamento. Para isto há uma série de procedimentos a ser seguida. Inicialmente é necessário definir as especificações do sistema; levantamento dos dados básicos; mapeando a morfologia, materiais e estrutura; classificando áreas homogêneas; levantando dados climáticos; identificando formas herdadas; e tabulando os domínios de processos. O segundo passo é mapear os valores prováveis; como altitude, declividade; intensidade e frequência de chuvas; identificar o que é modificado em cada tipo de evento e cada evento; e ter como foco os eventos de alta magnitude. Terceiro passo é mapear os “estresses de agressão”, ou seja, os locais onde é possível notar modificações em curso no sistema; como também áreas onde há um aumento na concentração de energia, ou na diminuição das resistências locais (por modificações antrópicas ou naturais). E por ultimo, observando as análises anteriores, é possível realizar o mapeamento das variáveis das resistências às

mudanças; avaliando a estabilidade encosta-energia; a estabilidade encosta-material; a distribuição de energia potencial; mapear a estrutura do sistema e as áreas de fraqueza (BRUNSDEN, 2001).

A sensibilidade da paisagem foi, e é utilizada em pesquisas com focos variados, tais como sensibilidade da paisagem e as relações de mudanças nos padrões e características dos rios (WERRITTY e LEYS, 2001); sensibilidade da paisagem e mudanças na vegetação e remoção de detritos de madeira das margens (BRIERLEY, BROOKS, *et al.*, 2005); sensibilidade da paisagem de linhas de costa (HANSOM, 2001); sensibilidade da paisagem e mudanças ambientais no quaternário (THOMAS, 2004); sensibilidade da paisagem e uso agrícola de planícies de inundação (DOOLITTLE, 2006); sensibilidade da paisagem e modelagem de evolução a partir de SIGs (BROWN, 2006); sensibilidade da paisagem e relação de processos fluviais e eólicos (BULLARD e MCTAINSH, 2003); sensibilidade da paisagem e biogeomorfologia (PHILLIPS, 1995).

Essas são algumas das possibilidades a serem trabalhadas a partir da idéia de sensibilidade da paisagem, algumas variáveis podem ser incluídas ou retiradas, dependendo da viabilidade para a pesquisa. Na presente pesquisa não se optou por trabalhar especificamente com a metodologia da sensibilidade da paisagem, por ser bem mais ampla do que o objetivo dessa pesquisa, contudo as idéias norteadoras de compreensão da paisagem e suas modificações serão retiradas dessa perspectiva sistêmica, que tem como principal mérito analisar como os processos do sistema se comportam relacionados a determinadas características, com ênfase na funcionalidade do sistema.

Dos pontos considerados pela sensibilidade da paisagem, o de maior interesse para a pesquisa em tela é a questão da resistência estrutural, e das relações de transmissão do sistema, tratadas a partir da perspectiva da conectividade da paisagem (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006), tendo pontos em comum com a idéia de resistência estrutural da sensibilidade da paisagem.

No Brasil o conceito de sensibilidade da paisagem é ainda pouco difundido e trabalhado, sendo escassos os trabalhos que abordam de alguma maneira essa temática, normalmente ao falar da necessidade de realizar estudos a partir da

abordagem da sensibilidade (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; CORRÊA e AZAMBUJA, 2005; SILVA e CORRÊA, 2007; VASCONCELOS, SOUZA, *et al.*, 2007; SOUZA, CORRÊA e BARROS, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009) ou aplicando algumas das características levantadas pela sensibilidade da paisagem (THOMAS, 2002; BARROS, SOUZA e CORREA, 2010).

Dentro desse contexto a explanação realizada até agora visa expandir a divulgação do conceito de sensibilidade na literatura nacional, como também lastrear o entendimento das questões relacionadas com a paisagem na presente pesquisa, tentando criar uma visão sistêmica das questões e utilizar conceitos e terminologias consolidadas nas pesquisas internacionais.

#### **2.4. Dinâmica da precipitação nas terras secas**

Ao se falar de processos fluviais em terras secas (*drylands*), ambientes áridos, semi-áridos e sub-úmidos, o “entendimento da variação temporal e espacial da precipitação é um pré-requisito para entender as variações do comportamento fluvial” (GRAF, 1988, p. 69, tradução do autor). Dentro dessa perspectiva é conveniente se trabalhar com a chamada climatologia da precipitação, considerada como a análise da distribuição da precipitação pluviométrica e dos sistemas sinóticos associados, focando a sazonalidade da precipitação (AMORIM, 2010).

Coelho Netto (1998), ao falar da relação entre as precipitações e do trabalho geomorfológico coloca:

A precipitação é um importante fator-controle do ciclo hidrológico e, portanto, da regulação das condições ecológicas e geográficas, de uma determinada região. As quantidades relativas de precipitação (volume), seus regimes sazonais ou diários (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume/duração) são algumas das características que afetam a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico em bacias de drenagem e, portanto, o planejamento de áreas urbanas, industriais ou rurais. (COELHO NETTO, 1998, p. 100)

As precipitações das terras secas resultam da atuação de diferentes sistemas atmosféricos, cada um deles operando em uma particular escala e produzindo diferentes modelos temporais e espaciais de precipitação (GRAF, 1988). O mesmo autor ao identificar quais processos atmosféricos causam precipitação nas terras secas, tomando como base as áreas de alta pressão semi-permanente, encontrou quatro processos principais: atividades frontais, tempestades tropicais, efeitos orográficos, e convecção.

Entre esses processos o produtor de maior volume (levando em consideração a relação magnitude e frequência) é o processo convectivo, e apenas os eventos de precipitação (chamados de tempestade por Graf) de maiores magnitudes ocasionam escoamentos superficiais (GRAF, 1988). Esses eventos, conhecidos na região da atual pesquisa como enxurradas, ocorrem com maior frequência na área de estudo entre o verão e outono, atuam morfogeneticamente podendo causar impactos nas áreas urbanas ou rurais, a partir da remoção do solo e movimentos de massa (CORRÊA, 2001).

Amorim (2010) identificou, ao estudar o norte do Nordeste, os sistemas sinóticos atuantes na área e definiu a estação chuvosa e a relação entre ela e os sistemas sinóticos atuantes. Os sistemas sinóticos atuantes na área, tanto relacionados com o aumento da precipitação quanto relacionados com a diminuição da precipitação, identificados foram a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Anticiclone do Atlântico Sul (ASA), Vórtice Ciclônico de Atmosfera Superior (VCAS), Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) e Linhas de Estabilidade (LI).

Sendo que a atividade do ASA relaciona-se inversamente com a precipitação, ou seja, quanto mais forte estiver a intensidade do ASA menor vai ser a precipitação. Essa relação dá-se por que a atuação do ASA reflete no deslocamento da ZCIT, que é o fator controlador da estação chuvosa, por esse motivo a estação chuvosa concentra-se entre os meses de janeiro a abril – índices máximos de precipitação em março e abril (MOLION e BERNARDO, 2002), época de maior atuação da ZCIT na área, tendo um maior deslocamento para sul quando o ASA têm pouca intensidade. Enquanto os demais sistemas sinóticos geram eventos com

características de precipitação diferenciadas, que podem ocorrer dentro ou fora da estação chuvosa (AMORIM, 2010).

Alguns estudos no centro-oeste de Pernambuco, realizados a partir de dados de um radar meteorológico instalado em Petrolina (com raio de alcance de 400 Km), identificaram os mesmos sistemas sinóticos apontados por Amorim (2010), além da presença eventual de frentes frias na porção mais ao sul do Estado (BARBOSA e CORREIA, 2005; ARAGÃO, MENDES, *et al.*, 2007; SILVA, CORREIA, *et al.*, 2008; CORREIA, ARAGÃO e ARAÚJO, 2010; SANTOS, CORREIA, *et al.*, 2010). Normalmente observa-se a atuação de frentes frias, de grande magnitude, no extremo sudoeste de Pernambuco (MOLION e BERNARDO, 2002).

Outro ponto observado nos trabalhos sobre a área é a possibilidade da contemporaneidade da atuação de dois ou mais sistemas sinóticos, anteriormente citados, normalmente durante o período de atuação da ZCIT, gerando eventos extremos de precipitação, normalmente relacionados aos VCAS ou CCM, e no caso do sul de Pernambuco, também à atuação de sistemas frontais (BARBOSA e CORREIA, 2005) (ARAGÃO, MENDES, *et al.*, 2007) (SANTOS, CORREIA, *et al.*, 2010). No caso dos CCM são apontados eventos com até 60mm de precipitação em cinco minutos (ARAGÃO, MENDES, *et al.*, 2007).

Por último, há as chamadas convecções locais formadas a partir do aumento do aquecimento, que desencadeiam pequenas células e geram precipitações de baixo volume. Apesar de ter baixo volume, esse tipo de precipitação apresenta uma frequência importante para a manutenção da vegetação no semi-árido (MOLION e BERNARDO, 2002).

Como já dito anteriormente alguns eventos sazonais e interanuais modificam o volume de precipitação da área, tais como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico. Esses eventos irão alterar o comportamento dos sistemas sinóticos atuantes na área diminuindo, ou aumentando, a frequência, duração e magnitude dos mesmos (MOLION e BERNARDO, 2002; OLIVEIRA, ALVES e NÓBREGA, 2010).

## 2.5. Processos fluviais e formas resultantes nas terras secas

Há poucos trabalhos que abordam os processos fluviais em terras secas, principalmente na literatura nacional, quase que inexistindo trabalhos de ênfase compilatória sobre as questões relacionadas com o assunto. Willian L. Graf com o livro "*Fluvial Process in Dryland Rivers*", publicado inicialmente em 1988, constrói/compila um arcabouço teórico específico sobre o tema. No início do livro afirma: "um dos mais surpreendentes paradoxos das terras secas do mundo é que embora elas sejam terras com pouca chuva, os detalhes das suas superfícies são, sobretudo, produto das ações dos rios" (GRAF, 1988, p. 3, tradução do autor). Ou seja, para entender as terras secas é necessário compreender os processos fluviais.

Os processos em ambientes semi-áridos, e em ambientes sub-úmidos, apresentam características processuais diferenciadas em relação aos ambientes úmidos. Essa diferenciação é resultado da diferença dos inputs de energia no sistema, em específico da precipitação. Por conseguinte a diferenciação processual vai resultar em uma diferenciação das formas e estrutura no sistema.

Nas terras secas o escoamento superficial representa a contribuição de massa e energia para a rede de drenagem e estímulo para processos fluviais, como também o trabalho geomorfológico exercido pelo escoamento está relacionado aos processos fluviais pelo fornecimento de sedimentos (GRAF, 1988). Para se analisar a relação entre precipitação e escoamento é necessário avaliar o estado da bacia, porque "se houver uma precipitação sobre a bacia previamente supersaturada, o escoamento será totalmente superficial, não havendo mesmo evaporação se a umidade do ar estiver saturada" (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979, p. 9). A saturação do solo está relacionada com a capacidade de infiltração do mesmo, que é colocada como uma das características que apresentam forte sensibilidade, com valores flutuantes relacionados ao uso e conservação do solo, como também a alterações naturais das características do solo ou da cobertura superficial (LOVELL e JOHNSTON, 2009); a partir dessas mudanças o volume do escoamento superficial é mutável, e vai depender do estado do sistema (BURT, 2001).

Entre os fatores relacionados com o escoamento superficial a vegetação pode ser entendida como o fator mais sensível, ou seja, mais passível de sofrer

modificações, naturais e principalmente antrópicas. Essas modificações influenciam diretamente o escoamento superficial, desse modo a modificação da distribuição e dos padrões da vegetação podem ser compreendidos como variável modificante para o escoamento superficial, principalmente quando a análise trabalhar com o tempo histórico. Assim analisando as modificações dos padrões e distribuição da vegetação no semi-árido pode-se ter indicações da variação do escoamento superficial, e conseqüentemente da mudança nas fontes de sedimento e das áreas de sedimentação (IMESON e PRINSEN, 2004; KASAI, BRIERLEY, *et al.*, 2005). Normalmente o escoamento aumenta com a retirada da vegetação, relação visível principalmente em bacias de pequeno porte (TUCCI e CLARKE, 1997).

A resposta do escoamento superficial à precipitação em terras secas pode ser dividida em resposta local; relacionada com as características do solo e cobertura superficial, e do uso do solo (cobertura vegetal e uso antrópico); e a resposta topográfica, relacionada com a topografia e o nível de conectividade da área – capacidade de transmissão de energia e matéria (KIRKBY, BRACKEN e SHANNON, 2005).

Há diversos métodos e técnicas para tentar quantificar o escoamento superficial, tanto teóricos quanto práticos, tentando sempre relacionar as características da precipitação com a capacidade de infiltração e armazenamento. Para tanto, além da análise da precipitação, é necessário analisar os solos; a cobertura superficial; o estado e tipo da vegetação; e o uso e ocupação do solo (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964; GRAF, 1988).

A taxa de erosão nos climas semi-áridos, principalmente os na faixa de 400mm-500mm anuais, foi considerada máxima em relação aos demais sistemas morfoclimáticos da Terra (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964; GRAF, 1988). Contudo o aumento dá-se principalmente por causa da sazonalidade climática anual, por isto outras áreas que também apresentam climas sazonais, como as áreas de monções, também apresentam taxas altas de erosão, inclusive maiores que nas áreas semi-áridas (WALLING e WEBB, 1996), devido à relação entre quantidade de precipitação e vegetação. Contudo outros fatores influenciam as taxas de produção de sedimento, tais como as características do solo e a declividade.

Essas estimativas de taxas de erosão analisam o ambiente a partir da vegetação natural, contudo com a retirada da vegetação há uma desestabilização do sistema e um aumento da erosão. Monteiro (1988) apresenta uma sequência, resultado do uso do solo, desestabilizadora da morfodinâmica semi-árida em três etapas: mudança da resiliência potencial da vegetação; aumento do intemperismo mecânico e da produção de cascalho; e perturbação dos ecossistemas e sistemas de drenagem a jusante (CORRÊA, 2006). Nos sistemas semi-áridos é comum a retroalimentação positiva, onde surge uma acelerada degradação dos solos, em decorrência do uso (DREW, 2005; SACO, WILGOOSE e HANCOCK, 2007).

Relacionando o uso agrícola da terra a partir da agricultura de sequeiro, comum na área de pesquisa (em algumas áreas da bacia há irrigação, o que acaba modificando as datas agrícolas), com a erosão dos solos; normalmente a cultura é plantada no início do período chuvoso e colhida no período seco; ou seja, no início das chuvas o solo de uso agrícola está desprotegido, deste modo há um aumento da erosão e da taxa de produção de sedimentos (TUCCI e CLARKE, 1997; GUERRA, 2004).

Uma das respostas à erosão das encostas nas terras secas são as terras más (*badlands*) que são paisagens extremamente dissecadas formadas por uma densa rede de drenagem erodindo sedimento pouco consolidados pela falta de proteção da cobertura vegetal. Naturalmente as terras más se desenvolvem a partir de um controle do material, que normalmente é pouco consolidado e apresenta alta taxa de argila (GRAF, 1988). Há também a possibilidade da terra má se formar em regiões com presença de granito:

Complexa feição geomorfológica, intensamente ravinada, originada por água pluvial. Este tipo de relevo é mais característico das regiões de granito decomposto, arcócio ou de solo argiloso, formando vertentes pobres em vegetação, sob condições de climas áridos. (SUGUIO, 1998, p. 746)

Um outro processo, associado ou não com as terras más, é a chamada erosão em tunel (*piping* ou *tunnel erosion* na Austrália) desenvolvida em sub-superfície a partir da infiltração da água, normalmente em solos com mudança

textural entre os horizontes, e seu escoamento posterior em forma de túnel. A saída do túnel pode ser uma ravina, margem do rio, ou um riacho (GRAF, 1988).

Em alguns casos há o desabamento do teto do túnel formando uma ravina ou canal entrecheirado.

Os dutos são responsáveis pelo transporte de grande quantidade de material, em subsuperfície e, à medida que esse material vai sendo removido, se vão ampliando os diâmetros desses dutos, podendo resultar no colapso do solo situado acima. (GUERRA, 1995)

As formas mais vastas e comuns nas terras secas, normalmente, são os pedimentos. Superfícies rochosas suavemente inclinadas, esculpidas em rochas homogêneas, ou não, localizadas a partir do sopé de uma escarpa. A mudança entre a escarpa e o pedimento dá-se a partir de uma ruptura brusca de ângulo (*knickpoint*); podendo existir uma delgada cobertura detrítica colúvio-aluvial, mal selecionada e não estratificada, havendo essa cobertura a forma é chamada de pedimento detrítico (CHRISTOFOLETTI, 1980). Este pavimento detrítico tem sua gênese relacionada com a remoção dos sedimentos finos pelo escoamento superficial não canalizado (SCHUMM, 1977).

Suguió (1998) acrescenta que os pedimentos são gerados sobre embasamento cristalino, ao definir pedimento deste modo:

Superfície erosiva, situada no sopé de montanhas ou no interior de vales, levemente inclinada e esculpida sobre o embasamento cristalino (*crystalline basement*) e, em geral exibindo uma delgada cobertura de cascalhos fluviais. Normalmente esta feição é originada em climas secos (árido a semi-árido. (SUGUIÓ, 1998, p. 589)

Apesar da definição acima, o pedimento pode ser formado em outros climas, além das terras secas, como também em embasamento sedimentar; contudo é sob os climas áridos e semi-áridos e em embasamento sedimentar que os pedimentos apresentam um maior desenvolvimento (GRAF, 1988).

Outra forma comum nas terras secas, embora não exclusivas a elas, são os leques aluviais formados a partir da passagem de um canal confinado com

declividade alta para um trecho não confinado e com declividade baixa, como nos sopés das escarpas. A diminuição da declividade e a mudança das margens fazem com que os sedimentos transportados pelo canal se espalhem em formas de cones (GRAF, 1988; SUGUIO, 1998).

Como há um menor re-trabalhamento do leque nas terras secas, resultado dos processos em pulsos (não contínuos), pode haver coalescência dos leques, podendo formar as chamadas planícies aluviais de piemonte (GRAF, 1988; SUGUIO, 1998). Características do leque como tamanho, declividade e textura estarão relacionadas com as características físicas da área daquele leque (SCHUMM, 1977).

Os leques aluviais de rios efêmeros/intermitentes apresentam materiais retrabalhados com variações horizontais e verticais dos depósitos, podendo haver granudescência ascendente ou o inverso (GRAF, 1988). As variações do fluxo podem erodir o leque formando canais de padrão anastomosados (CUNHA, 1995).

Nas terras secas os rios permanecem sem fluxo a maior parte do ano, havendo fluxo de água nos canais apenas durante as precipitações - rios efêmeros - ou estação chuvosa - rios intermitentes (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979). Para analisar o fluxo de canal, nesses ambientes, é necessário compreender os eventos de cheias, sendo que a cheia é o evento onde há um aumento do fluxo fora do padrão que submerge áreas que, normalmente, não são inundadas (GRAF, 1988). Deste modo, quando há fluxo de água nos canais, nas terras secas, pode-se compreender como eventos de cheia, visto que o padrão é quando os canais estão secos.

Os estudos quantitativos dos fluxos de canal em canais de terras secas apresentam características e problemas diferentes em relação a canais em ambientes úmidos. Por exemplo, o cálculo da descarga do rio, onde a descarga ( $m^3.s$ ) é a velocidade do fluxo ( $m.s$ ) multiplicada pela profundidade do canal ( $m$ ) e pela largura do canal ( $m$ ) apresenta uma maior dificuldade de ser medido. As medições de campo utilizando equipamentos não podem ser realizadas devido a instabilidade do leito do rio e das margens durante as cheias; ao se pensar em modulações matemáticas para o cálculo há dificuldade relacionadas aos dados de

profundidade do canal (causados pela instabilidade do leito do rio) e, também relacionadas ao cálculo da velocidade que necessita de dados sobre a textura do rio (novamente os problemas de instabilidade do leito do rio influenciam, como também as diferenças entre o leito do rio e a superfície das margens durante as cheias) (GRAF, 1988).

Ao falar das cheias Graf (1998) defende que nas terras secas a resposta do aumento do fluxo às precipitações é mais rápida do que em regiões úmidas. E apresenta sete fatores controladores nas variações, espaciais e/ou temporais, dos picos de descarga:

Área da bacia de drenagem, intensidade da precipitação para uma determinada duração e frequência, declividade do canal principal, o comprimento da bacia, a área das superfícies de lagos e lagoas, a relação entre o escoamento superficial e a precipitação para os meses de picos de descarga, e o número por ano de dias com tempestade (GRAF, 1988, p. 89-90, tradução do autor).

Há basicamente quatro tipos de cheias: cheias rápidas (*flash floods*), evento de pico único, evento de picos múltiplos, e inundações sazonais. Esses tipos de cheia não são temporalmente excludentes entre si e tem uma dependência espacial/escalar parcial; um exemplo disso são as cheias rápidas ocorrendo nos canais menores enquanto que cheias sazonais ocorrem nos canais maiores (GRAF, 1988).

Contudo não há um padrão temporal exato para a distribuição desses eventos, havendo apenas tendências temporais de repetições; sendo flutuações da precipitação alterando o volume das cheias de maneira complexa, ou seja não significa que um aumento de 25% na precipitação irá aumentar o volume de água das cheias em 25% sendo as interrelações complexas (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964).

As cheias rápidas normalmente estão associadas a chuvas convectivas relacionadas a células convectivas pequenas limitando assim a área de efeito das cheias rápidas em cerca de 100 km<sup>2</sup>. E são caracterizadas pelo aumento rápido do nível da água, atingindo o pico em minutos ou poucas horas, e pelo avanço de uma

“onda/muro” de água turbulenta. O fluxo costuma cair a zero depois do evento chuvoso (GRAF, 1988).

As cheias de pico único têm sua origem em um evento de precipitação de maior duração, de algumas horas até alguns dias, e escala que atinge uma intensidade máxima e posteriormente cessa. O comportamento do fluxo é semelhante ao comportamento do evento gerador; o fluxo surge, mantém-se, cresce até o pico, e depois retorna ao nível inicial (GRAF, 1988).

As cheias de picos múltiplos são resultados um conjunto de eventos de precipitação, gerados por sistemas estacionários, com duração de poucos dias ou até semanas. Os diferentes picos de cheia são resultados de eventos, ou momentos, de maior intensidade de precipitação dentro do período da cheia, havendo vários eventos os quais aumentam significativamente o nível de fluxo dos canais; como também podem ser relacionados a eventos localizados em áreas menores da bacia que contribuem para o rio principal (GRAF, 1988).

As cheias sazonais ocorrem em bacias maiores e são geradas a partir de múltiplos eventos variados, em suas várias áreas de captação. O fluxo é mantido acima do normal, que no caso das áreas semi-áridas consiste em haver fluxo nos canais, durante alguns meses, normalmente os meses da estação chuvosa (GRAF, 1988).

Ao se entender que nas terras secas são nos períodos de cheia que o trabalho geomorfológico será realizado, pois é durante eles que há fluxo no canal e escoamento superficial, é necessário analisar a relação magnitude e frequência das cheias. Além do forte controle climático nessa relação, as ações antrópicas a afetam diretamente, principalmente quando são ações de engenharia específicas para lidar com a regulação das cheias ou das secas (GRAF, 1988). A modificação do comportamento das cheias dos rios de terras secas agem diretamente sobre os processos fluviais, e conseqüentemente suas formas; casos como perenização de rios (uma das propostas relacionadas com a integração do Rio São Francisco) intermitentes/efêmeros geram entropia desestabilizando os sistemas fluviais correlatos, contudo ainda não há estudos suficientes sobre essa desestabilização (CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009).

Um ponto importante a se comentar é a diminuição do fluxo relacionada com a infiltração da água no leito (em áreas de leito não rochoso) e nas margens dos canais (barras, planícies de inundação). Essa infiltração resulta no armazenamento de água, utilizável após a estação de cheia, como é o caso das escavações de leito do rio, realizadas no semi-árido pernambucano, para obtenção de água (SOUZA, 2008). Essa infiltração pode atingir volume considerável, acumulando grande quantidade de água, chegando até 29%, do fluxo do canal; e ao mesmo tempo causa uma diminuição no nível das cheias (GRAF, 1988).

Os rios das terras secas apresentam, como carga de sedimentos, sedimentos em suspensão e sedimentos de carga de fundo, com ínfima participação de sedimentos dissolvidos. Há também um aumento na proporção de sedimentos de carga de fundo sendo a carga de maior volume para esses rios (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964; GRAF, 1988). Os sedimentos movem-se por pulsos nos momentos que há fluxo no canal, dificultando os estudos de planejamento que dependem de valores de transporte constante. Durante as cheias de maior magnitude tanto aumentam as distâncias dos pulsos como também a granulometria máxima envolvida.

A carga em suspensão é formada pelos sedimentos mais finos, e, no caso das terras secas, tem sua origem na carga resultado da “lavagem” das encostas e dos pedimentos das margens assim como do re-trabalhamento dos sedimentos do leito do canal. Há vários modelos teóricos e metodologias práticas para o estudo sobre a carga em suspensão nos rios semi-áridos, contudo as complexidades envolvidas na questão; fornecimento de sedimentos em pulsos, variações espaciais e temporais de volume de carga, dificuldades relacionadas às práticas; não permitem análises generalistas ou preditivas sobre a carga em suspensão, sendo feito análises pontuais sobre o assunto (GRAF, 1988).

Os estudos sobre a carga de fundo são mais desenvolvidos, contudo ainda apresentam dificuldades metodológicas práticas e faltam modelagens específicas para de terras secas. Entre as características complexas que dificultam a análise temos: a troca constante e intensa de material entre a carga de fundo e o leito do rio; a carga de fundo movimentada-se lentamente, mas as partículas individualmente

movimentam-se através de “passos” rápidos entre os momentos parados; os passos médios das partículas aparentemente não depende de outras características como as condições de fluxo ou a taxa de transporte; as taxas de transporte estão relacionadas com o tempo médio entre os “passos” das partículas e com a espessura da camada de carga de fundo (GRAF, 1988).

As características do fluxo e da carga sedimentar dos canais nas terras secas, aliadas com as características do substrato geológico e estado da vegetação do vale fluvial vão controlar as formas desenvolvidas nos canais e adjacências, formando um complexo de formas particulares, não exclusivas, das terras secas.

Os canais retilíneos, nas terras secas, ocorrem quando há um controle litológico das margens e uma maior declividade, normalmente próximo das cabeceiras, onde não há um grande aporte de sedimentos no canal, sendo comum a sequencia de corredeiras e depressões no seu leito (GRAF, 1988). Eles também podem se encaixar em linhas de fraqueza e entalhá-las, sendo comuns canais retilíneos em áreas com forte controle estrutural (SCHUMM, 1977).

Os canais anastomosados apresentam um volume de sedimento formadores da carga de fundo até cinco vezes a carga de fundo de um canal não anastomosado (CHRISTOFOLETTI, 1980). A relação de longos períodos de estiagem, pouca cobertura vegetal favorecem o aumento da carga de fundo e a formação dos canais anastomosados (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979).

Esse volume maior de carga de fundo é responsável pela formação de depósitos de areia e cascalho como barras, longitudinais e laterais, que podem sofrer processo de estabilização e transformar-se em ilhas. A quantidade de ilhas e barras no canal o subdivide, assim os canais anastomosados são formados por diversos “sub-canais” entrecortados pelas ilhas e pelas barras (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1981). Durante as cheias há rápidas mudanças na localização e geometria desses canais, podendo gerar, através de relocação lateral, os chamados canais enterrados (GRAF, 1988).

Os rios meandrantés desenvolvem formas diferentes em relação aos canais anastomosados, um dos motivos é a diferença do volume de carga de fundo. Os

depósitos comumente associados a esses canais são as barras de meandro que apresentam granudescendência ascendente, com os materiais grosseiros na base e os finos no topo, porém é comum quebras na granudescendência (GRAF, 1988).

O fluxo em canais meandrantés sofre alterações de velocidade e direção havendo uma alternância erosiva entre as margens, ou seja, na curvatura dos meandros a margem côncava será erodida e a margem convexa sofre deposição de barras de meandros; esse processo também gera a migração lateral do canal (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964). Contudo mudanças no leito do rio causam alteração da direção do fluxo podendo modificar o lado da margem erosiva de um meandro, como pode ser o caso das escavações de leito do rio no semi-árido nordestino (SOUZA, 2008), erodindo as planícies de inundação adjacentes utilizadas para agricultura (FERNANDEZ, SANDER e REBELATTO, 2002) nas terras secas.

A planície de inundação pode ser entendida como a faixa do vale fluvial composta de sedimentos aluviais bordejando o curso de água e periodicamente inundada pelas águas de transbordamento provenientes do rio, ocorrente no momento que o fluxo supera o estágio chamado margem plena (*bankfull*) (CHRISTOFOLETTI, 1980). A formação das planícies de inundação é por acreção lateral e acreção vertical (THOMS, 2003).

As planícies de inundação apresentam, em terras secas, múltiplos níveis acima do nível do canal, isso resulta da grande variação das magnitudes das cheias, alguns patamares (níveis) das planícies de inundação podem permanecer anos ou décadas sem serem atingidos novamente (THOMS, 2003), sendo possível encontrar vários níveis diferentes sob o nível atual da planície; normalmente os canais anastomosados não apresentam planícies de inundação adjacente (GRAF, 1988).

Em áreas agrícolas com baixo aporte tecnológico, nas terras secas, o desenvolvimento econômico das populações está ligado às planícies de inundação (THOMS, 2003), sendo comum uma distribuição da população seguindo as características funcionais da paisagem (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009). Sendo que as alterações no sistema podem levar à erosão das planícies de inundação, diminuindo assim as áreas viáveis de plantio para as populações (SOUZA, 2008).

Há também, nas terras secas formas resultados de instabilidade vertical, como os canais entrincheirados, formados a partir da escavação do leito em áreas com presença de planícies de inundação, onde o aumento da incisão fluvial acaba transformando as planícies de inundação em terraços fluviais (GRAF, 1988). A instabilidade pode ser resultado de vários fatores como: aumento do fluxo no canal, mudanças no nível de base, aumento da precipitação. Essa mudança de base pode ser resultado da construção de represamentos, tectonismo, ou até resultado de deposição de uma carga superior de sedimentos, que temporariamente mudam o nível de base e ao mesmo tempo disponibilizam sedimentos para remoção/entrincheiramento (SCHUMM, 1977).

Entre os diversos impactos resultados das atividades antrópicas nos rios de terras secas o de maior significado são as construções de barramentos nos rios. Os impactos influenciam tanto a montante quanto a jusante do barramento.

Inicialmente, a montante, há a mudança do nível de base, que fica ajustado ao nível da água, contudo esse novo nível de base não é constante seguindo as flutuações do nível de água do reservatório. Causando uma série de modificações nos processos associados, parte processos fluviais e parte processos lacustres (GRAF, 1988). Caso haja a retirada do barramento do canal, há a possibilidade que. Caso haja a retirada do barramento do canal, há a possibilidade que os processos lacustres tenham formado uma planície lacustre com características semelhantes às planícies de inundação em relação ao uso agrícola (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009).

A mudança no nível de base modifica a velocidade do fluxo, diminuindo a velocidade o que gera um aumento da sedimentação a montante, gerando retroalimentações que modificam as formas e os processos associados. O maior nível de sedimentação ocorre nos primeiros anos, indo aos poucos se estabelecendo um novo equilíbrio (GRAF, 1988). A sedimentação a jusante pode preencher canais de menor porte, ravinas/voçorocas e canais entrincheirados; como também diminuir a profundidade do canal principal, que ao ajustar-se acaba ampliando suas margens, como também durante o processo de ajuste haja a formação de planícies de inundação. A distância afetada pela mudança de nível de

base é variável para cada sistema fluvial, de centenas de metros a alguns quilômetros (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964).

A jusante os barramentos impõe uma mudança drástica no regime do rio, diminuindo consideravelmente o volume do fluxo, e aprisionando grande parte do sedimento transportado. O fluxo liberado contém baixa carga de sedimentos, deste modo apresenta uma maior capacidade erosiva que resulta em um aumento da erosão a jusante da barragem (GRAF, 1988).

## **2.6. Conectividade da paisagem**

Outro ponto a ser revisto é a visão de que a transmissão de energia e matéria no sistema não apresenta impedimentos ou retenções. Ou seja, ignora-se o estudo da estrutura do sistema e seu funcionamento em relações a questões e impedimentos de fluxos. Um exemplo disso é a relação direta feita entre precipitação e vazão (ANDREOLLI, COLLISCHONN, *et al.*, 2006), realizada de maneira indireta, em diversas obras de engenharia, onde toda a precipitação a montante da bacia é a vazão a jusante, pensamento defendido por Calasans, Levy e Moreu (2008) ao colocar que:

O dimensionamento de drenos, barragens, e obras de proteção contra as cheias e erosão hídrica requer o estudo das precipitações intensas para a obtenção da altura da chuva de projeto, com a qual é definida a vazão utilizada (CALASANS, LEVY e MOREAU, 2008, p. 83)

Essa ideia, que ignora casos de impedimentos/retenção de fluxos, pode gerar um superdimensionamento das infraestruturas hídricas, como também um superdimensionamento do volume de água em reservatórios, por exemplo. Deste modo é necessário analisar as ligações de transporte do sistema.

O conceito de ligação, introduzido na geomorfologia por Brunnsden e Thornes (1979) no contexto da sensibilidade da paisagem, versa sobre essa questão e pode ser definido como a conectividade, capacidade de transmissão, entre os componentes do sistema (HARVEY, 2002). Dentro da sensibilidade da paisagem o

conceito de ligação é trabalhado como parte da resistência estrutural (BRUNSDEN, 2001) sendo a característica responsável pela propagação dos efeitos de mudança pelo sistema, lembrando que essa propagação não é apenas em uma direção, no caso do canal pode ser a montante ou a jusante.

A relação de ligação pode ser trabalhada em várias escalas, entre as zonas do sistema fluvial (SCHUMM, 1977) ou através de todos os elementos da bacia; o aspecto de ligação é variável com o tempo, podendo sofrer mudanças a partir das modificações da paisagem obedecendo às características básicas de mudanças do sistema, tais como tempo de recuperação (HARVEY, 2002). Normalmente dois tipos de escalas de ligação são trabalhados; escala local e larga escala.

A escala local envolve a ligação dentro de uma zona ou entre duas zonas adjacentes do sistema fluvial. Está relacionada com o transporte em direção a montante e também pela propagação dos efeitos relacionados com as mudanças do nível de base, tanto a montante quanto a jusante (HARVEY, 2002). A relação de ligação local pode ser dividida em: relação de ligação interna das encostas, a relação entre a encosta e o canal; relação entre tributários e o rio principal; e a relação de ligação dentro do canal.

A transmissão de energia e matéria nas encostas é realizada em pulsos, por ser controlada pelo escoamento superficial resultado das precipitações. Havendo, assim, na maior parte das encostas, uma baixa taxa de transmissão, sendo comum o armazenamento de sedimentos nas encostas. Não apenas o comportamento do tipo de fluxo de transporte leva ao armazenamento de sedimentos na encosta, a forma da encosta ou outros elementos geomórficos conduzem ao armazenamento ao invés do transporte (HARVEY, 2002).

A relação de transmissão entre a encosta e o canal “é o aspecto mais significativo das relações de ligação em sistemas fluviais de cabeceira” (HARVEY, 2002, p. 177), controlando tanto o fornecimento de sedimentos para os canais, como também as relações múltiplas das propagações de mudanças entre os compartimentos. Sendo, assim, uma das características controladoras da evolução da rede de drenagem e seu entorno, sendo uma relação dependente do tempo, ou seja, mutável (HARVEY, 2002).

A ligação entre um afluente e um canal principal, é um ponto de mudança do comportamento do rio principal, que pode ter sua carga de sedimentos, e fluxo de água, modificada pelo aporte do canal tributário, o que gera mudanças nos processos fluviais e nas formas. A principal questão é a relação entre o aporte de sedimentos do canal tributário e a competência e capacidade do fluxo do canal principal (HARVEY, 2002), a diminuição (ou falta de competência/capacidade) do fluxo do canal principal pode levar à gênese de elementos que alterariam a relação de transmissão do sistema, podendo levar ao estágio de desligado (*decoupled*).

A relação de transmissão dentro do canal está relacionada com a capacidade de transmissão de sedimentos do curso fluvial e está relacionado com as características do vale e a morfologia do canal, como também, com os *inputs* de sedimentos e características do fluxo. Há de se apontar que os *inputs* de sedimentos e as características de fluxos apresentam forte sensibilidade às mudanças no sistema, tanto naturais quanto antrópicas. Sendo as áreas desligadas marcadas como zonas de sedimentação (HARVEY, 2002).

A relação de ligação em grande escala é compreendida pelas interações entre a montante e a jusante do sistema fluvial, podendo ser zonal, quando se trata da relação geral entre duas zonas do sistema fluvial (SCHUMM, 1977), ou regional, quando se trata de elementos que afetam todo o sistema. Vários elementos podem alterar essas relações de ligação; como, por exemplo, os leques aluviais em climas semi-áridos e áridos retendo sedimentos das áreas mais elevadas que alteram a relação zonal entre as áreas fontes e a jusante do sistema; ou então uma mudança tectônica do nível de base da bacia alterando os processos dentro do sistema e assim modificando as relações de transmissão em diversas áreas do mesmo, podendo gerar modificações como capturas de drenagem (HARVEY, 2002) ou preenchimento de canais.

Por fim a relação de ligação do sistema está imbricada com os fatores controladores do desenvolvimento do sistema e com a sensibilidade dos sistemas geomorfológicos. Também é necessário observar a relação de ligação em diversas escalas; na escala local os aspectos e mudanças ambientais controlam a relação de transmissão, na escala zonal o controle é exercido por mudanças climáticas que

alterem o nível de base, e na escala regional o controle é exercido pela histórica tectônica e geomorfológica do sistema (HARVEY, 2002).

Posterior à idéia de relação de ligação, trazida inicialmente por Brunsten e Thornes (1979) e detalhada, entre outros, por Harvey (2002), desenvolveu-se inúmeras pesquisas sobre os processos de transmissão do sistema, buscando compreender o comportamento do mesmo. Pois é a partir da relação entre as partes que pode-se compreender o sistema, e essa relação em um sistema fluvial dá-se a partir da transmissão de energia e material entre os elementos do sistema, assim é essencial compreender essa relação e seu comportamento no espaço e no tempo.

Uma das teorias preocupadas com o comportamento fluvial é o conceito de estilo fluvial, onde cada bacia hidrográfica é um conjunto próprio de atributos, analisados em três campos; pela planta do canal, pelas unidades geomórficas da bacia, e pela textura do leito (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). A identificação e interpretação das unidades geomórficas possibilita a interpretação dos processos que refletem a dimensão do comportamento dos estilos fluviais. Desta forma os estilos fluviais e seus padrões são avaliados em relação ao contexto paisagístico e às ligações espaciais e temporais dos seus processos geomorfológicos (CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009).

De uma forma sintética, a proposta teórica dos estilos fluviais registra o caráter e comportamento de um rio, oferecendo uma avaliação geomórfica dos seus padrões espaço-temporais, a partir de uma análise focada na bacia de drenagem/hidrográfica (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009).

A análise das relações espaciais dos compartimentos de paisagem, e de seus padrões de interconectividade fornece uma base sobre a qual é possível interpretar a operação dos processos geomorfológicos em ação num determinado nível de resolução sistêmica. Respostas geomórficas retardadas e fora de sintonia com o contexto ambiental podem ocorrer dentro de cada bacia, refletindo o padrão e o grau de estabilidade morfodinâmica dos compartimentos de paisagem (CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009).

A perspectiva dos estilos fluviais dá ênfase às interações entre os elementos biofísicos, principalmente geomorfológicos, e apresenta uma metodologia para aplicação no gerenciamento e recuperação fluvial (FRYIRS e BRIERLEY, 2009). Para tanto fornece informações teórico-metodológica visando à compreensão dos elementos fluviais, comportamento, evolução e condição ambiental; tendo como base o sistema fluvial (BRIERLEY, FRYIRS, *et al.*, 2002).

Os estilos fluviais podem ser identificados baseando-se em características de três configurações de vales: vale confinado, sem a presença de planícies de inundação; vale semi-confinado ou parcialmente confinado, com a presença de planícies de inundação descontínuas; e não confinado ou vale aluvial, com a presença de planícies de inundação contínuas (BRIERLEY, FRYIRS, *et al.*, 2002; BRIERLEY e FRYIRS, 2005). A análise sistemática (figura 09) das diferentes configurações de forma e processo, bem como as suas interações, em cada um dos tipos de vale mencionados, resulta na identificação dos estilos fluviais. Características locais podem ser levadas em consideração, e assim ampliando os elementos analisados. Os estilos fluviais foram inicialmente aplicados as bacias costeiras de New South Wales – Austrália (BRIERLEY, FRYIRS, *et al.*, 2002), e foram identificados 21 estilos fluviais diferentes (figura 10). No Brasil algumas pesquisas aplicaram os estilos fluviais e em uma delas foi aplicado experimentalmente em uma bacia semi-árida, estudo que identificou dois estilos fluviais diferentes, e introduziu formas e processos de origem especificamente antrópicas à análise (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009).

<b>Configuração de vale confinado</b> (>90% do canal inserido nas margens do vale)		<b>Configuração de vale parcialmente confinado</b> (10-90% do canal inserido nas margens do vale)		<b>Configuração de vale aluvial</b> (<10% do canal inserido nas margens do vale)	
Presença ou não de planície de inundação ocasional		Configuração do vale (direto/irregular/sinuoso)		Canal descontínuo ou inexistente	Canal presente e contínuo
Textura do material de leito		Porcentagem do canal junto à margem do vale		Tipos de canal descontínuos (lagoas, poços...)	Número dos canais
Unidades geomórficas	Planície de inundação descontínua controlada com leito rochoso	Planície de inundação descontínua controlada pela planta do canal		Textura do fundo do vale	Sinuosidade dos canais
	Textura do material de leito	Textura do material de leito		Unidades geomórficas	Estabilidade lateral dos canais

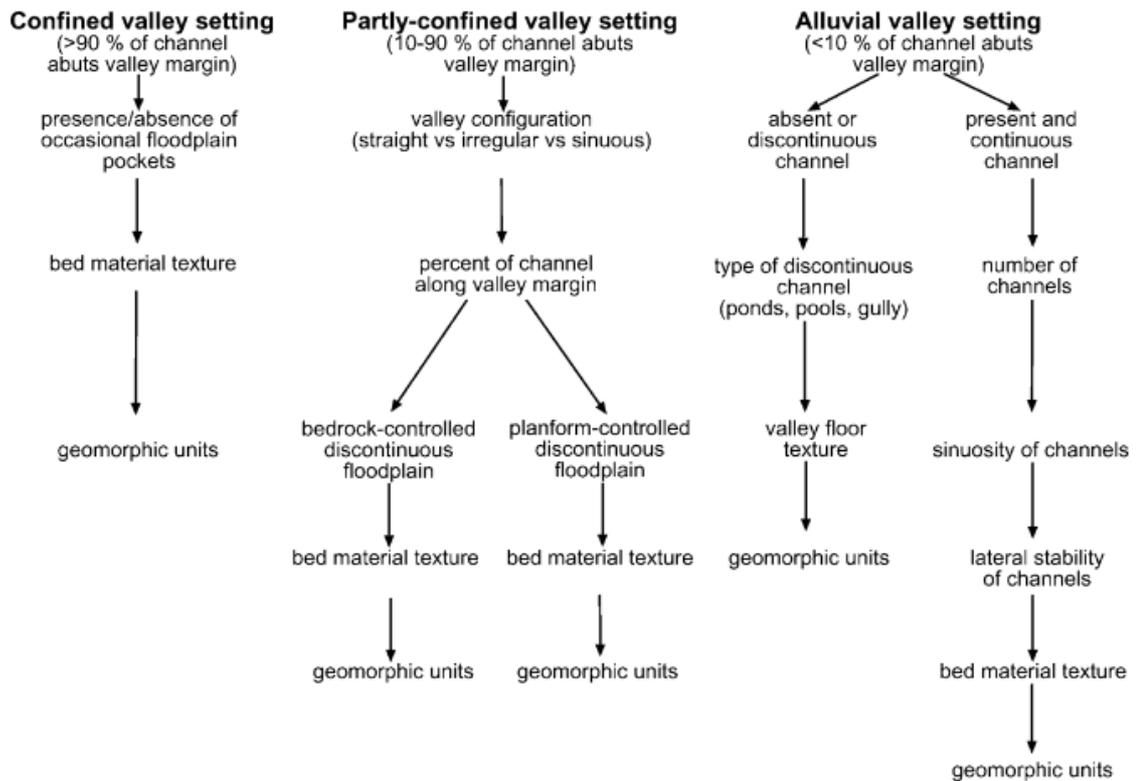


Figura 9: Sequência de procedimentos para identificação dos estilos fluviais (BRIERLEY, FRYIRS, *et al.*, 2002, tradução do autor).

A partir desses procedimentos os estilos fluviais podem ser aplicados a: programas de planejamento ambiental, observando a capacidade de ajuste do sistema e as possibilidades de atuação buscando gerenciar as respostas do sistema; conservar estilos fluviais raros, ou até únicos, não, ou pouco, trabalhados na literatura como para manter a geodiversidade dessas paisagens fluviais (FRYIRS e BRIERLEY, 2009); implicações sobre as ligações biofísicas nos planos de gestão fluvial, analisando principalmente a relação de transmissão entre compartimentos geomórficos diferentes; avaliação da condição geomórfica e o potencial de recuperação fluvial (FRYIRS e BRIERLEY, 2009), onde a condição geomórfica é a análise das variações naturais apropriadas a determinado estilo fluvial; criar uma visão integrada das características biofísicas da bacia, baseado no inventário de informações formulado a partir dos estilos fluviais; analisar e gerenciar a evolução das ligações entre os compartimentos, através da avaliação da condição das ligações; realizar programas de reabilitação de paisagens fluviais; uso dos estilos

fluviais para monitorar/auditoria de programas ambientais, entre outros usos possíveis (BRIERLEY, FRYIRS, *et al.*, 2002).

Resumindo para identificar os estilos fluviais e realizar os mapeamentos correlatos é necessário construir uma base de dados, identificando áreas representativas da rede de drenagem; incorporando informações sobre a geometria, compartimentos, vegetação, textura de leito, processos superficiais, comportamento de fluxos, modificações antrópicas, e controles do sistema. Essa base de dados concentra-se nas matrizes dos padrões fluviais organizando informações como: características do setor do rio, tipo de vale, forma do rio, textura do leito, unidades geomórficas e vegetação associada; comportamento do rio; e controles do sistema (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; FRYIRS e BRIERLEY, 2005). Podendo incluir características específicas adaptando-o às características locais, por exemplo, no semi-árido nordestino pode-se incluir as intervenções antropogênicas geradoras de formas e processos específicos (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009). Para espacializar e organizar as informações se realiza mapeamentos em planta do canal e dos vales (FRYIRS e BRIERLEY, 2005). Essas informações constituem em um importante banco de dados, sendo necessárias para futuras investigações e planejamentos. Para o semi-árido nordestino há o exemplo da Bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco – PE, onde os etilos fluviais foram aplicados, experimentalmente (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009), e identificou-se dois estilos distintos, entre eles o estilo confinado de leito rochoso com a presença de corredeiras e depressões (tabela 05 e figura 11).

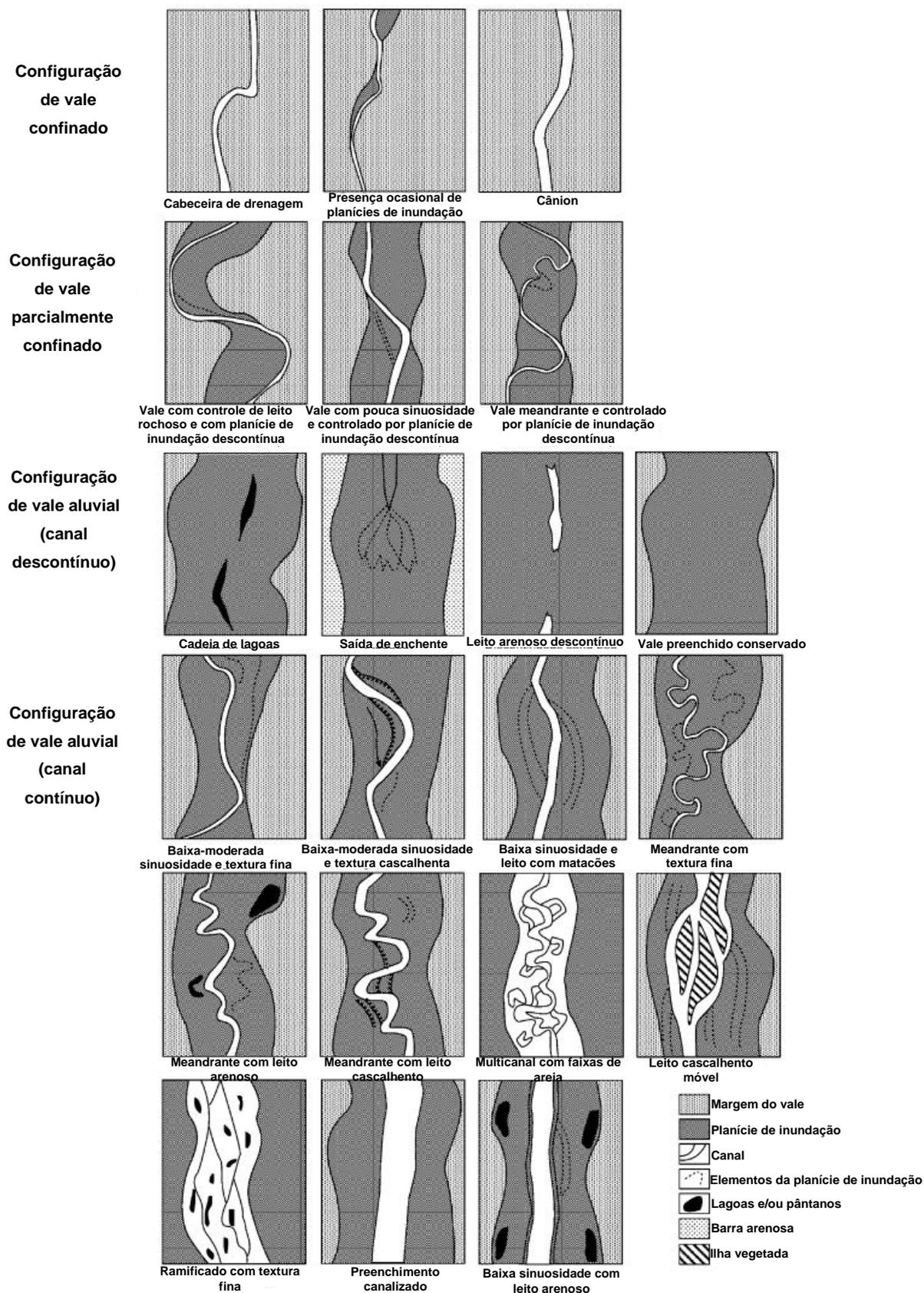


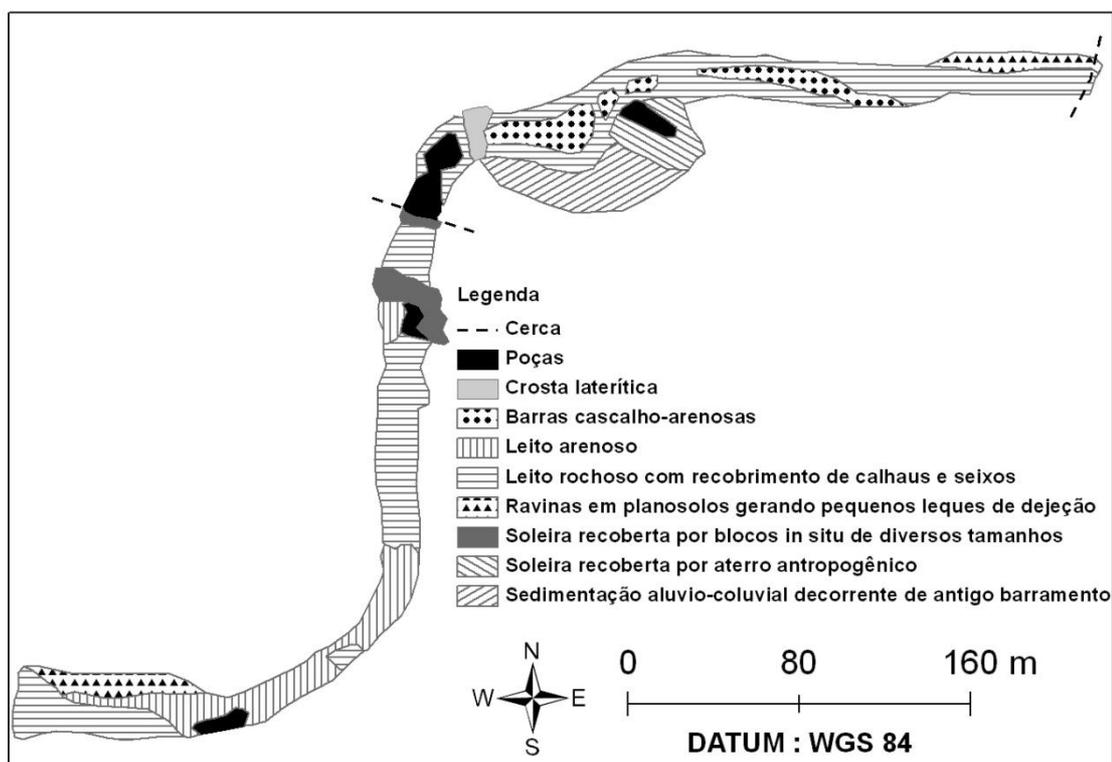
Figura 10: Estilos fluviais encontrados em bacias costeiras de New South Wales - Austrália (BRIERLEY, FRYIRS, *et al.*, 2002, tradução do autor).

**Tabela 5: Matriz de informação de um estilo fluvial semi-árido - confinado leito rochoso com presença de corredeiras e poços (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009, adaptado dos autores).**

<b>CARACTERÍSTICAS DO SETOR CONFINADO COM LEITO ROCHOSO COM PRESENÇA DE CORREDEIRAS E POÇOS DO RIACHO MULUNGU</b>	
Tipo de vale	Confinado
Forma do rio	Forma retilínea Lateralmente estável Forma controlada pelo material geológico Baixa sinuosidade
Textura do material do leito	Cascalheira fluvial angulosa com eventuais afloramentos rochosos Barra composta com granudescendência da montante para jusante Provável deposição de matriz arenosa em mantos Predomina calhaus e seixos e eventuais blocos angulosos Sieve Deposit - litologia in situ fraturada com pouquíssimo transporte.
Geometria no Canal da Drenagem	Confinado Ocupando todo o plano com distribuição assimétrica da barra de cascalho
Unidades Geomórficas	Embasamento Rochoso do Canal de Drenagem
	Metagranitóides (Mg2)- Com presença de rochas cristalinas, sobretudo quartzitos e granitóides.
	Características da Sedimentação Aluvial
	Barra composta cascalho-arenosa colonizada por catingueira e pinhão. Presença de canal secundário separando a barra composta na margem esquerda do canal.
	Margem Erosiva
	Margem controlada pela litologia e cobertura pedológica, secundariamente controlada pela vegetação. A vegetação ripariana define trechos de maior gradiente enquanto áreas sem raízes lenhosas transitam em rampa para o leito. A rampa é resultado do reafeiçoamento pela erosão laminar.
	Planície de Alagamento
	Não existe nesse trecho. No canal de Drenagem
Vegetação Associada	Vegetação arbustiva colonizando barras.
	Na planície aluvial
	Não há planície aluvial
	Não há planície aluvial
<b>COMPORTAMENTO DO RIO</b>	
Baixa vazão	Canal provavelmente atinge o topo da barra
Alta Vazão	Não há terraço

Sem vazão

Estágio de alagamento do terraço	Não há terraço	
Alagamento sobre o terraço	Não há terraço	
<b>CONTROLES</b>		Trecho de cab
Bacia à Montante	Pedimento dissecado	
Unidade de Paisagem	Zona de fornecimento e transporte com carga de fundo	
Zona Processual	Plaino aluvial levemente entrincheirado no topo do pedimento com largura máxima de 10 metros.	
Morfologia do vale (Tamanho e forma)	De 7 a 5% por cem metros	
Declive do vale	De 7 a 5% por cem metros	
<b>TIPOS DE INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS</b>		Trecho com n em todo esse Também é co
Formas	Desmatamento das margens em áreas pontais.	
Processos	Esse trecho foi caracterizado a partir da observação de um setor específico (onde aparece uma barra colonizada). Devem-se inserir outras informações de todo o trecho à montante, pois embora possamos enquadrá-lo no mesmo setor, apresenta algumas características distintas.	
OUTROS		



**Figura 11: Planta do canal com estilo fluvial semi-árido - confinado leito rochoso com presença de corredeiras e poços (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, et al., 2009, adaptado dos autores)**

Ao analisar as relações de transmissão a teoria/metodologia dos estilos fluviais trabalha observando as inter-relações em três dimensões espaciais; longitudinal, lateral e vertical. As ligações laterais incluem as interações entre as encostas e o canal e entre o canal e a planície aluvial, e estas respondem pelo suprimento de materiais à rede de canais. As ligações longitudinais, entre montante e jusante, e entre os canais tributários e o coletor principal, regem à transferência de fluxo pelo sistema e a capacidade dos canais em transferir ou acumular sedimentos de diversos calibres sobre o assoalho do vale. As ligações verticais referem-se às interações superfície/sub-superfície entre a água e os sedimentos e solos residuais, diretamente envolvidos no tipo de pedogênese predominante na área de estudo, refere-se ao retrabalhamento dos sedimentos (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

Utilizando esse ponto de vista sobre as relações de transmissão no sistema foi formulada/compilada a idéia de conectividade da paisagem, a qual organizou e consolidou os conceitos relacionados aos estudos de transmissão de energia entre elementos do sistema; buscando a construção de um modelo teórico e prático aplicável. Analisando as limitações das modelagens matemáticas, principalmente na análise de pequenas áreas, e a necessidade das informações do trabalho do campo, pode-se aumentar a complexidade dos estudos e superar a idéia de síntese através da “caixa preta” utilizada, por exemplo, no modelo jusante-montante (SCHUMM, 1977); é necessário analisar a conectividade entre os elementos da paisagem, e assim explicar as relações espaciais, o comportamento dos fluxos biofísicos e os ajustes do sistema (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006).

Conectividade da paisagem é a possibilidade de interação e circulação de energia e matéria entre os compartimentos da paisagem. Desse modo pode-se observar entre os elementos da paisagem elementos de conectividade e/ou elementos de (des)conectividade (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006). A conectividade controla a evolução dos ambientes fluviais (canais e planícies de inundação), dinâmicas de formação e destruição de paisagens e as potencialidades de recuperação (BLANTON e MARCUS, 2009).

Entendendo que as interações entre os elementos de um sistema fluvial dão forma à operação de processos geomorfológicos em várias escalas temporais e espaciais, pode-se analisar a conectividade entre eles, o que fornece uma plataforma para interpretar a operação de tais processos (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006). São apresentados três tipos de ligações, tal como Brierley e Fryirs (2005), relacionadas com a conectividade da paisagem: longitudinal, lateral e vertical, que refletem a ação de processos diferentes em posições também diferentes. A ligação longitudinal é a interação na rede de canais; entre alto curso e baixo curso, canal secundário e canal principal. A ligação lateral é a relação do canal com a paisagem ao redor; entre a encosta e o canal ou entre as planícies de inundação e o canal. Por fim, a ligação vertical diz respeito à interação superficial e sub-superficial de água e de sedimentos, como textura do leito, o regime de transporte no canal e a relação entre o fluxo superficial e sub-superficial (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a; BLANTON e MARCUS, 2009).

Pode-se analisar a conectividade pela escala espacial, a partir dessa ideia é possível dividir a análise em quatro escalas; escala do compartimento da paisagem, escala entre os compartimentos da paisagem; escala de sub-bacia; e escala de bacia (figura 12). Por sua vez a escala de compartimento de paisagem é dividida em três: coluvial, ligação lateral relacionada com o desenvolvimento e re-trabalhamento dos processos de encosta ao longo da catena; aluvial, ligação lateral relacionada com a formação e re-trabalhamento das planícies de inundação e deposição nos canais; e a relação superfície sub-superfície, ligação vertical relacionada com o fluxo vertical de água, sedimentos e nutrientes, como também com a manutenção do nível de base. A escala entre compartimentos de paisagem apresenta quatro possibilidades: jusante-montante, ligação longitudinal relacionada com a transferência de fluxo através do sistema; canal tributário-principal, ligação longitudinal relacionada, também, com a transferência dos fluxos através do sistema; encosta e fundo do vale, ligação lateral relacionada com a denudação e erosão da encosta, deposição e re-trabalhamento dos colúvios e do material do fundo do vale; e canal-planície de inundação, ligação lateral, relacionada com a formação e re-trabalhamento das planícies de inundação. As escalas de sub-bacia e bacia são o

conjunto de informações sobre a conectividade e características das suas áreas (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006).

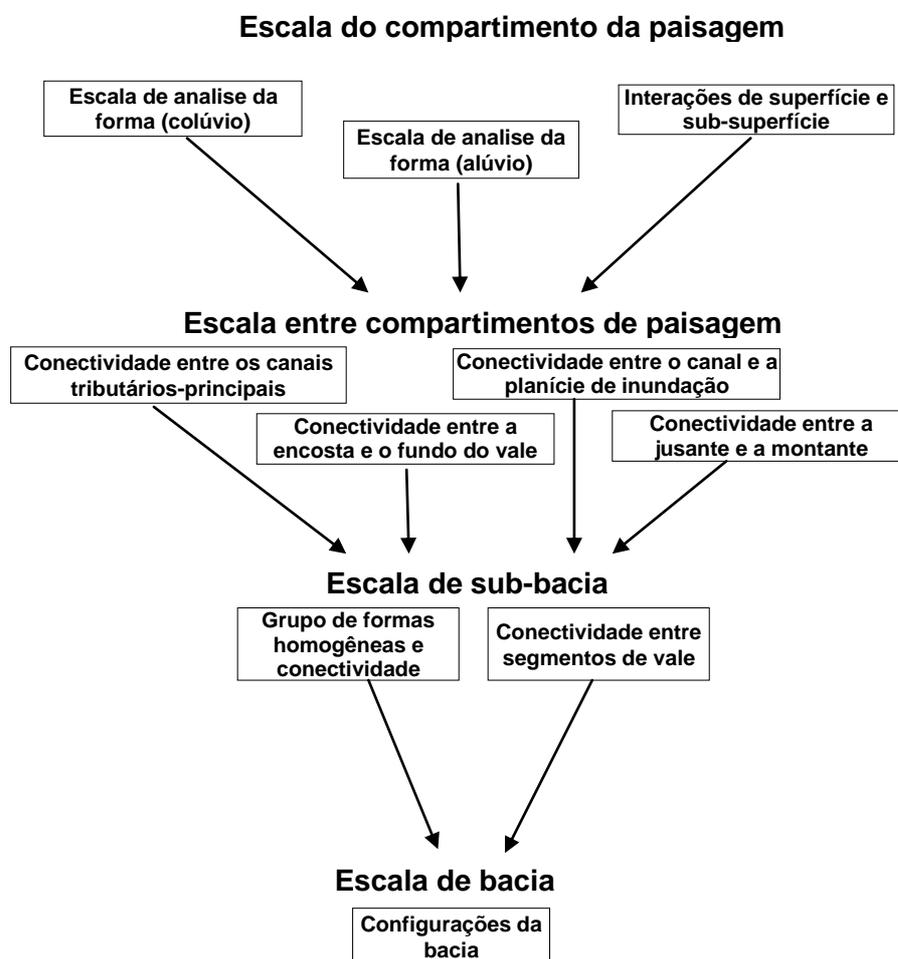


Figura 12: Escalas e tipos de conectividades (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006, tradução do autor).

Os modelos espaciais e temporais de conectividade afetam a natureza e as taxas de velocidade de respostas a mudanças, ou até de não resposta a mudanças, deste modo influenciando a capacidade potencial de recuperação do sistema após um perturbação (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

Esses modelos são modificados por uma série de formas, tais como os *buffers*, *barriers*, *blankets* e *boosters*, que podem impedir, ou diminuir, a transmissão, ou até auxiliar e aumentar a transmissão, o caso dos *boosters*. *Buffers* são formas que evitam a transferência de sedimentos para a rede de canal, ou seja impedem a entrada de sedimentos nos canais; quando os sedimentos chegam nos canais as *barriers* podem impedir a movimentação de sedimentos através do canal;

*blankets* são características que evitam interações verticais e o retrabalhamento dos sedimentos; já os *boosters* aumentam a propagação de energia e matéria no sistema (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a).

Os *buffers* rompem as ligações longitudinais ou laterais, atuando como áreas de deposição de sedimentos, os mais comuns são: formas de atuação pontuais, vales preenchidos conservados e saídas de cheias (também atuam como dispersadores do fluxo), e canais tributários preenchidos; formas de atuação em escala de paisagem, como planície de inundação contínua, leques aluviais, zonas de piemonte e terraços; como também formas de atuação; e formas de atuação localizadas, mas não pontuais, planícies de inundação descontínuas (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a).

Os *barriers*, normalmente, rompem às ligações longitudinais a partir da modificação do nível de base e/ou das características do leito do canal. As formas mais comuns são: as soleiras rochosas e os detritos de madeira atuam aumentando o preenchimento do vale a montante (FARIA, 2000); as áreas de constricção de vale aumentam a sedimentação no vale e a formação de unidades de leito e planícies de inundação; as barras arenosas/cascalhentas fazem com que os sedimentos permaneçam um tempo retidos para posteriormente serem deslocados novamente; os barramentos antrópicos, como as barragens, bloqueiam a transmissão de sedimento, apenas a carga em suspensão pode ultrapassar a barreira, apesar do aumento da sedimentação a jusante dos barramentos (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a).

Os *blankets* rompem as ligações verticais alterando a relação superfície/sub-superfície dos fluxos. Podem ocorrer nas planícies de inundação ou no canal; na planície de inundação camadas de sedimentos cobrem a planície modificando as características de solo e as propriedades hidrológicas. No canal a presença de concreções no leito do canal que inibe o re-trabalhamento dos sedimentos de sub-superfície (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a).

Esses são alguns dos tipos de formas desconectantes que podem ser formações naturais ou artificiais modificando as interações do sistema fluvial. O balanço de sedimentação é alterado e as alterações raramente são restritas às

áreas adjacentes, podendo modificar relações a montante ou a jusante por quilômetros (DREW, 2005; KASAI, BRIERLEY, *et al.*, 2005). Podem existir outros elementos desconectantes principalmente de gênese antrópicas, como estradas sem drenagem, ou com drenagem insuficiente (BLANTON e MARCUS, 2009; SOUZA e CORREA, 2010).

Essas formas interrompem o transporte inicial de sedimentos. Após a análise desses impedimentos é visível que há uma diminuição da área de contribuição da bacia, ou seja, o material, ou parte dele, a montante não ultrapassa os impedimentos gerando uma modificação na área de captação da bacia. Baseado nisso há o conceito de área de captação efetiva (*effective catchment area*) que é a área que contribui diretamente, ou transporta através, para a rede de canais; e reflete o grau de conectividade da bacia, tanto longitudinal, quanto lateral ou vertical (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a).

Contudo os impedimentos atuam diferentemente em resposta a eventos com magnitude e frequência diferente. Essa questão está diretamente ligada com a sensibilidade, as respostas aos eventos e os limiares de mudança (BRUNSDEN, 2001; THOMAS, 2001); ou seja, a área de captação efetiva é temporalmente diferente, estando relacionada com a magnitude, normalmente, dos diferentes tipos de eventos de entrada de energia. Há, assim, a presença dos chamados eventos efetivos ou escalas de tempo efetivas (*effective timescale*) (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a), os eventos efetivos são os eventos capazes de ultrapassar um impedimento e a escala de tempo efetiva é a frequência dos eventos efetivos.

O grau de conectividade vai estar diretamente relacionado com a velocidade de transmissão das mudanças, onde em sistemas com forte grau de conectividade as mudanças vão ser transmitidas rapidamente, e em sistemas desconectados essas mudanças podem ser absorvidas, parcialmente ou completamente, ou podem ser suprimidas temporariamente (THOMAS, 2001; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a). Os *buffers* e *barriers*, estarão relacionados com momentos de repouso da transmissão de sedimentos, que podem novamente movimentados a partir de eventos efetivos.

Assim é necessário se avaliar os diferentes cenários da área de captação efetiva, em relação aos diferentes eventos efetivos e a escala de tempo efetiva (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a). O modelo teórico dessa relação leva em conta três cenários de eventos, relacionados com as magnitudes dos mesmos (figura 13). Ou seja, é necessário identificar o comportamento das precipitações, magnitude e frequência, para identificar os eventos efetivos e a escala de tempo efetivas, identificando, assim, cenários diferentes onde a área de captação irá ser o reflexo das respostas aos impedimentos.

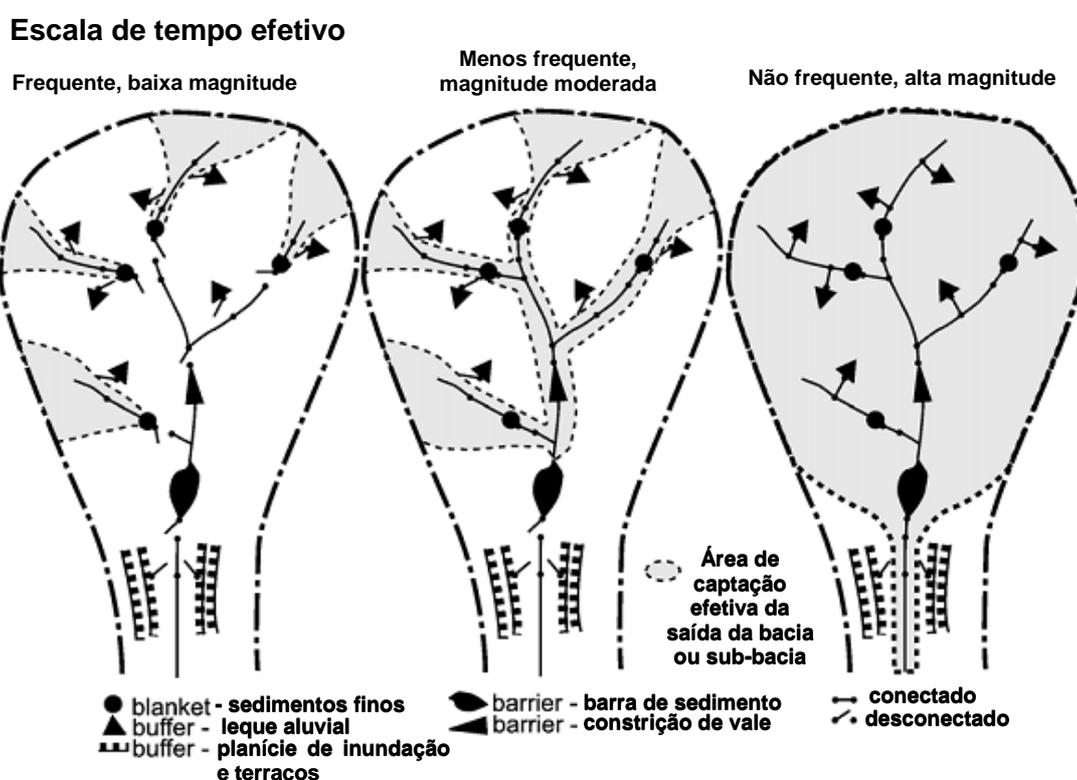


Figura 13: Modelo espacial de impedimentos e sua relação com a área de captação efetiva e com a escala de tempo efetiva (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a, tradução do autor)

O efeito cascata deve ser analisado, também, ou seja, durante um evento que um impedimento é superado, os impedimentos a jusante, do que foi superado, podem se comportar de modo diferente pois estarão sujeitos não apenas às forças de mudança do evento atual, como também sofrerão estresse relacionado a energia e matéria acumulada a montante do impedimento superado (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a). Um exemplo é a diferença da área de captação efetiva em cenários de eventos moderados no semi-árido pernambucano, onde em certos cenários há rompimentos de barragens e em outros não, o cenário onde há rompimentos

apresenta uma área de captação efetiva maior do que o que não houve, pois impedimentos a jusante acabam sendo superados (SOUZA, 2008).

O ambiente de terra seca apresenta uma maior complexidade ao se trabalhar com essa teoria/metodologia, pois apenas alguns eventos chuvosos causam escoamento superficial e fluxo fluvial (GRAF, 1988) e conseqüentemente transmissão de água, sedimentos e nutrientes. Assim os eventos devem ser analisados a partir dos eventos que causem esses fluxos, ou seja, apenas nos eventos onde há transporte.

A movimentação contínua dos sedimentos em diferentes configurações de paisagens reflete a energia disponível para os processos geomorfológicos. As respostas às perturbações podem ser manifestadas por todo o sistema ou absorvidas em partes do sistema, sendo propagadas nas áreas de captação, onde a transmissão dá-se sem maiores dificuldades. Outras questões são levadas em consideração ao se pensar sobre a propagação das respostas às perturbações:

A natureza da resposta do sistema para perturbações depende da sensibilidade inerente do sistema para mudanças, do volume de sedimentos armazenados dentro do sistema, da facilidade de transmissão dos sedimentos e da força de conectividade dentro e entre os compartimentos da paisagem (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a, p. 62, tradução do autor).

A distribuição de impedimentos irá determinar a capacidade de cada compartimento da paisagem de ser envolvido no fluxo de sedimentos em cada intervalo de tempo. Onde mudanças na distribuição, ou das características, dos impedimentos alteram a transmissão de sedimentos. Entender o comportamento temporal/espacial da relação de transmissão (conectividade da paisagem) dá a possibilidade de isolar as fontes e impactos das perturbações e prever quando o sistema irá manifestar as mudanças ou absorver-las (THOMAS, 2001; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a; FRYIRS e BRIERLEY, 2009; KASAI, BRIERLEY, *et al.*, 2005). Ao mesmo tempo o entendimento do comportamento espacial/temporal da relação de transmissão pode ser utilizado, em conjunto com outras análises como análises estratigráficas, para a compreensão da evolução pregressa da paisagem,

como, também, a ideia de conectividade pode explicar discrepâncias entre datações de ambientes deposicionais adjacentes (CHIVERRELL, FOSTER, *et al.*, 2010).

Finalizando para a compreensão da conectividade (relação de transmissão do sistema), é necessário informações de campo visando analisar a estrutura (padrões de distribuição de unidades geomórficas e características físicas da bacia) e o funcionamento (comportamento dinâmicos do sistema, processos geomórficos e fluviais) do sistema. A partir da análise da estrutura e funcionamento é possível avaliar o grau de conectividade em cada área do sistema (LEXARTZA-ARTZA e WAINWRIGHT, 2009).

Alguns estudos oferecem arcabouço teórico/metodológico para a elaboração de modelos de evolução da transmissão de energia no sistema semi-árido, contudo essas pesquisas atrelam-se apenas a alguns elementos necessários para o estudo dessa evolução, sendo necessário uma organização e unificação desse arcabouço para que seja possível elaborar modelos de evolução. Alguns dos elementos levantados/estudados por essas pesquisas são mudança do uso de solo e alterações na conectividade (CROKE, MOCKLER, *et al.*, 2005; BOIX-FAYOS, BARBERÁ, *et al.*, 2007; KASAI, BRIERLEY, *et al.*, 2005); geração de modelos para diversos objetivos a partir do uso de GIS, baseado em conectividade (ROTHLEY, 2005; LESSCHEN, SCHOORL e CAMMERAAT, 2009); mudanças induzidas no sistema fluvial e conectividade da paisagem (VANACKER, MOLINA, *et al.*, 2005; FRYIRS e BRIERLEY, 2009); evolução de depósitos sedimentares e mudanças na conectividade, (THOMS, 2003; HOOKE, 2003; THOMS, SOUTHWELL e MCGINNES, 2005; WOLSKI e MURRAY-HUDSON, 2006); paisagem semi-árida/árida e conectividade da paisagem (PUIGDEFABREGAS, BARRIO, *et al.*, 1998; SACO, WILGOOSE e HANCOCK, 2007; LESSCHEN, SCHOORL e CAMMERAAT, 2009).

### 3. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos pretendidos alguns passos metodológicos foram sistematizados, são eles: análise climática; elaboração de mapeamentos bases; visitas a campo; elaboração do mapeamento geomorfológico; elaboração de mapeamento de uso do solo; análise da conectividade da paisagem e identificação dos fatores limitantes de transmissão de energia; identificação e mapeamento das áreas de captação efetiva da bacia, levando em consideração, cenários diferentes de entradas de energia (eventos chuvosos).

Os dados foram obtidos a partir de várias fontes; nos pontos em que havia mais de uma fonte e/ou mais de um tipo de dado (com datas, características, escalas, confiabilidade, resolução, ou detalhamento diferentes) sobre determinado tema, as possibilidades foram testadas e os que apresentavam maior confiabilidade e ajuste com a escala temporal e de resolução pretendida foram escolhidos.

A análise climática baseou-se em dados de precipitação dos municípios de Serra Talhada, de Santa Cruz da Baixa Verde e Triunfo, todas as estações coletoras dos dados estão inseridas na área estudada (a de Triunfo encontra-se a menos de 800 metros da área). A análise em tela teve como enfoque os dados de precipitação, buscando identificar o comportamento dos eventos chuvosos da área, que representam a entrada de energia no sistema (CUNHA e VECCHIA, 2007). Para os fins da presente pesquisa estudou-se apenas os eventos chuvosos que geraram escoamento superficial.

Os mapeamentos bases foram realizados para fornecer informações para a elaboração da programação das visitas a campo, e para o mapeamento geomorfológico e de uso do solo. A partir desses mapeamentos foram escolhidos pontos para visita em campo, que representariam áreas importantes de análise, ou que geraram dúvidas na interpretação das imagens/dados obtidos em gabinete.

As visitas a campo tiveram, basicamente, sete objetivos: reconhecimento de toda área pesquisada; esclarecimentos das dúvidas geradas na interpretação dos

dados e imagens trabalhados em gabinete; verificação de informações geradas em gabinete; obtenção de informações necessárias para o ajuste da análise à escala desejada; obtenção de novos dados, restritos ao campo; e obtenção de dados para os mapeamentos. Basicamente utilizou-se dois tipos de GPS (o GPS Garmim Etrex VistaHcx, e o GPS geodésico PRO-XH – Trimble), e uma câmera georreferenciada Ricoh 500SE.

A partir do tratamento dos dados de gabinete, acrescidos das informações de campo elaborou-se um mapeamento geomorfológico da área. As características geomorfológicas utilizadas para identificar os compartimentos interferem sobre os processos superficiais da área, tais como: localização dentro do sistema, relevo relativo, altimetria, declividade, forma, características fluviais e lagunares.

A elaboração do mapa de uso do solo seguiu o mesmo molde de construção do mapa geomorfológico, identificaram-se os padrões de uso do solo com o objetivo de avaliar o comportamento dos processos superficiais. Levou-se em consideração os diferentes usos antrópicos, como também os diferentes tipos de coberturas naturais.

Baseado nos mapeamentos de uso do solo, geomorfológico, e de dados coletados em campo; foi possível avaliar a transmissão de energia e matéria dentro do sistema, e assim avaliar a conectividade do sistema (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006). Identificando os fatores de desconectividade longitudinal, lateral e vertical (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a), pôde-se avaliar os pontos onde a transmissão encontra impedimentos, desse modo identificando as áreas de estocagem de energia e matéria.

Com o estudo da conectividade do sistema e do comportamento climático/pluviosidade foi identificada/mapeada as áreas de captação efetiva da bacia (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b) nos diversos cenários de eventos chuvosos.

Com essas análises pôde-se compreender o comportamento dos processos fluviais no sistema fluvial em questão, com ênfase no transporte e deposição dos materiais.

### 3.1. Metodologia climática

A análise climática visou identificar tipos de eventos de precipitação, buscando fornecer dados para a análise da área de captação efetiva, tentando identificar os eventos efetivos e a escala de tempo efetiva (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). A análise partiu da importância dos fatores climáticos para os processos fluviais nas terras secas, como apontado por Graf (1998), onde a análise climática para terras secas voltada ao estudo dos processos fluviais deve focar sobre as precipitações, pois essas vão controlar a quantidade de energia no sistema.

O mesmo autor coloca, também, que os processos vão ser realizados a partir do escoamento superficial, e esse escoamento só acontece nas terras secas em alguns eventos de precipitação. A partir dessa ideia, o foco da análise climática recaiu sobre a relação entre a precipitação e o escoamento superficial, e como se dá o comportamento temporal e espacial dessa relação. Ou seja, o importante é compreender o comportamento dos eventos geradores de escoamento superficial, pois serão nesses eventos onde os processos fluviais são atuantes.

No entanto surgem duas dificuldades para a realização dessas análises; a primeira é a falta de uma metodologia adequada, e a segunda é a quantidade e confiabilidade dos dados.

Há poucos estudos sobre a dinâmica de precipitação do semi-árido nordestino, sendo que normalmente os estudos existentes estão relacionados com a gênese dos eventos, em especial em relação a eventos extremos (BARBOSA e CORREIA, 2005; ARAGÃO, MENDES, *et al.*, 2007; CORREIA, ARAGÃO e ARAÚJO, 2010), não havendo estudos específicos sobre o comportamento da precipitação, muito menos sobre o comportamento dos eventos geradores de escoamento superficial (o interesse da atual análise). Deste modo a análise realizada é de caráter introdutório, e deve ser encarada como uma primeira tentativa de compreensão da relação precipitação/escoamento superficial, da área de

pesquisa, tentativa essa que no futuro precisa ser expandida e aprimorada, para que haja uma maior acurácia na análise.

Outra questão é a quantidade e confiabilidade dos dados, como dito anteriormente os dados diários foram obtidos a partir do projeto Agritempo (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico – [www.agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br)) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Os dados foram coletados, visando o período entre 1990 e 2010, por três plataformas de coleta de dados (PCD) geridas pelo LAMEPE/ITEP; Santa Cruz da Baixa Verde, Serra Talhada e Triunfo.

Contudo há alguns problemas com os dados diários das estações; a estação de Santa Cruz da Baixa Verde, instalada em 2006 só disponibiliza dados diários a partir de fevereiro de 2006, o mês de janeiro deste ano encontra-se com informações corrompidas; a estação de Triunfo estava inoperante nos anos de 1990, 1991, 1992 e 1993, ainda na mesma estação os dados dos meses de fevereiro, março, abril, maio e outubro, do ano de 2010, encontram-se incoerentes (falta dados de alguns dias e a relação entre precipitação e disponibilidade atual de água no solo – DAAS não é coerente), de tal forma que impossibilitou a captação e catalogação dos referidos meses; por fim a estação de Serra Talhada durante os meses de janeiro, fevereiro e março do ano de 1996, não apresenta dados de todos os dias, no caso de fevereiro não há dados diários de nenhum dia. A falta de compatibilidade dos dados entre as estações meteorológicas dificulta uma possível correlação de eventos entre as diferentes áreas da bacia.

Tendo em mente as ressalvas citadas anteriormente foram obtidos os dados diários de precipitação e de DAAS. O DAAS é calculado a partir da relação entre precipitação e evapotranspiração além da quantidade de água já acumulada (DAAS do dia anterior), sendo limitado pela capacidade máxima de armazenamento de água do solo cadastrado para a estação (EVANGELISTA, TERNES, *et al.*, 2003). Ou seja, há uma generalização da capacidade máxima de armazenamento de água do solo, pois não há uniformidade na distribuição dos solos das áreas atendidas pelas estações. Como também não é avaliada a velocidade de infiltração e outras características que influenciam a infiltração e o escoamento superficial, sendo, assim, necessário analisar os dados de DAAS com cautela.

Porém, devido à diminuta quantidade de dados e o curto tempo pra realização desta pesquisa optou-se por utilizar os dados fornecidos pelo AGRITEMPO, apesar dos problemas já citados, ao invés de se tentar gerar dados mais precisos de DAAS. Um dos pontos dessa escolha é o caráter introdutório, como já dito anteriormente, e o objetivo da análise, que busca a classificação das diferentes magnitudes dos eventos (classificação de eventos efetivos) geradores de escoamento superficial.

Assumindo o valor de DAAS proposto pelo AGRITEMPO, pode-se calcular os dados de escoamento superficial, a partir dos dados diários da precipitação e do DAAS, além do dado sobre a capacidade de armazenamento máximo do solo (DAAS máximo). Avaliando a quantidade de precipitação não infiltrada no solo, sendo considerada como escoamento superficial. Contudo, para simplificação do estudo, decidiu-se agrupar os valores diários de escoamento superficial em meses, e fazer a análise mensal do escoamento, tratando-os como eventos mensais.

A partir dos dados mensais os eventos “mensais” foram classificados como eventos de baixa magnitude, evento de moderada magnitude, e evento de alta magnitude. Sendo os eventos de baixa magnitude aqueles com alta frequência, que ocorrem varias vezes durante os ciclos anuais; os eventos de magnitude moderada seriam os eventos mais fortes de um ano climatologicamente dentro da modelagem padrão do equilíbrio dinâmico da paisagem, onde em anos mais chuvosos eles ocorrem com maior frequência ou em anos mais secos eles não ocorrem; e os eventos de alta magnitude são eventos esporádicos, normalmente gerados por uma combinação não usual de sistemas sinóticos, normalmente resultando em um volume de precipitação bastante superior aos eventos moderados usuais. Sendo esses eventos fora do padrão da modelagem do equilíbrio dinâmico, ou seja, os eventos de alta magnitude representam uma superação do limiar de mudança geral do sistema, gerando entropia e efeitos de retroalimentação no sistema (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a).

Baseado nessa perspectiva considerou-se o limite mínimo para um evento moderado o maior valor médio de escoamento entre os meses, estando assim os valores abaixo desse número classificados como eventos de baixa magnitude. A escolha desse limite lastreia-se no fato de que o valor médio do maior volume de

escoamento do sistema, trata-se de um valor atingindo com frequência anual e que faz parte do desenvolvimento padrão da paisagem, não representando um pico de perturbação. Já os eventos de grande magnitude foram classificados como os eventos que superariam o maior valor do volume médio mensal mais o valor do desvio padrão do mesmo. Seriam portanto eventos acima do desvio padrão dos eventos moderados. Estabelecendo, assim, os limites de cada tipo de evento para as áreas diferentes do sistema.

### **3.2. Mapeamentos bases**

A construção a partir de uma base cartográfica rígida do mapa planialtimétrico pode ser realizada de maneira célere a partir da utilização de SIGs e de bases de dados SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* – ou ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* – (GUIMARÃES, LANDAU e COSTA, 2008), no caso da atual pesquisa foi escolhido os dados ASTER pela sua maior precisão em relação aos dados SRTM. Carvalho e Latrubesse (2004) apontam uma superioridade no uso de MDE, também chamados de modelos digitais de terreno – MDT, em relação ao uso de cartas topográficas tradicionais:

O uso de cartas topográficas não permite uma real interpretação das feições morfológicas do terreno, apresentando um traçado topográfico mais homogêneo com relação aos transectos elaborados em MDTs. A homogeneização, provocada por perfis elaborados de cartas topográficas, poderá ocultar formar do relevo, suavizando acidentes topográficos, e conseqüentemente, gerando produtos com valores de declividade e geoformas que não representam a verdade terrestre. (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004, p. 88)

A geração de modelos digitais de elevação (MDE) a partir de dados SRTM são corriqueiras na ciência geomorfológica (OLIVEIRA e RODRIGUES, 2007; VALERIANO e ROSSETTI, 2008; CARVALHO e LATRUBESSE, 2004; CARVALHO e BAYER, 2008), porém a maior parte dos trabalhos tem como objetivo mapeamento de macroescalas, a partir de 1:100000. Com o aporte de dados de melhor resolução como os dados ASTER, que apresentam resolução espacial básica de 30m frente os 90m de resolução dos dados SRTM, abrem-se novas possibilidades para a

utilização desses dados na geração de MDE's e mapeamentos associados, podendo assim ser utilizados em mapeamentos de maior detalhe, principalmente quando se trabalha, também, com dados de campo ou de outras fontes para a realização dos mapeamentos.

Assim, o modelo digital de elevação (MDE) foi confeccionado a partir de informações de gabinete obtidas através do processamento de dados ASTER, disponíveis na Internet, utilizando o software Arcgis 9.3, disponível no Departamento de Ciências Geográficas da UFPE. A partir do processamento dos dados ASTER, também foi possível a delimitação da bacia de drenagem do riacho do Saco, identificação da rede de drenagem, a confecção de mapas hipsométricos e um mapa de declividade, necessários para a construção do mapa geomorfológico.

Em relação aos mapeamentos da rede de drenagem da bacia, também utilizou-se dados obtidos em campo através de GPS (dois foram utilizados, o GPS Garmim Etrex VistaHcx, e o GPS geodésico PRO-XH – Trimble), como também duas imagens georeferenciadas QUICKBIRD (PINHEIRO, KUX e VILLWOCK, 2005), disponibilizadas através do software Google Earth, uma de 14/07/2008 e outra de 03/11/2009. A partir desses dados adicionais a posição e geometria em planta dos canais fluviais foram corrigidas, aumentando assim o detalhamento das informações sobre a rede de drenagem, como também foram identificados e mapeados os corpos d'água, classificando-os em represamentos naturais e represamentos artificiais. A base do mapeamento foi gerada a partir do MDE (OLIVEIRA, CARVALHO JUNIOR, *et al.*, 2007) trabalhado no ArcGis 9.3 utilizando o modulo de ferramentas *hydrology*, onde foi identificado tanto a área da bacia quanto a rede de drenagem.

### **3.3. Mapeamento geomorfológico**

Há uma grande dificuldade de padronização ao se trabalhar com mapeamentos geomorfológicos, onde apesar de algumas tentativas de padronização ainda não há uma unanimidade sobre essas possíveis convenções. Ao falar dessa dificuldade metodológica Argento (1998) fala que:

No contexto operacional, os mapeamentos geomorfológicos ainda não seguem um padrão predefinido, tanto em nível de escalas adotadas, como quanto à adoção de bases taxonômicas a elas aferidas. Nesse ponto recai, essencialmente, a dificuldade de um critério padronizado para a elaboração de mapeamentos temáticos, em bases geomorfológicas. (ARGENTO, 1998, p. 365-366)

O mesmo autor aconselha que em mapeamentos geomorfológicos com escala 1:25000, como o da presente pesquisa, dados das coberturas/formações superficiais e da morfodinâmica devem ser levadas em consideração, ou como símbolos direto de ocorrência ou detalhadas no relatório/texto; lembrando que a escolha da legenda devem estar relacionada aos objetivos pretendidos (ARGENTO, 1998).

Ao mesmo tempo Argento (1998) defende que ao se fazer um mapeamento temático geomorfológico; visando a análise ambiental, gestão ambiental ou territorial; não é necessário um emprego de técnicas detalhadas, porque sua base está relacionada com mapas planialtimétricos e esses, sim, devem ser construídos a partir de uma base cartográfica rígida; contudo ainda é necessário seguir regras cartográficas básicas para haver uma padronização confiável dos resultados (ARGENTO, 1998). Neste contexto os dados ASTER representariam dados rígidos que podem ser utilizados para gerar informações planialtimétricas.

O mapeamento geomorfológico enfatizou a morfologia e morfometria das formas de relevo, introduzindo a declividade ao mapeamento e deste modo integrando a análise qualitativa com dados quantitativos importantes na avaliação do processos geomorfológicos (RODRIGUES e BRITO, 2000), sendo utilizados dados numéricos a partir da ideia de superioridade dos dados numéricos em relação aos adjetivos de proporção (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964). Levando em consideração, também os fatos sociais que modificam formas e processos vigentes (MARTINELLI e PEDROTTI, 2001).

A legenda foi criada a partir de uma adaptação da nomenclatura proposta na metodologia dos estilos fluviais, que dá ênfase ao diferentes estilos morfológicos do plano aluvial e nas características funcionais dos sistemas fluviais (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; FRYIRS e BRIERLEY, 2005). Ao mesmo tempo tentou-se

homogeneizar as compartimentações geomorfológicas visíveis nessa escala. Basicamente tentou-se identificar em cada compartimento a morfologia, dados morfométricos, cobertura superficial, e relação espacial com os compartimentos adjacentes. Algumas dessas informações foram inseridas diretamente no mapa, e outras serão explicitadas na análise do mapa.

Os dados utilizados para o mapeamento foram os dados do MDE e mapeamentos derivados, como também informações obtidas nos trabalhos de campo e a partir de imagens QUICKBIRD. O tratamento dos dados foi realizado a partir do SIG Arcgis 9.3, tentou-se detalhar o mapeamento para a escala de 1:25000, assim foi de extrema importância os dados obtidos em campo, para identificação dos padrões de cobertura superficial, e a análise das imagens QUICKBIRD para a delimitação precisa dos compartimentos geomorfológicos (PINHEIRO, KUX e VILLWOCK, 2005).

### **3.4. Mapeamento de uso do solo**

Para a confecção do mapeamento de uso do solo, utilizou-se dados obtidos em campo através de GPS (dois foram utilizados, o GPS Garmim Etrex VistaHcx, e o GPS geodésico PRO-XH – Trimble), como também duas imagens georeferenciadas QUICKBIRD (KAWAKUBO, MORATO e LUCHIARI, 2004), disponibilizadas através do software Google Earth, uma de 14/07/2008 e outra de 03/11/2009.

A classificação de uso de solos através do tratamento e análise de imagens de satélite vem ganhando força com o incremento tecnológico e o aumento da precisão espacial das imagens, tais como as imagens SPOT e IKONOS (KAWAKUBO, MORATO e LUCHIARI, 2004).

O mapa de uso do solo visou classificar os usos relacionando com os controles que eles causam no escoamento superficial, como também fatores que modificam a transmissão de energia e matéria dentro do sistema, foco principal desse estudo. Assim identificaram-se os tipos e condição da vegetação, seguindo a diferenciação da vegetação apontada por Corrêa (1997), as áreas urbanas, as áreas

de pasto e culturas; como também os corpos d'água e estradas principais. Novamente o objetivo foi realizar o mapeamento na escala de 1:25000, assim analisou-se informações compatíveis a esse nível de detalhe.

### **3.5. Mapeamento de conectividade da paisagem e das áreas de captação efetiva**

O mapeamento da conectividade da paisagem em identificar os elementos que influenciam na transmissão de energia, tanto impedindo ou diminuindo o fluxo quanto incrementando o mesmo (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). Esses elementos foram divididos em quatro tipos; *buffers*, *barriers*, *blankets* e *boosters* (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a), contudo como o foco do presente trabalho foi a análise da transmissão de energia e matéria pelo sistema apenas os elementos que geram desconectividade lateral ou longitudinal foram analisados (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b), focando o transporte entre os canais e a relação encosta canal.

O estudo desses impedimentos revela não apenas informações sobre a transmissão pelo sistema, como também informações sobre os depósitos e formas sedimentares da bacia, pois ao analisar os impedimentos de fluxo e como eles se comportam em relação aos eventos de perturbação, no caso de sistemas fluviais em terras secas, eventos de precipitação (GRAF, 1988), pode avaliar como, quando e onde há deposição de sedimentos, como também como se dá o retrabalhamento ou obliteração dos depósitos e formas sedimentares (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b).

Como visto anteriormente, nos rios de terras secas a maior porcentagem de carga sedimentar é a carga de fundo, deste modo é esse tipo de transporte de sedimento que irá gerar a maior parte das formas deposicionais (GRAF, 1988). Deste modo foi analisado como os impedimentos alteram a transmissão de sedimentos de carga de fundo através da bacia.

A identificação dos elementos desconectantes foi realizada, inicialmente a partir do mapa de declividade, do mapa geomorfológico e do mapeamento de uso

dos solos (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). Posteriormente foram incluídas na análise, elementos e informações obtidas em campo e a partir das imagens QUICKBIRD (PEIXOTO, CESÁRIO, *et al.*, 2010). Deste modo identificando e localizando os fatores desconectantes da paisagem.

Para identificar a área de captação efetiva da bacia é necessário analisar como se comporta o transporte da bacia, diante os vários impedimentos existentes e sob a influência de diferentes tipos de eventos chuvosos (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). Alguns pontos devem ser analisados: identificação das áreas drenadas por cada afluente do canal principal, como também áreas limitadas por *buffers*; a distribuição e os tipos dos elementos desconectantes dentro de cada sub-bacia dos afluentes; a energia disponível para o transporte de sedimentos a partir da declividade das áreas de contato com os canais e entre os canais; além do comportamento da precipitação identificando os níveis de magnitude dos eventos.

A primeira questão é decompor a bacia em sub-bacias, cada uma delas ligadas a um afluente direto, ou indireto, do canal principal, criando assim um mosaico de sub-bacias, para que seja possível analisar separadamente a transmissão em cada uma das áreas componentes da bacia, e assim identificar quais dessas áreas contribuem efetivamente para o canal principal, ou seja, a área de captação efetiva (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). A fim de realizar essa decomposição utilizaram-se dados do modelo de elevação digital e o módulo *hydrology* do Arcgis 9.3, para a separação das bacias, utilizando a mesma metodologia usada para a delimitação da bacia do riacho do Saco (OLIVEIRA, CARVALHO JUNIOR, *et al.*, 2007), contudo o condicionante, função “con” no Arcgis 9.3, para o escoamento linear; quantidade mínima de células para definir um canal que vai refletir no tamanho das bacias de drenagem geradas; foi reduzido, e assim foram delimitadas bacias menores, no tamanho compatível com o detalhamento da rede de drenagem utilizada (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b).

Posteriormente através do mapa dos fatores desconectantes pode-se localizar e identificar os tipos de barramentos dentro de cada uma das sub-bacias. Identificando onde e qual tipo de elemento dificulta/impede a transmissão em cada

área contribuinte da bacia (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a). Nesse ponto foi necessário identificar os *buffers* localizados ao longo das margens dos canais, pois eles serão fatores desconectantes das encostas adjacentes, limitando localmente a transmissão. Nesse caso foi necessário criar dentro das sub-bacias onde isto ocorre áreas de transmissão diferenciadas/limitadas nas encostas adjacentes a esses *buffers* (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). Esse processo também pode ser realizado a partir da metodologia utilizada para delimitação de bacias de drenagem, contudo utilizando o ponto dos *buffers* como “condicionantes”, ponto final da delimitação da área de captação a montante (OLIVEIRA, CARVALHO JUNIOR, *et al.*, 2007). Outro ponto fundamental foi a identificação dos barramentos em sequencia, ou seja, as áreas onde o fluxo é impedido por mais de um barramento antes de alcançar o próximo canal. A localização dos impedimentos dentro de cada sub-bacia é importante porque os impedimentos influenciam as áreas a montante da localização deles, ou seja, os impedimentos próximos aos exutórios vão influenciar uma área maior da sub-bacia que os impedimentos próximos às cabeceiras (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a).

A identificação da energia disponível para o transporte de sedimentos está relacionada com a energia de transmissão, ou seja, a energia de “superação” dos impedimentos. Essa energia vai estar relacionada com a força do fluxo do canal ou do escoamento superficial nas encostas. A partir dessa informação pode-se detalhar como cada impedimento em cada localidade vai se comportar em determinado evento chuvoso (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). Contudo há uma série de dados a serem analisados para que se verifique a distribuição dessa energia disponível, como textura do leito do canal e das encostas, presença e tipo de vegetação, geometria da encosta e do canal, declividade da encosta e do perfil longitudinal do rio. Entre esses elementos optou-se por utilizar a informação da declividade; seguindo a orientação de Fryirs, Brierley, *et al* (2007b); pois entre os elementos que controlam o escoamento superficial e o fluxo dos canais, a declividade apresenta-se constante, no período de tempo necessário para a análise, além de ser facilmente mapeada na escala da bacia, diferente dos outros fatores controladores. Assim a “declividade é o principal determinante da força de fluxo e da energia avaliada para o transporte de sedimentos” (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b, p. 300, tradução do autor). Seguindo essa ideia e trabalhando com os dados

do mapa de declividade da bacia, identificou-se a declividade das áreas a montante, até uma distância de 60m, dos elementos desconectantes, tanto *barrers*, quanto *buffers*; e adotou-se os limites de declividade 0,5°, 2° e 25° para diferenciar a quantidade de energia potencial (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b).

Os padrões de eventos de precipitação devem ser identificados a partir da magnitude, e a partir dessa tipologia dos eventos foram criados cenários do comportamento da área de captação efetiva da bacia do riacho do Saco. Para cada tipo de evento haverá uma área de captação efetiva própria, e a partir da frequência dos eventos é possível identificar a escala de tempo efetiva para o retrabalhamento/superação dos impedimentos (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a).

Depois de analisar e identificar esses fatores isoladamente partiu-se para a análise das relações entre eles visando identificar a área de captação efetiva da bacia. Basicamente a análise trata da relação entre a resistência ao transporte realizada pelos impedimentos de uma determinada sub-bacia, ou encosta adjacente a um *buffer*, e a energia do fluxo do canal ou do escoamento superficial, ou seja, a pergunta é se o fluxo do canal ou o escoamento superficial tem capacidade de ultrapassar/retrabalhar/remover o impedimento de transmissão à jusante dele em determinada sub-bacia. A energia vai estar relacionada com a magnitude do evento chuvoso e a declividade a montante do impedimento, e a resistência estará relacionada com a distribuição e tipologia dos impedimentos; sendo que a análise dessa relação faz-se utilizando as sub-bacias como unidades básicas. Essa análise pode ser expandida para outros tipos de transporte, não apenas o de carga de fundo, biofísicos. Apesar de cada tipo de elemento biofísico; água, nutrientes, carga em suspensão, até migração de peixes, ter características específicas no seu deslocamento pelo sistema, as relações de energia e capacidade de transmissão podem ser adaptadas à peculiaridade de cada sistema de transmissão e aplicadas (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b).

## 4. RESULTADO E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos seguindo a metodologia citada, e foram organizados e sumarizados em forma de mapas e tabelas.. Adotou-se para a apresentação a sequencia utilizada na metodologia, sendo que a análise será apresentada a partir da construção passo a passo das informações.

### 4.1. Análise e tipologia dos eventos chuvosos

Após os valores diários de escoamento superficial serem calculados os mesmos foram agrupados em meses e organizados em tabelas, para que fosse possível verificar suas variações, médias e desvio padrão. Contudo os dados fornecidos pela PCD de Santa Cruz da Baixa Verde (tabela 06) não apresentaram informações suficientes, para que fossem estabelecidos, com alguma precisão, os limites de cada tipo de evento. Deste modo a análise climática não levou em conta os dados de Santa Cruz da Baixa Verde.

**Tabela 6: Valores mensais de escoamento superficial em milímetros do município de Santa Cruz da Baixa Verde**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2006	erro	81,9	188,3	95,3	57	17,2	5	5,4	0	8	3,7	0
2007	8,2	238,6	91,3	10,2	8,6	10,2	2,5	2,4	0	3,8	3	0
2008	131,2	14,8	300,4	143,9	49,6	7,5	7,6	2,7	0	0	0	2,5
2009	10,7	145,9	14,2	209,9	248,5	35,1	5,3	9,2	0	7,3	0	14
2010	89,2	22,2	11,6	44,7	3,2	18,7	5,4	0	0	90,8	0	25,6

Já a partir da PCD de Triunfo, foi possível proceder a uma análise de 17 anos (tabela 07) a partir de 1994, apesar de terem sido encontrados erros em alguns meses de 2009 e 2010. Seguindo a metodologia, anteriormente citada, tomou-se como limite mínimo para os eventos moderados a maior média mensal de escoamento superficial, no caso o mês de março com 101 mm de escoamento superficial. Já o limite mínimo para um evento de alta magnitude foi identificado como 178 mm de escoamento mensal.

Nos 17 anos avaliados foram identificados sete eventos de alta magnitude, e 14 eventos de magnitude moderada, dos quais apenas um esteve fora dos meses chuvosos. Neste caso, para o posto de Triunfo, o evento moderado ocorreu em

outubro de 2000. Indicando, deste modo, o forte controle da ZCIT na precipitação local, que vai concentrar em seu período de atuação todos os eventos de alta magnitude e 93% dos eventos de magnitude moderada. Os eventos moderados vão estar ligados com a época de maior atividade da ZCIT, enquanto que os eventos de alta magnitude (eventos extremos) irão estar ligados com a atuação da ZCIT conjuntamente com outros sistemas sinóticos, tais como VCANs e CCMs (ARAGÃO, MENDES, *et al.*, 2007), e, também, a períodos de variação anual da magnitude da ZCIT vinculados com o sinal e a intensidade do ENOS.

**Tabela 7: Valores mensais de escoamento superficial em milímetros do município de Triunfo. As células amarelas representam os eventos de magnitude moderada, e as células em vermelho representam os eventos de magnitude alta. A tabela apresenta como limites mínimos 101 mm e 178 mm para os eventos de magnitude moderada e magnitude alta, respectivamente.**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1990	erro	Erro	erro	Erro	erro	erro	erro	Erro	erro	erro	erro	Erro
1991	erro	Erro	erro	Erro	erro	erro	erro	Erro	erro	erro	erro	Erro
1992	erro	Erro	erro	Erro	erro	erro	erro	Erro	erro	erro	erro	Erro
1993	erro	Erro	erro	Erro	erro	erro	erro	Erro	erro	erro	erro	Erro
1994	74,9	23,4	79,8	138,5	169,2	225,2	8,2	4,7	46,9	6,6	7,4	13,8
1995	3,5	17,2	141,4	15,9	72,5	59,9	34	36,5	23,9	8,5	14	33,2
1996	21,8	17,8	98,1	95,5	83,7	63,3	29,8	45,6	14	6,5	28,5	10
1997	43,8	6,8	70,1	125,6	121,7	17,7	40,2	89,3	11,8	9,6	14,6	25,1
1998	18,6	7,2	20	3,1	2,1	5,5	10	5,7	0	6,1	9,2	3,5
1999	7,7	0	19,4	2,8	41,3	2	50,2	2,4	5,7	14,9	41,8	207
2000	4,2	66,8	28,9	307,4	6,7	96,7	70,1	85,3	20,9	107,8	6,6	23
2001	17,5	14,1	75,6	9	2,7	10,2	25,1	49,4	5,7	6,2	3,6	11,4
2002	149,7	3,4	139,3	6,4	19,2	19,5	40,1	13,9	0	0	0	5,8
2003	29,7	38,7	14,2	26,6	8,6	2,3	6	2,2	0	0	0	0
2004	331,9	82	89,7	31,3	11,2	159,8	105,3	47,5	2,9	5,8	6,6	16,3
2005	10,4	42,7	191,5	35,8	33,4	64,1	28,8	24,6	2,9	6,6	0	10
2006	6,9	20,7	87,9	119,2	85,7	62,3	18,2	2,6	2,3	22,9	7	0
2007	3,7	168,9	126,8	17	47,2	53,1	19,1	9,3	2,7	3,5	3,6	0
2008	187	6,8	327,8	410	94,7	24,1	74	2,7	3,1	0	0	3,6
2009	9,8	165,8	erro	erro	379,8	47	37,1	14,5	0	3,4	0	18,3
2010	4,8	Erro	erro	erro	erro	176,5	20,8	4,8	8,9	erro	0	16,8

A tendência de controle da ZCIT em relação aos eventos de magnitude moderada e de alta magnitude é presente, também, nos dados obtidos a partir da PCD de Serra Talhada (tabela 08), onde se estabeleceu os limites de 52 mm e 128 mm para os eventos de magnitude moderada e alta magnitude, respectivamente. Identificando em 20 anos analisados 18 eventos de magnitude moderada e cinco eventos de alta magnitude; concentrados na época de maior atuação da ZCIT na área (janeiro até maio), apenas um dos eventos moderados está situado fora da atuação da ZCIT, em outubro de 2010. As observações seguiram o mesmo padrão de gênese dos eventos da PCD de Triunfo, onde os eventos moderados estiveram relacionados com os momentos de maior atividade da ZCIT e os eventos de alta magnitude com a combinação da atuação da ZCIT com outros sistemas sinóticos.

Observou-se também uma variação entre as datas dos eventos registrados pelas duas PCDs, o que demonstra que os eventos de precipitação são gerados por células de instabilidades de pouca extensão territorial, o que confirma a existência de fenômenos localizados em apenas uma parte da bacia.

**Tabela 8: Valores mensais de escoamento superficial em milímetros do município de Serra Talhada. As células amarelas representam os eventos de magnitude moderada, e as células em vermelho representam os eventos de magnitude alta. O ano de 1996 foi retirado por conter erros em vários meses, e por apresentar dados confusos e com pouca confiabilidade nos outros meses. A tabela apresenta como limites mínimos 52 mm e 128 mm para os eventos de magnitude moderada e magnitude alta, respectivamente.**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1990	15,4	19,3	7,4	12,9	51,4	12,5	7	0	11,5	0	7,8	4,2
1991	92,2	53,4	21,8	3,1	5,3	4,8	6,7	5,9	6,1	3,4	11,5	0
1992	83,7	16	60,9	3,4	2,7	9,6	2	4,7	12,8	3,4	7,8	7,1
1993	15,3	15,1	11,3	3,3	0	6,5	1,8	0	3,1	0	6,9	3
1994	19,4	20,9	14,3	31,3	92,5	38,7	22,4	8,3	13,1	11,2	8,4	8,1
1995	4	5,4	126,4	15,6	35,6	9,4	4,8	3	30,8	14,6	44,2	15,9
1997	56,2	11,9	70,3	45	12,6	29,3	2,2	11	3,6	6,7	17,1	12,4
1998	25,7	12	7,6	0	0	2,2	3	5,5	0	0	10,5	5,9
1999	15,2	8,1	15	6,6	20	4,6	5,1	2,7	0	3,3	23	48,3
2000	32	70,8	3,6	76,6	17,4	7,6	4,5	2,6	5,2	3,6	3,9	23,9
2001	3,8	16,2	39,8	10	3,1	9,7	8	8,8	0	3,8	8,2	17
2002	93,4	3,8	34,5	7	13,2	11,7	8,9	0	4,1	3,2	0	4
2003	48,8	45,8	37,5	34,7	13,1	0	0	0	1,8	2	7,6	3,5
2004	350	142	11,5	14,6	13,2	2,9	8,9	9,7	0	1,5	11	4,2
2005	8,4	8,5	12,3	11,6	6	17,3	0	6,9	0	0	4,5	25
2006	4,4	30,6	74,7	108,6	9,3	11,3	8,7	0	9	3,2	4,2	0
2007	10,5	223,8	86,9	10	8,1	7,5	5	0	2	0	13,3	0
2008	79,5	12,7	163,3	37,4	25,8	5,8	14,3	0	0	0	0	4,9
2009	49,3	92,7	25,7	70,2	225,8	8,5	3,1	14	0	8,3	4,5	13,2
2010	33,7	30,8	4,2	42	3,5	11,4	3,2	0	0	63,1	0	20,6

Deste modo temos, às vezes, eventos de magnitudes diferentes em áreas diferentes da bacia. Sendo que os eventos se propagam a jusante, ou seja, os eventos nas áreas de cabeceira, representados pela PCD de Triunfo, propagam-se em direção ao patamar de Serra Talhada; enquanto que os eventos em Serra Talhada não são propagados a montante. Assim o fluxo do riacho do Saco em cada ponto da bacia estará relacionado com os eventos que ocorrem não apenas naquele ponto da bacia, mas também os eventos a montante.

#### 4.2. Análise dos mapeamentos bases

Os mapeamentos bases realizados a partir dos dados ASTER, foram o modelo digital de elevação da bacia, mapa de declividade da bacia e mapas

hipsométricos. A função básica desses mapas foi o fornecimento de informação para a realização dos demais mapas, como geomorfológico e das sub-bacias, além de fornecer informações para o trabalho de campo.

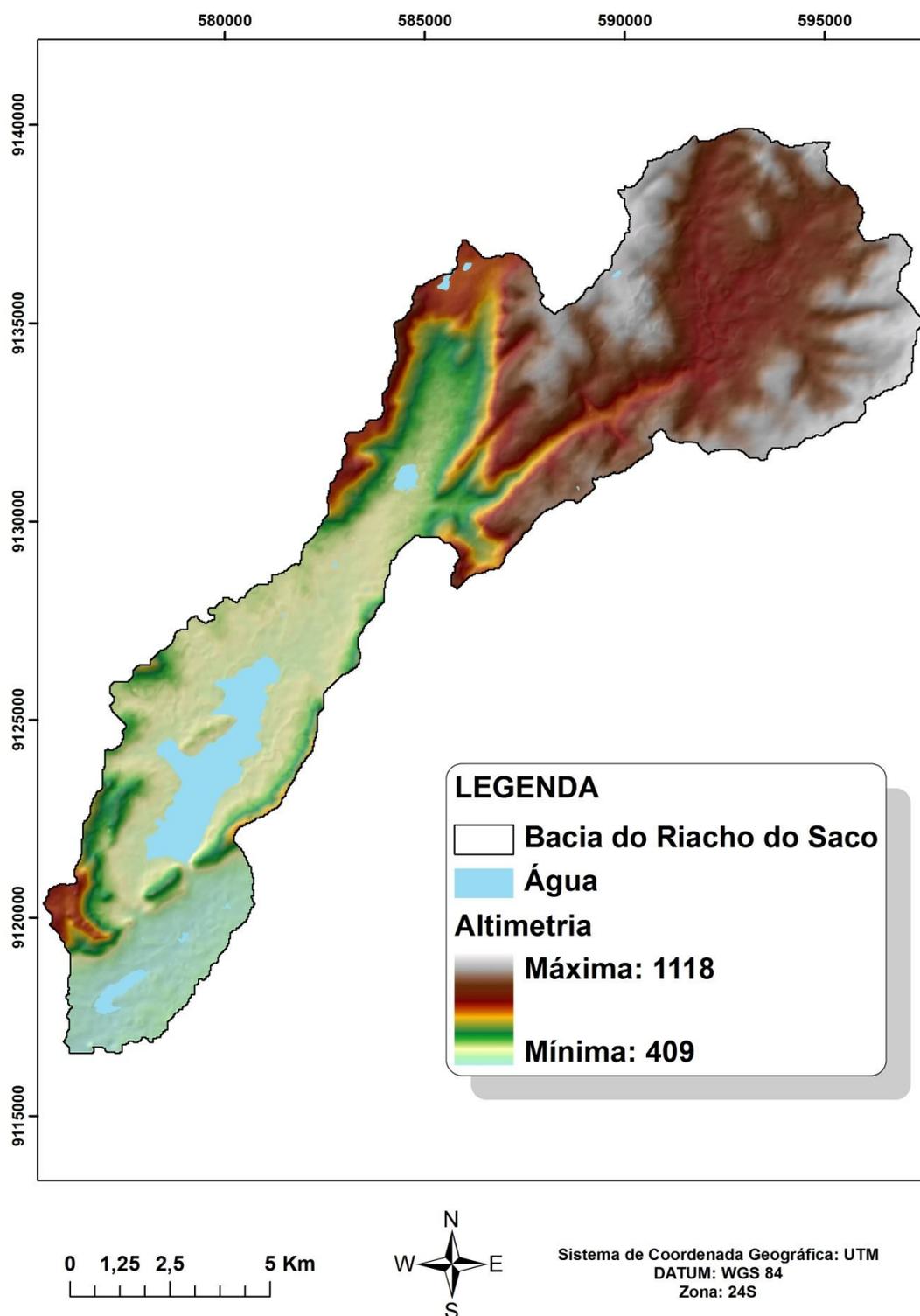


Figura 14: Modelo Digital de Elevação da Bacia do riacho do Saco.

O modelo digital de elevação (figura 14) elucida bem a diferenciação altimétrica do relevo e, já, a partir dele surgem algumas considerações. Pela altimetria encontrada ao sul da bacia na casa dos 400m compatível com as cotas referidas à Depressão Sertaneja, pode-se inferir que esta parte da bacia faz parte deste macro-compartimento do relevo nordestino, logo não estando na área de influência do soerguimento tectônico gerador da Serra da Baixa Verde, diferente da área próxima ao açude do Saco, que apesar de apresentar características semelhantes aos pedimentos da Depressão Sertaneja apresenta altimetria mais elevada, e encontra-se separado do setor mais rebaixado a sul por uma ruptura de gradiente, possivelmente associada à deformação geradora da escarpa meridional da Serra da Baixa Verde.

A proximidade da zona soerguida explica a diferenciação altimétrica absoluta dentro da bacia (superior a 700m), principalmente a partir das imediações da falha de Serra Talhada, onde ocorrem os desníveis altimétricos mais abruptos.

Outro ponto a ser considerado é a diferença de dissecação entre as áreas da bacia, possivelmente motivada pela diferenciação climática, onde o volume maior de precipitação nas porções mais altas da bacia gera um maior grau de dissecação em comparação com as áreas inferiores. Havendo ainda algum grau de conservação em alguns locais do patamar das cabeceiras de drenagem, representado no MDE pelas áreas com tons mais claros.

O mapa de declividade (figura 15) confirma as considerações sobre os patamares planos, inclusive nas áreas de cabeceira, e sobre os desníveis altimétricos abruptos entre os patamares chegando, em alguns pontos, a declividades próximas de 50°. Como também é observável o aumento de dissecação do patamar nas imediações da área urbana de Santa Cruz da Baixa Verde, em comparação com os patamares de altimetria inferior. No primeiro há uma alternância entre as duas primeiras classes de declividade (0° até 5° e 6° até 10°), enquanto que nos outros dois há a hegemonia da primeira classe, representando assim uma menor dissecação.

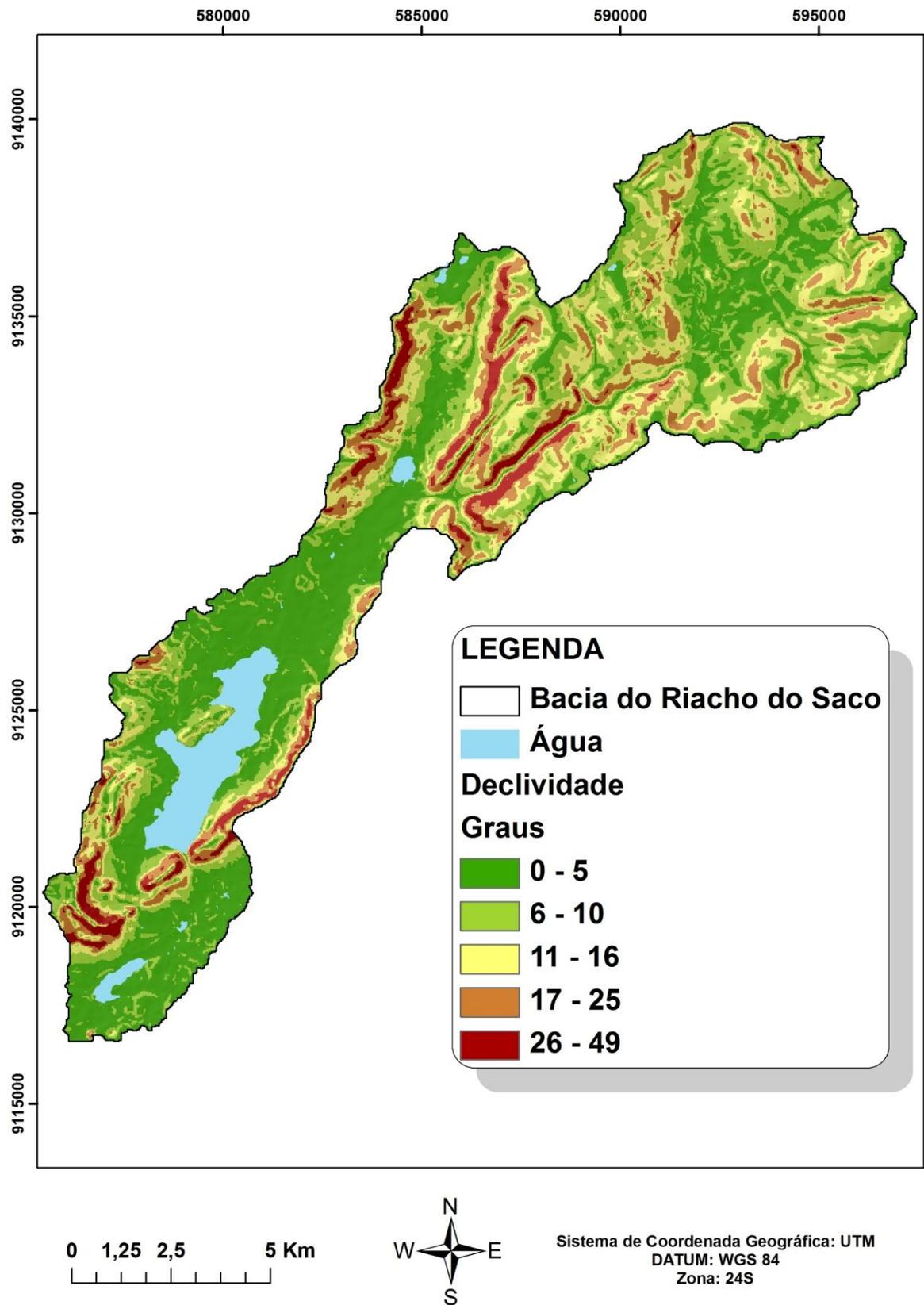


Figura 15: Mapa de Declividade da Bacia do riacho do Saco

Ao mesmo tempo é manifesto, ao se comparar com o mapa de recursos hídricos (figura 06), a presença de canais de drenagem encaixados em cânions, predominantemente na porção superior da bacia e na transição entre ela e a porção intermediária (área onde se encontra o açude do Saco). A presença de lagos nas altimetrias superiores está associada a áreas com declividade abaixo de 5°.

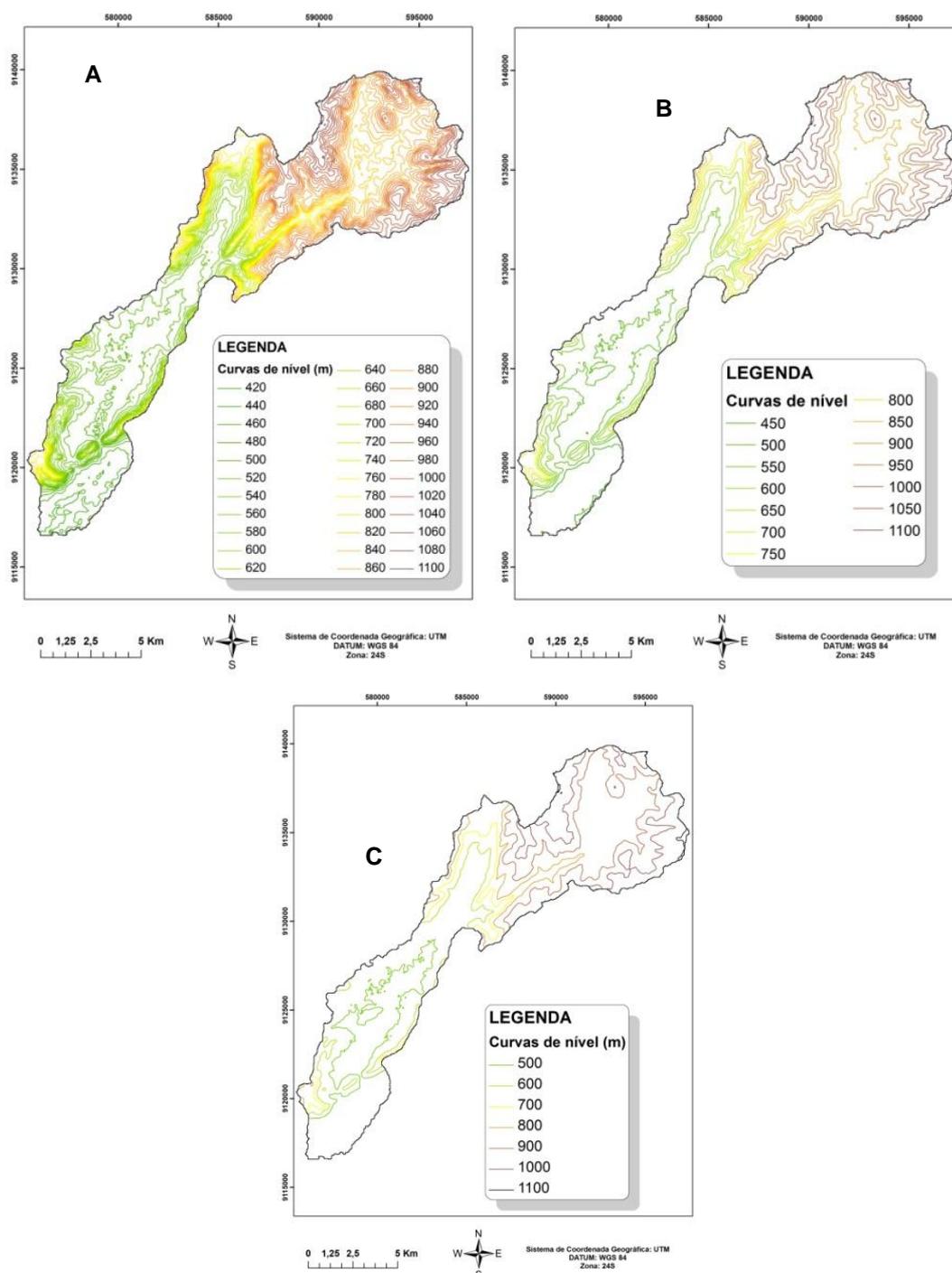


Figura 16: Exemplo de alguns mapas hipsométricos utilizados.. Cota altimétrica entre as curvas de 20m (A), 50m (B) e 100m (C).

Foram realizados vários mapeamentos hipsométricos, utilizando diferentes valores de equidistância entre as curvas de níveis, porém apenas três serão apresentados (figura 16). Eles auxiliaram na delimitação precisa dos compartimentos geomorfológicos, utilizando as cotas adequadas para cada etapa do mapeamento.

### **4.3. Análise do mapa geomorfológico**

Como dito anteriormente a compartimentação geomorfológica focou-se na morfologia e na morfometria dos elementos, essa escolha foi resultado do objetivo principal do trabalho que é o estudo dos processos, principalmente fluviais, em um sistema fluvial semi-árido.

Como também foi identificada a cobertura superficial de cada compartimento, respeitando o grau de detalhe necessário para um mapeamento 1:25000, e ao mesmo tempo analisando estritamente as informações úteis para o estudo dos processos superficiais, em especial as questões relacionadas com transporte e deposição de sedimento de carga de fundo.

Algumas das informações não são visíveis no presente trabalho por causa da diminuta expressão espacial de algumas formas quando em face da escala gráfica dos mapas para a apresentação neste trabalho, não havendo no entanto diminuição da resolução das informações. Essas informações aparecerão no detalhamento narrativo dos compartimentos.

Tendo em mente essas considerações, o mapa geomorfológico da bacia do riacho do Saco (figura 17) contemplou os tipos de canais (baseado nos estilos fluviais), corpos d'água, tipos de ruptura de declive, além é claro dos compartimentos geomorfológicos.

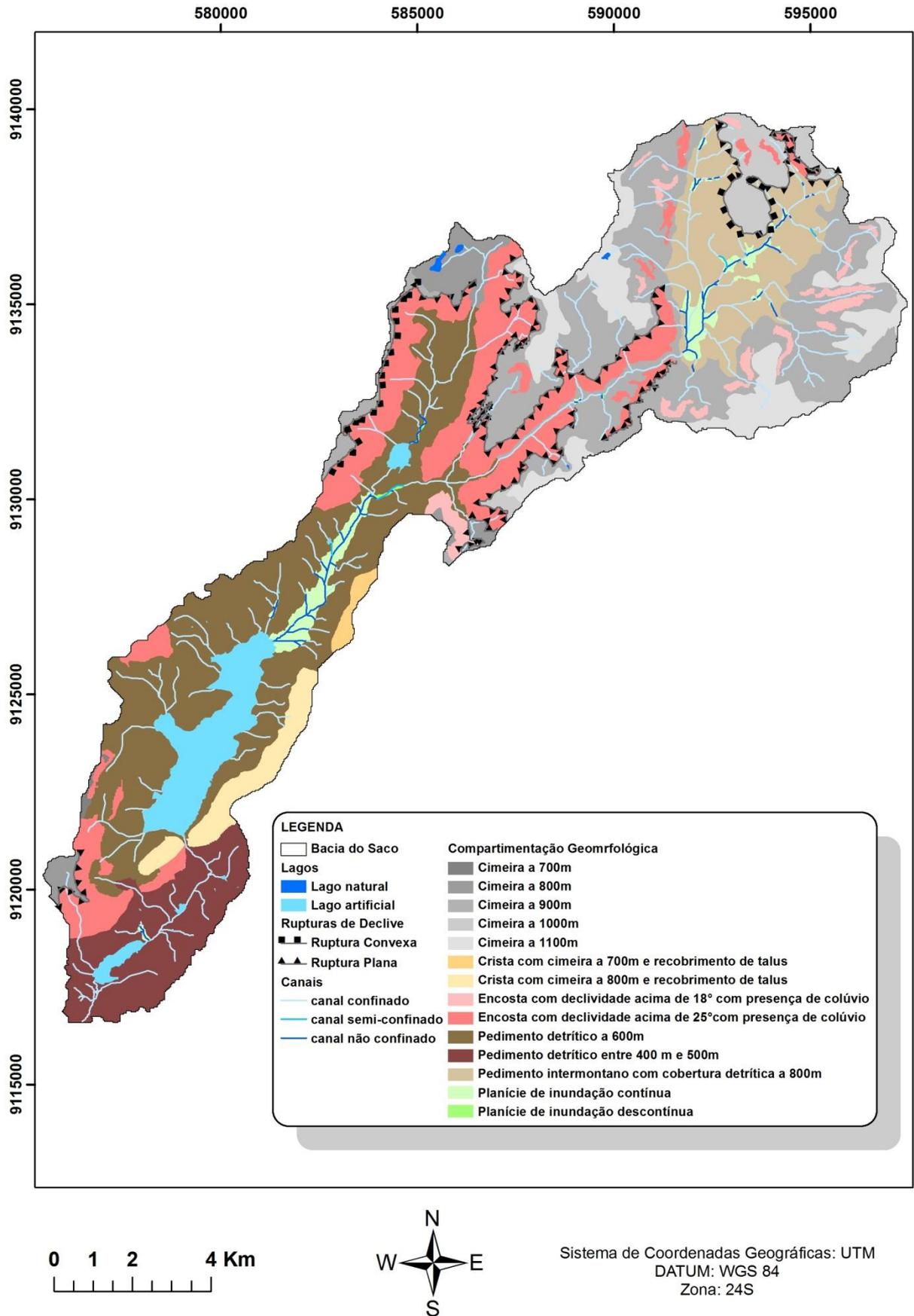


Figura 17: Mapa Geomorfológico de Detalhe da bacia do riacho do Saco

Foram identificados dois tipos de corpos d'água; lagos naturais e lagos artificiais, resultantes dos barramentos artificiais dos canais fluviais (açudes). Os lagos naturais encontram-se nas superfícies acima dos 700m em áreas planas não exercendo grande influência nos processos de transporte e deposição da bacia; foram mapeados doze lagos porém apenas os maiores podem ser visualizados no mapa (figura 18). Já os açudes representam áreas de deposição de sedimentos e diminuição/estagnação do fluxo, com influências sobre os processos a montante e a jusante do mesmo. Identificou-se 22 açudes na bacia, sendo possível visualizar os maiores que concentram-se nas áreas pedimentares abaixo dos 600 metros. Os principais açudes são o açude do Saco, no centro da bacia; o açude da fazenda Fagusa, ao norte do açude do Saco, e o açude Borborema ao sul da bacia.



**Figura 18:** Lago ao norte da bacia (visível no mapa geomorfológico) na cimeira a 700m.



**Figura 19: Barragem colmatada.**

Alguns açudes completamente colmatados, com a sedimentação alcançando a mesma altura que a parede da barragem do canal, foram identificados na área do pedimento intermontano (figura 19). Esse grau de colmatagem reflete o volume de sedimentos produzidos nas porções superiores da bacia que entram na rede de drenagem.

Os canais foram identificados, a partir da classificação geral de estilo fluvial, em confinado, parcialmente confinado e não confinado. Sendo os canais confinados os que não apresentam extravasamento de fluxo e sedimentos além das suas margens; os canais parcialmente confinados quando o extravasamento ocorre em apenas uma das margens do canal formando planícies de inundação descontínuas, normalmente havendo alternância do lado do extravasamento como também um grau de sinuosidade no canal; enquanto nos canais não confinados há a ocorrência de extravasamento nos dois lados do canal formando planícies de inundação contínuas.



**Figura 20: Cânion, com presença de matacões.**

Mesmo não estando representados no mapa geomorfológico, e não sendo foco de avaliação do presente estudo, alguns estilos de canais, confinados e não confinados, foram identificados com maior detalhe. Entre os canais confinados foram identificados canais de cânions localizados nas áreas onde há encostas íngremes nas laterais do canal, sendo comuns corredeiras e presença de grandes blocos e matacões no leito, como na descida entre a cimeira de 800m e o pedimento a 600m (figura 20). E os canais de cabeceira de drenagem, com sequencia de soleiras (leito rochoso) e depressões (presença de sedimentos no leito), bem caracterizado nas cimeiras de 1000m e de 1100m (figura 21).



**Figura 21: Canal de cabeceira de drenagem, apresentando sequencia de soleiras e depressões.**

Já os canais confinados apresentam uma diversidade de estilos fluviais, tendo destaque o estilo de leito arenoso descontínuo, presente na área da planície de inundação contínua a montante, logo adjacente, do açude do Saco. Como também estilo de multicanais, com textura predominantemente arenosa e vasta planície de inundação com larguras que chegam a até 800m, presentes no pedimento intermontano (figura 22).

A compartimentação geomorfológica identificou as unidades geomorfológicas mais representativas da área, buscando detalhes dos elementos compatíveis com a escala pretendida (1:25000), contudo visando a legibilidade do mapa, escolheu-se ilustrar apenas as unidades maiores e que tivessem uma extensão espacial contígua adequada à visualização na escala apresentada. As unidades identificadas no mapa foram divididas em cimeiras, cristas, encostas, pedimentos e planícies de inundação. Contudo as informações não apresentadas no mapa serão detalhadas na explanação sobre os compartimentos.



**Figura 22: Planície de inundação na entrada da cidade de Santa Cruz da Baixa Verde.**

As cimeiras foram identificadas pela sua altimetria média, de 700 a 1100 metros sendo as classes divididas a cada 100 metros. Basicamente as áreas classificadas como cimeira são os pontos mais altos da paisagem. No caso da bacia do riacho do Saco, esses pontos mais altos são divisores amplos ao ponto de formar superfícies normalmente planas ou com pouca declividade, o que pode ser constatado a partir do mapa de declividade. Em alguns pontos da bacia as cimeiras apresentam formas convexas no lugar de formas planas. A identificação da forma da cimeira é dada a partir do tipo de ruptura de declive apresentada; cimeiras planas para as rupturas planas e cimeiras convexas para as rupturas convexas. No caso das cimeiras próximas ao pedimento intermontano, estas não apresentam uma ruptura de declive bem marcada, como também não apresentam forma regular, ora sendo planas ora convexas. A cimeira isolada ao sul da bacia representa a forma residual chamada de Serra Talhada, elemento que nomeou a cidade.

Quanto ao recobrimento superficial as cimeiras com altitude acima da cota de 1.000 m de altitude apresentam extensos afloramentos rochosos, não contínuos, com a presença de microformas do tipo pedestal, marmitas (figura 23) e caos de blocos.



**Figura 23: Marmiteira de dissolução em cimeira**

Dessas formas as marmiteiras de dissolução apresentam-se como pequenos reservatórios de água nos pontos mais altos da bacia, sendo comuns na região (CORRÊA, 1997), podendo ser o fator inicial da formação dos diversos lagos presentes em vários níveis de cimeira, cobrindo pequenas áreas planas e deprimidas.

Nas áreas mais elevadas em formato de alvéolos é comum a presença de colúvios, estando presentes em grande parte dos compartimentos da bacia do riacho, principalmente nas áreas superiores a 800m. A maior concentração de colúvios na área encontra-se nas médias e baixas encostas (CORRÊA, 2001),

contudo em alguns casos é possível que os colúvios interajam com as planícies de inundação, como é o exemplo das planícies de inundação próximas ao sítio urbano de Santa Cruz da Baixa Verde, onde não há presença de pedimento rochoso e a rampa de colúvio termina no início da planície de inundação.

É visível nas encostas acima dos 800 metros, onde há um aprofundamento do manto de intemperismo a presença de erosão linear, normalmente em área onde a vegetação nativa foi completamente retirada e atualmente há modificação dos tipos de culturas agrícolas, como também em áreas de plantação de cana de açúcar sem a prática conservacionista necessária para o ambiente em questão (figura 25).



**Figura 24: Erosão linear em área com mudanças de cultura.**

Três áreas foram classificadas como cristas, onde a forma característica é a “elevação alongada das encostas mais ou menos abruptas e topo estreito” (SUGUIO, 1998). Elas foram diferenciadas pela média da altimetria de suas cimeiras, o que resultou em cristas com cimeiras a 800 m e cristas com cimeira a 700m (figura 25).



**Figura 25: Visão do açude do Saco e das cristas.**

Apesar dessa diferenciação a proximidade e continuidade entre as cristas, além da sua configuração e características físicas, sugerem uma gênese comum deste compartimento, tendo sido posteriormente obliterado pela dissecação e superimposição da rede de drenagem. Tal fato faz-se evidente entre as duas cristas com cimeira a 700m, onde sua separação por epigenia da drenagem do riacho do Saco, deu origem ao boqueirão sobre o qual foi erguido o barramento do açude do Saco (figura 26).

Em relação à cobertura superficial, as três cristas seguem um padrão, representado por afloramentos rochosos no topo e em alguns pontos mais íngremes das altas e médias encostas, solos litólicos com recobrimento detrítico nas médias e

altas encostas nos pontos que apresentam menos íngremes, e predominância de depósito de talus na baixa encosta e contato com o pedimento.



Figura 26: Parede do açude, drenagem superimposta.

As áreas de maior declividade (declividade acima dos  $18^{\circ}$ ) não enquadradas na definição das cristas foram espacializadas no mapa, e divididas em encostas com declividade acima dos  $18^{\circ}$  com presença de colúvio e encostas com declividade acima dos  $25^{\circ}$  com presença de colúvio. No caso das encostas acima de  $25^{\circ}$  podem ser bem representadas pela escarpa de recuo de falha, resultado da falha de Serra Talhada, entre o pedimento a 600m e as cimeiras a 800 e 900 metros. Enquanto que as encostas acima dos  $18^{\circ}$  não formam uma unidade contígua, estando presente em algumas áreas de cabeceira, possivelmente resultado da dissecação, não sofrendo o controle estrutural gerador das encostas de  $25^{\circ}$ .

A cobertura superficial das encostas está ligada com a sua forma e com a localização dos materiais no perfil da encosta. Observa-se um padrão de

concentração dos colúvios nas encostas côncavas alveolares, como também na média e baixa encosta.

Os pedimentos foram classificados em pedimento detrítico a 600m, pedimento detrítico entre 400 e 500 metros, e pedimento intermontano com cobertura detrítica. Os dois primeiros têm semelhanças entre si, apresentando solos rasos e pavimento detrítico, e predomínio de erosão laminar. Sendo separados por encostas íngremes e pelas cristas. Já o pedimento intermontano apresenta cobertura superficial heterogênea com detritos de várias granulometrias, e apresenta um manto de intemperismo mais desenvolvido.

As planícies de inundação estão presentes em áreas com declividade baixa, normalmente abaixo dos 2°, com predominância arenosa. Prevaecem, também as planícies de inundação contínuas. Um ponto a ser avaliado é a presença de uma grande planície de inundação logo a montante do açude do Saco, onde parte da sua formação/acresção deve em parte à sedimentação gerada pela instalação do açude.

#### **4.4. Análise do mapa de uso do solo**

O mapa de uso do solo (figura 27) identificou as unidades de uso do solo focando nas características modificadoras do escoamento superficial, localizando e classificando os tipos de vegetação e os usos. Entre as classes identificadas houve a necessidade de agrupar as áreas de agricultura, pasto e de solo exposto, tal escolha é motivada pela alternância de uso das mesmas, entre os anos, ou até dentro de um mesmo ano, os usos se alternam. Inclusive é necessário apontar que durante uma parte do ano, período seco, a maior parte dessas áreas ficam sem nenhum tipo de cobertura, por estes motivos foram agrupadas na mesma classe. O aspecto mais notável do uso do solo na área em questão é a diferença clara do padrão de uso entre o patamar de Serra Talhada e o patamar de Santa Cruz da Baixa Verde, onde, no segundo, há um forte desenvolvimento agrícola e pecuário com uso de pastagem exótica, enquanto que no patamar mais baixa usa-se pastagem nativa.

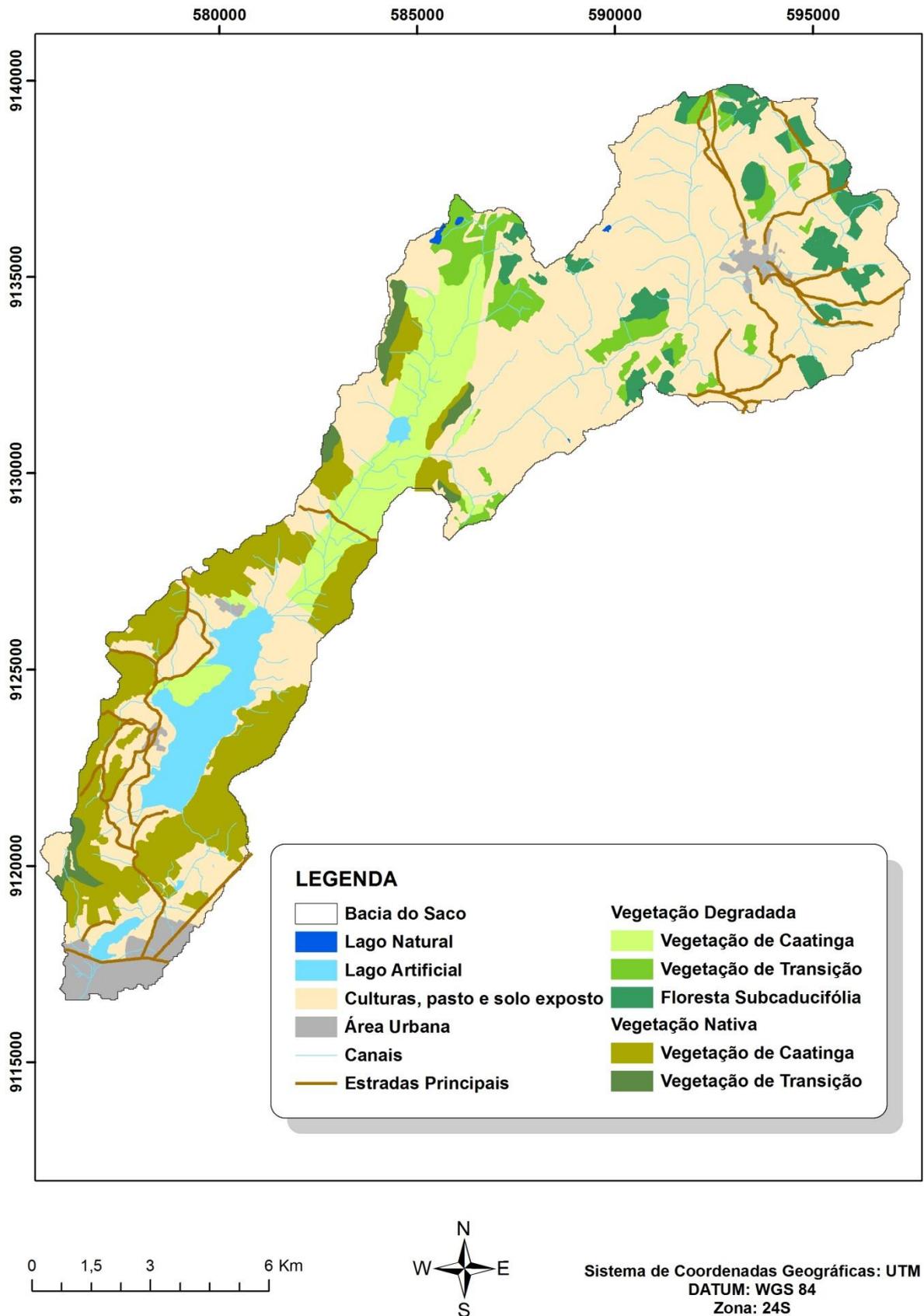


Figura 27: Mapa de Uso do Solo da Bacia do riacho do Saco

A diferença de ocupação deve-se principalmente à variação climática dentro da bacia, onde o maior volume de precipitação possibilitou uma ocupação baseada na agricultura, inclusive plantações de café e cana de açúcar (figura 28). Enquanto que no patamar de Serra Talhada a agricultura é baseada em irrigação e culturas de subsistência, predominando a pecuária extensiva de pasto natural. Tendo a presença de atividades de piscicultura na região do açude do Saco (figura 29), sob o apoio técnico do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Como também há exploração de madeira para a produção de carvão vegetal, tanto madeira nativa, quanto madeira exótica, principalmente a algaroba (*Prosopis juliflora*).



**Figura 28:** Cambissolo háplico sendo preparado para cultivo de cana-de-açúcar, com a presença de cana-de-açúcar ao fundo.

Como já citado anteriormente os corpos d'água foram divididos em lagos naturais e lagos artificiais, sendo o segundo açudes, tendo destaque o açude do Saco, o açude Borborema e o açude da fazenda Fagusa. Tendo como uso abastecimento animal e das propriedades, o açude da fazenda Fagusa; irrigação, piscicultura e abastecimento urbano o açude do Saco; irrigação o açude Borborema.



**Figura 29: Tanques redes usados para piscicultura no açude do Saco**

A classificação e espacialização da vegetação seguiu a diferenciação, apontada por Corrêa (1997), resultado da diferenciação do volume de precipitação relacionado com cotas altimétricas diversas. Assim a vegetação foi dividida a partir da cota altimétrica; até 700m vegetação de caatinga, entre 700m e 900m vegetação de transição e acima de 900m floresta subcaducifólia.

Também se diferenciou o grau de conservação da vegetação em degradada e nativa. Onde a degradada é a vegetação que na interpretação da imagem de satélite mostra-se não coesa apresentando espaços vazios entre as plantas, e sinais de erosão. Vale lembrar que as imagens QUICKBIRD utilizadas para a realização desse mapeamento são do período úmido, ou logo posterior, ou seja, apesar do caráter caducifólio, ou subcaducifólio, da vegetação o mapeamento foi realizado a partir da expansão e desenvolvimento máximo da vegetação, isso dentro da variação anual da vegetação.

A diferença de ocupação reflete-se diretamente na cobertura vegetal, o que se observa na falta de conservação da vegetação no patamar de Santa Cruz da Baixa Verde e no patamar das Cabeceiras de Drenagem, onde além da vegetação estar isolada em pequenos nichos, não se apresenta conservada; tanto a floresta sub-caducifolia quanto a vegetação de transição apresentam falta de coesão na visualização da sua textura, mostrando assim espaços de solo exposto e espaçamento não usual entre suas plantas.

Já no patamar de Serra Talhada e nas imediações próximas, com vegetação de transição, há a predominância de vegetação nativa (conservada), cobrindo boa parte da área desse patamar. A exceção principal é a vegetação; que se inicia a montante do açude do Saco na unidade da planície de inundação e imediações, passa pelo açude da fazenda Fagusa seguindo a montante dele, onde há exploração da caatinga, e de plantas exóticas, para a produção de carvão vegetal e lenha. Sendo visível, na imagem dezenas de fornos de carvoaria nessa área, principalmente a montante do açude da fazenda Fagusa.

A área urbana geradora de maior impacto nos processos superficiais é a de Serra Talhada, ao sul da bacia, onde a urbanização avançada (cerca de 80 mil habitantes) modificou toda a rede de drenagem e o escoamento superficial, não sendo foco da atual pesquisa.

As estradas principais foram mapeadas, por serem direcionadoras do fluxo, como também por apresentarem-se como impedimento para a drenagem, normalmente pela constrição do canal, através de pontes e manilhas mal dimensionadas (figura 30); podendo gerar, até, barramento da drenagem a montante e erosão a jusante (figura 31).

Outras características, localizadas, foram identificadas e mapeadas, dentro da escala de detalhe 1:25000, contudo não são passíveis de visualização no mapa apresentado. Entre eles podem-se citar os poços amazonas e as cercas de pedra.



**Figura 30:** Ponte a jusante da planície de inundação, mostrada na foto 22, à largura do vale fluvial é diminuída a metade nesse ponto.



**Figura 31:** Barramento de drenagem a montante (esquerda) e erosão a jusante (direita).

Os poços amazonas são utilizados para obtenção de água, eles são construídos em locais onde há sedimento inconsolidado e acúmulo de água. Por isto eles são construídos tanto em leito de rios e planícies de inundação (figura 32), como em colúvios. Estando concentrados, na área de pesquisa, sobre os patamares de Santa Cruz da Baixa Verde e das Cabeceiras de Drenagem.



**Figura 32: Planície de inundação com a presença de poço amazonas e de pasto.**

Uma peculiaridade da região é a construção de cercas de pedra (figura 33), presente, sobretudo no patamar das Cabeceiras de Drenagem, utilizadas para demarcação dos lotes, como também para plantio em curva de nível. A presença dessas cercas modificam e controlam o escoamento superficial nas encostas.



**Figura 33: Cercas de pedra dividindo propriedades.**

#### **4.5. Análise do mapa de conectividade da paisagem e da área de captação efetiva**

O mapa de (des)conectividade (figura 34), por sua vez, indica os principais elementos que atuam como desconectores dentro da bacia de drenagem considerados na perspectiva das interações homem-paisagem e cada um deles entre si.

Para Brierley *et al* (2006), entender a conectividade entre os compartimentos da paisagem é essencial para a explicação das relações espaciais e o comportamento de fluxos biofísicos e ligações laterais, longitudinais ou verticais refletem a operação de diferentes processos em diferentes posições na bacia. Deste modo, os elementos de (des)conectividade encontrados em análises de campo e gabinete e representados no mapa podem agir interrompendo a entrada de energia e matéria das encostas para os canais, e a transmissão de energia e matéria ao longo do canal. Sendo identificados como impedimentos: leques aluviais, açudes, canais tributários preenchidos, planícies de inundação e estradas. As áreas urbanas foram consideradas por modificarem de forma diferenciada a transmissão dos fluxos.

Os leques aluviais vão estar localizados no encontro entre dois canais, onde um deles deposita uma grande carga sedimentar no canal principal que não tem força para transportar essa carga. Eles atuam “capturando” o sedimento de carga de fundo, ao mesmo tempo em que o fluxo do canal o vai retrabalhando. Dependendo do tamanho do leque e da descarga de sedimentos do canal tributário há a possibilidade do estrangulamento/barramento do canal principal.

O preenchimento dos canais tributários dá-se, normalmente, pela acreção das planícies de inundação que entulham o exutório do canal tributário, o que depende da força do fluxo do canal tributário e da sedimentação a montante desse barramento inicial. Esse processo é comum na área de pesquisa, por dois motivos específicos; a grande carga sedimentar nos patamares superiores, e a sedimentação gerada pela mudança do nível de base com a implantação do açude do Saco e do açude da fazenda Fagusa.

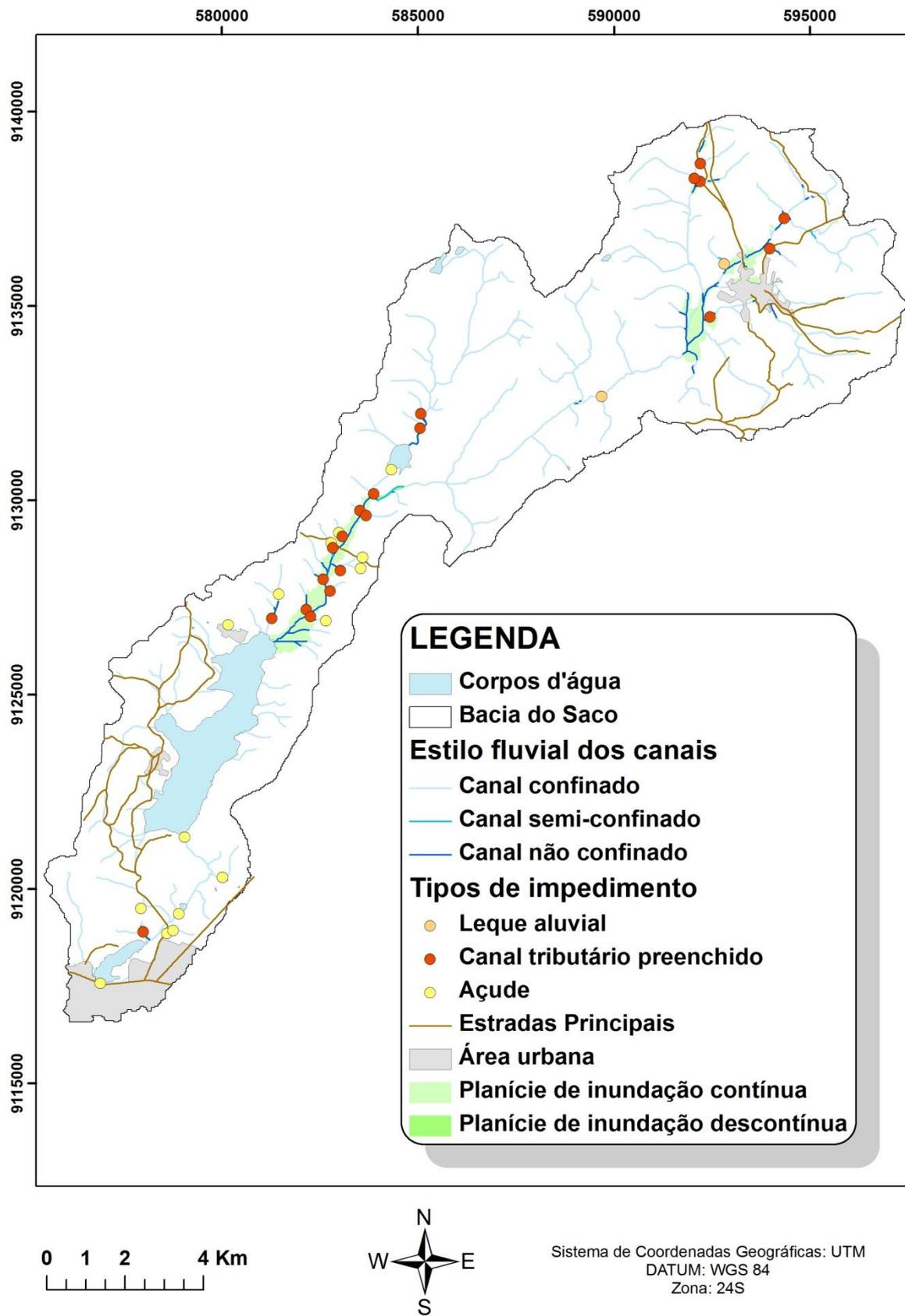


Figura 34: Mapa de (des)conectividade da Bacia do Açude do Saco. Identificação dos elementos limitantes.

Já os açudes se concentram na área semi-árida da bacia, patamar de Serra Talhada, capturando, normalmente, toda a carga de fundo dos canais barrados. Além de gerar os efeitos a montante e a jusante já mencionados.

As planícies de inundação retêm os sedimentos de carga de fundo das encostas adjacentes, desconectando a relação entre encosta e canal. Também é comum na área dos canais não confinados a configuração dos estilos fluviais de canais não contínuos, o que limita consideravelmente a transmissão de carga de fundo. Além de canais com estilos de multicanais móveis, onde há a retenção de parte da carga de fundo e retrabalhamento dos sedimentos de leito e de margem.

As estradas foram identificadas pela possibilidade de constrição e/ou impedimento do fluxo, como citado anteriormente. As áreas urbanas foram incluídas no mapeamento pelo impacto que causam nos processos geomorfológicos e fluviais. Em alguns casos, como na cidade de Serra Talhada, há a completa supressão da rede de drenagem natural, e canalização dos fluxos.

O primeiro ponto para a análise das áreas de captação efetiva foi a subdivisão da bacia em sub-bacias (figura 35) para que fosse possível analisar a transmissão em cada uma delas, resultando em 140 sub-bacias de diversos tamanhos.

O segundo passo foi, a partir da subdivisão da bacia, analisar a declividade do exutório de cada sub-bacia. Utilizando, de forma adaptada, as classes de declividades apontadas por Fryirs, Brierley, *et al* (2007b); levando em consideração várias classes de declividade, enquanto a metodologia citada usa uma classe determinada como limite e a partir dela define se o padrão é conectado ou desconectado.

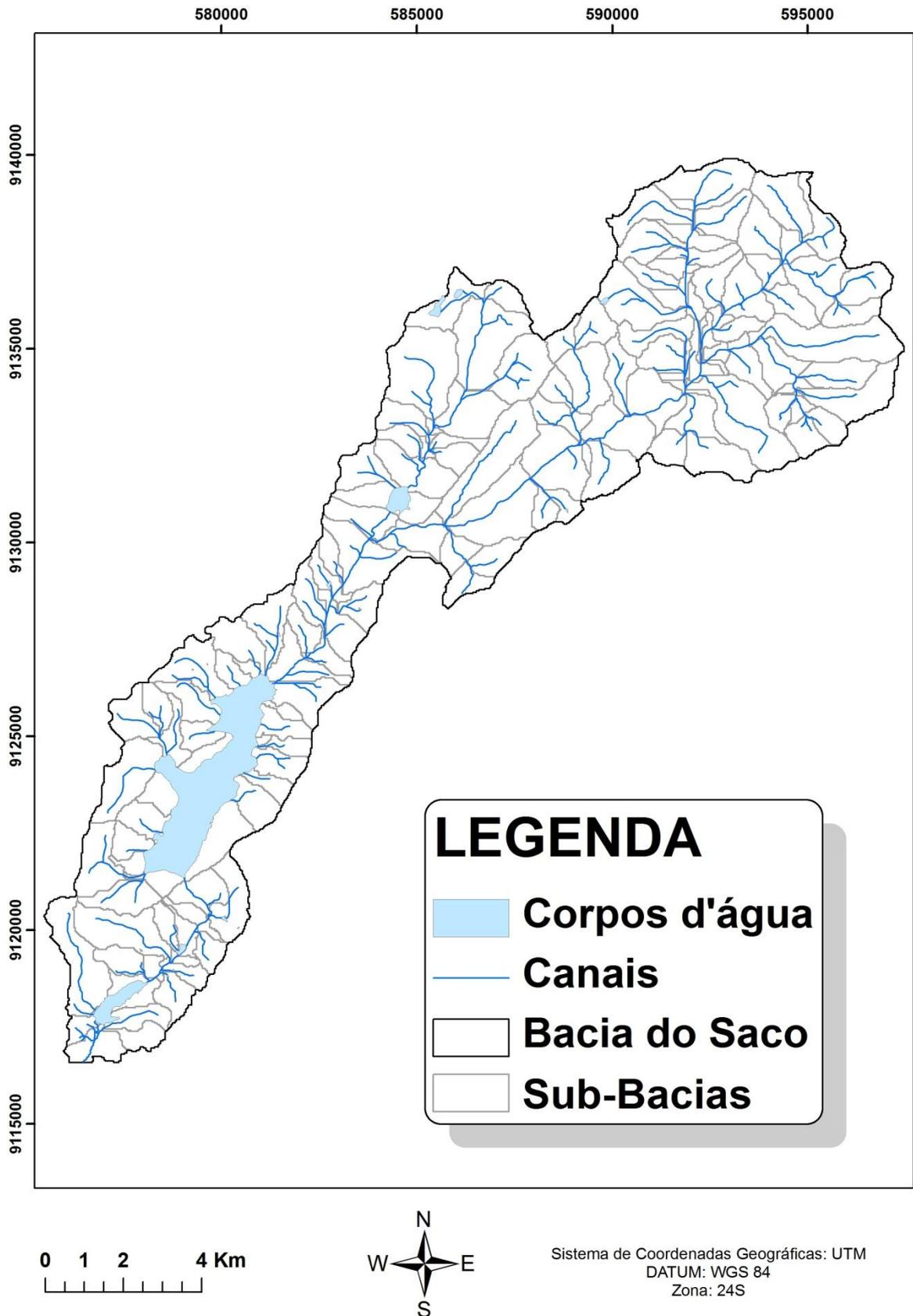


Figura 35: Sub-bacias da bacia do riacho do Saco.

A modificação da metodologia deu-se pela escolha da análise a partir da relação força de perturbação e força de resistência (BRUNSDEN e THORNES, 1979), que no caso do presente estudo vai ser a relação entre energia do fluxo e a capacidade de barramento dos impedimentos. Sendo que a energia do fluxo será trabalhada a partir da magnitude dos eventos associados com a declividade. As declividades dos exutórios foram divididas em quatro classes (figura 36): a primeira entre 0 e 0,5 graus; a segunda entre 0,5 e 2; a terceira entre 2 e 25; e a quarta entre 25 e 50 graus. A primeira classe por si já se caracteriza como um tipo de impedimento, normalmente associados a planícies de inundação e canais tributários preenchidos, contudo mesmo quando não há a presença desses elementos a diminuição da velocidade do fluxo já é um fator limitante para a transmissão. Enquanto que a baixa declividade da segunda classe, apesar de por si não ser um elemento limitante, dificulta a superação de elementos limitantes existentes. A terceira classe não influencia diretamente a transmissão de energia, contudo a quarta classe é tratada como um *booster* (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a), capaz de auxiliar na transmissão de energia e conseqüentemente na superação de impedimentos.

Há uma divisão quanto aos tipos de classes encontrados havendo 31 sub-bacias na primeira classe, 42 na segunda, 65 na terceira e 2 na quarta classe; relembando que a declividade levada em consideração é a declividade dos 60 metros finais até o exutório, a qual vai modificar a velocidade do fluxo na saída da sub-bacia (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). Observou-se que as sub-bacias da terceira classe estão concentradas na região da falha de Serra Talhada, tanto na escarpa de recuo da falha quanto nas cristas. Enquanto que as sub-bacias de primeira e segunda classe de declividade estão concentradas nos pedimentos e nas cimeiras ao norte da bacia, estando a área mais plana (maior concentração da primeira classe) a montante do açude do Saco, resultado do encontro dos exutórios na planície de inundação que existe no local, como dito anteriormente resultado da mudança de base gerada pela instalação do açude do Saco. Apenas duas sub-bacias chegam ao seu exutório com declividade superior a 25 graus, sendo exceções no contexto da bacia, e sem relação entre elas.

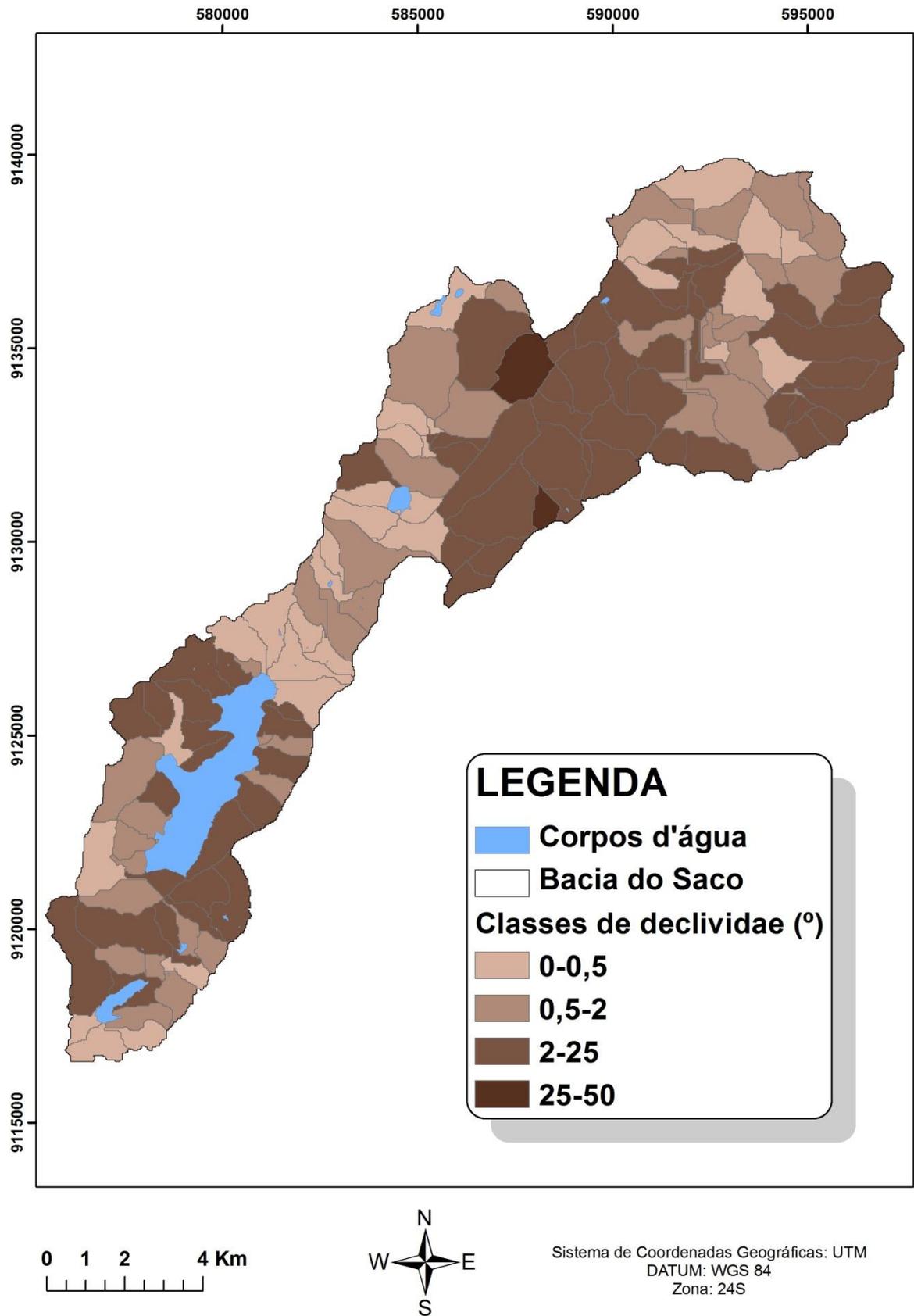


Figura 36: Declividade dos exutórios das sub-bacias.

Posteriormente identificaram-se quais impedimentos (figura 37) e quantos impedimentos (figura 38) estão presentes em cada bacia, levando em consideração os impedimentos localizados na parte média ou baixa da sub-bacia, pois são os impedimentos que afetam mais a sub-bacia (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b).

Assim, como colocado anteriormente, foram identificados e localizados sete tipos de impedimentos: açudes, zona urbana, estrada, planície de inundação contínua, planície de inundação descontínua, leque aluvial, e canal tributário preenchido. Encontrou-se 23 tipos de combinações entre esses elementos nas sub-bacias, onde cada uma dessas combinações pode responder diferentemente aos eventos de precipitação.

Entre os diversos elementos os que apresentam uma correlação direta são as planícies de inundação e os canais tributários preenchidos, onde normalmente a sub-bacia que apresenta canal tributário preenchido também apresenta junto ao exutório planícies de inundação.

Por outro lado as sub-bacias diretamente relacionadas com a falha de Serra Talhada não apresentam, em geral, nenhum tipo de impedimento de transmissão, tanto nas áreas das cristas, como nas escarpas entre o patamar de Serra Talhada e o patamar de Santa Cruz da Baixa Verde. A alta declividade da área impede o acúmulo de sedimentos, evitando assim a formação de alguns tipos de impedimentos formados por deposição sedimentar, tais como, planícies de inundação e leques aluviais.

Quanto à distribuição de impedimentos 63 sub-bacias não apresentam impedimentos (podendo ter o fluxo impedido por causa de baixa declividade no exutório), 49 sub-bacias apresentam um tipo de impedimento, 16 sub-bacias apresentam dois tipos de impedimentos, 11 sub-bacias apresentam três impedimentos e uma sub-bacia com quatro impedimentos. Ou seja, há predomínio de sub-bacias sem impedimentos ou com um tipo de impedimento.

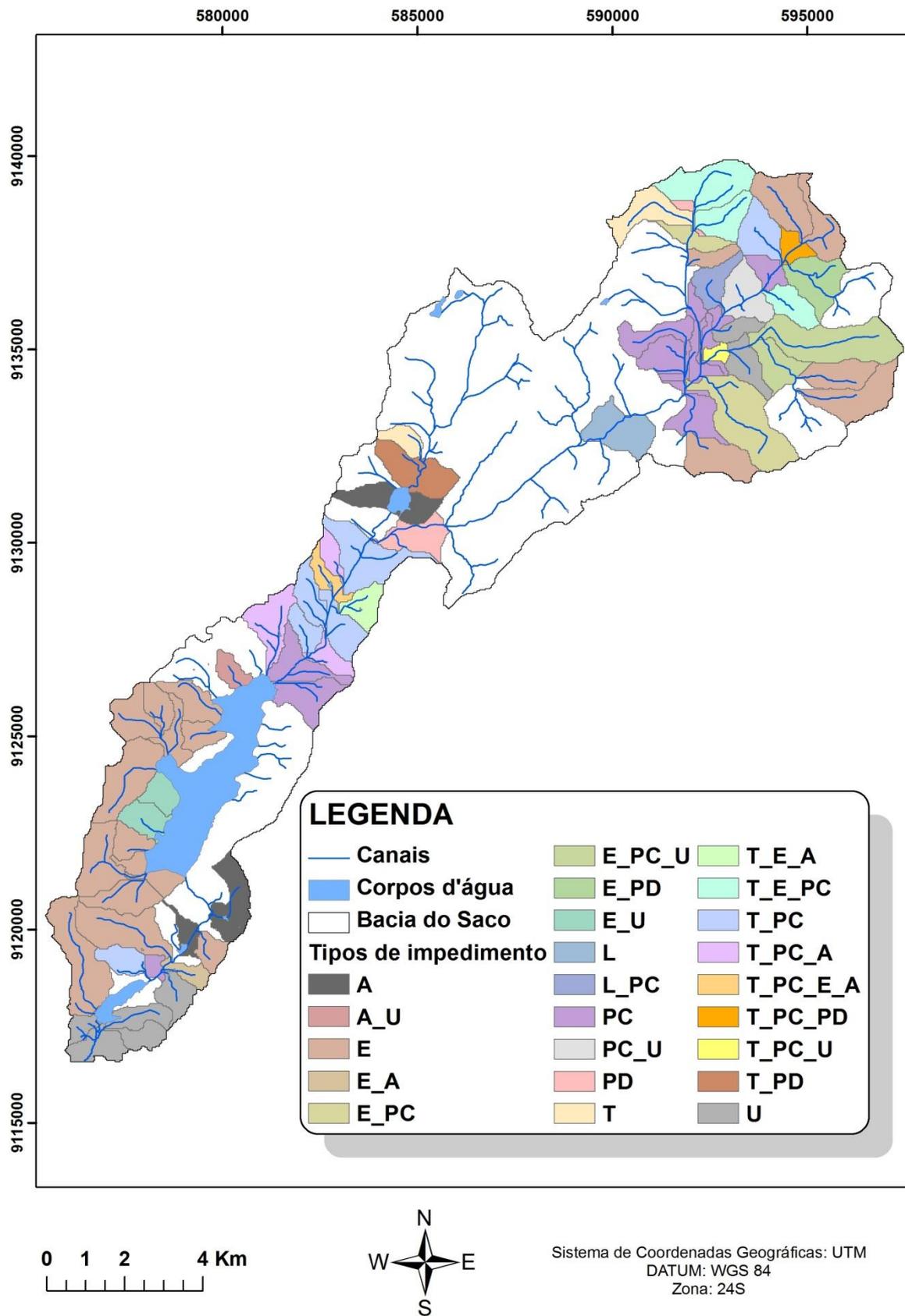


Figura 37: Tipos de impedimento de cada sub-bacia. A – Açude, U – Zona Urbana, E – Estrada, PC – Planície de inundação contínua, PD – Planície de inundação descontínua, L – Leque aluvial, T – Canal tributário preenchido.

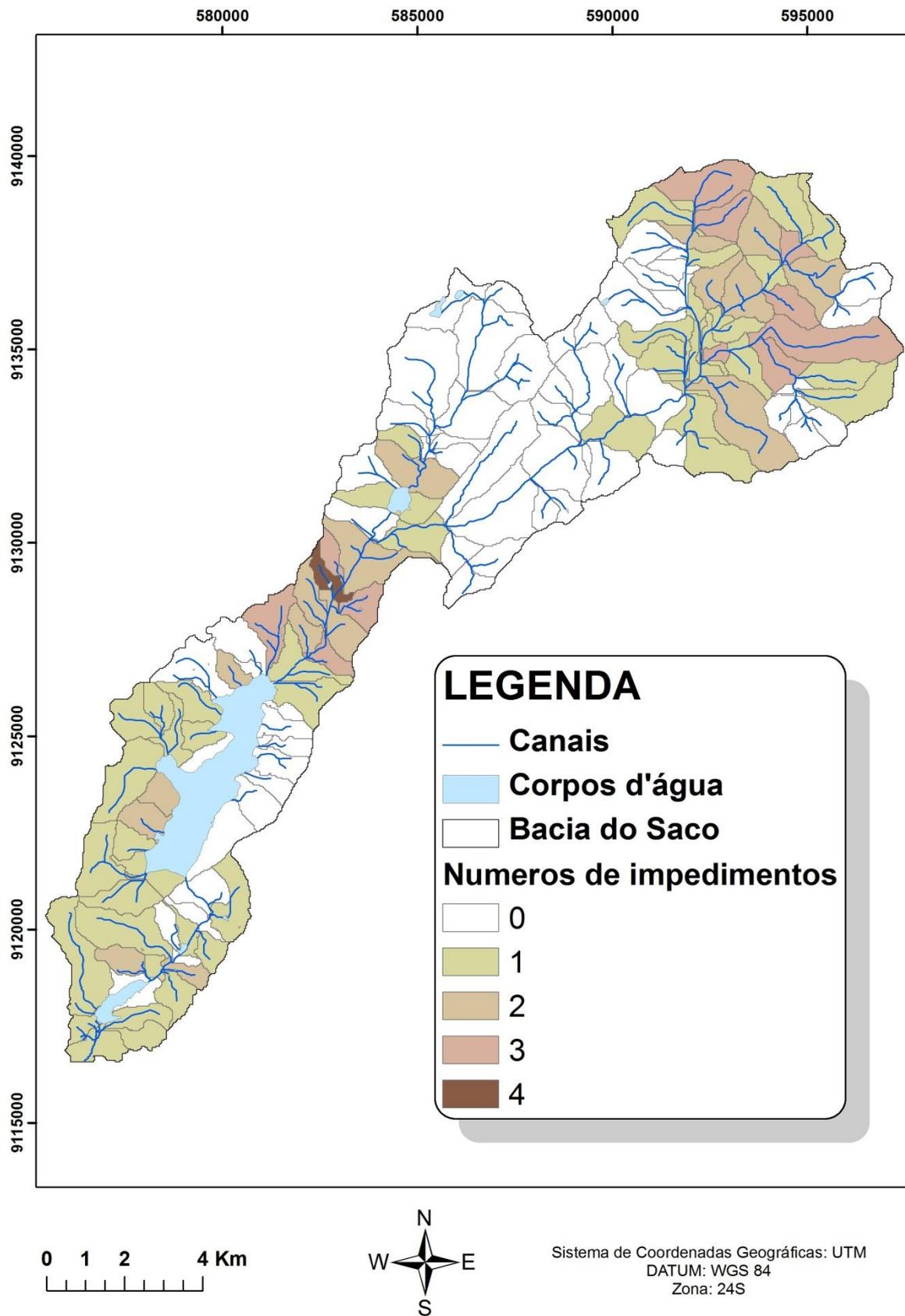


Figura 38: Numero de impedimentos de cada sub-bacia

Depois de identificar e localizar os impedimentos é necessário fazer a relação entre as forças de mudança (evento chuvoso/escoamento e declividade) e as forças de resistência (impedimentos), e a partir deles analisar a área efetiva de captação de bacia. A conectividade de cada sub-bacia está relacionada com a transmissão de sedimento de carga de fundo entre os compartimentos, no caso entre as sub-bacias, sendo classificada como conectada, parcialmente conectada e desconectada. Entre os compartimentos conectados há a transmissão sem impedimentos, ou por não haver impedimentos ou pelo fluxo superar os impedimentos, retrabalhando os mesmos ou retirando-os do sistema, ou seja, ao encontrar um leque aluvial um fluxo deposita uma parte da carga de fundo transmitida e ao mesmo tempo retrabalha o leque retirando sedimentos do mesmo, assim, teoricamente, o volume de carga de fundo a jusante do impedimento é igual ou superior à carga de fundo a montante do impedimento (FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007a; FRYIRS, BRIERLEY, *et al.*, 2007b). As ligações onde há retenção de sedimentos foram classificadas como parcialmente desconectada, quando há diminuição do fluxo de sedimentos da montante para a jusante de um impedimento; e em desconectada quando há a interrupção total do fluxo de sedimentos de carga de fundo, ocasionado ou pelo impedimento completo desse fluxo ou pela quantidade diminuta de energia para o transporte.

A declividade do exutório vai atuar como impedimento quando classificada abaixo dos 2° e não irá modificar a relação acima desse valor; as declividades acima de 25°, apesar da sua capacidade de incrementar a capacidade de transportar barramentos, não terão influência na bacia do Saco porque as duas sub-bacias classificadas nessa faixa não apresentaram nenhum impedimento, sendo assim conectadas inclusive nos eventos de baixa magnitude.

Entre os impedimentos/modificadores do fluxo de carga de fundo as áreas urbanas irão gerar modificações nas direções do fluxo, como também captura do fluxo de carga de fundo. Essa relação depende do nível de urbanização presente, relacionado com impermeabilização e drenagem urbana. Na área puderam-se observar três configurações de ambientes urbanos, representados pela cidade de Serra Talhada, pela cidade de Santa Cruz da Baixa Verde e outro padrão representado pelos adensamentos rurais distribuídos na bacia. A cidade de Serra

Talhada, ao sul da bacia, representa a área da bacia mais modificada antropicamente, sendo a drenagem completamente modificada e canalizada, em parte em galeria subterrâneas, contudo pela presença do açude Borborema na entrada da cidade o fluxo de água e sedimentos dessa área é, basicamente, fruto do captado dentro da bacia, ou seja, apenas a água e o sedimento captado/gerado pós o açude da Borborema, dentro da cidade, compõem o material do fluxo da drenagem urbana, o que resulta na porção ínfima de sedimentos transportados, resultado da impermeabilização do solo na cidade. Já na área urbana de Santa Cruz da Baixa Verde, preservaram-se as áreas do canal fluvial e suas margens, havendo em alguns pontos áreas de constrição do canal. Os adensamentos nas áreas rurais representam áreas dispersadoras do fluxo, diminuindo a capacidade de transporte, e algumas vezes modificando a sentido dos canais. As modificações causadas pelas áreas urbanas não são suprimidas com o aumento da magnitude do evento.

Os leques aluviais localizados na bacia são de pequena expressão sendo superados e retrabalhados pelos fluxos de maior magnitude. Por outro lado os canais tributários preenchidos levam a captura de grande parte dos sedimentos de carga de fundo, apenas os eventos de alta magnitude conseguem retrabalhá-los de forma que a saída de sedimentos seja igual ao volume de sedimentos que chega a montante. Quanto aos açudes apenas os pequenos açudes podem ser superados, em relação ao transporte de carga de fundo, nos eventos de maior magnitude, remobilizando, inclusive, os sedimentos estocados em caso de rompimentos de barragens. Já as planícies de inundação (contínuas e descontínuas) encontram-se em constante processo de re-trabalhamento, tanto resultado do fluxo lateral quanto em relação ao fluxo longitudinal, onde apenas nos eventos de baixa magnitude elas apresentam eficiente captura de sedimentos. Contudo, para realizar o mapeamento da área de captação efetiva é necessário também analisar a possibilidade de haver impedimentos em sequencia numa mesma sub-bacia, aumentando a resistência ao fluxo. A partir dessas considerações é possível analisar a área de captação efetiva relativa a cada magnitude; baixa (figura 39), moderada (figura 40) e alta (figura 41)

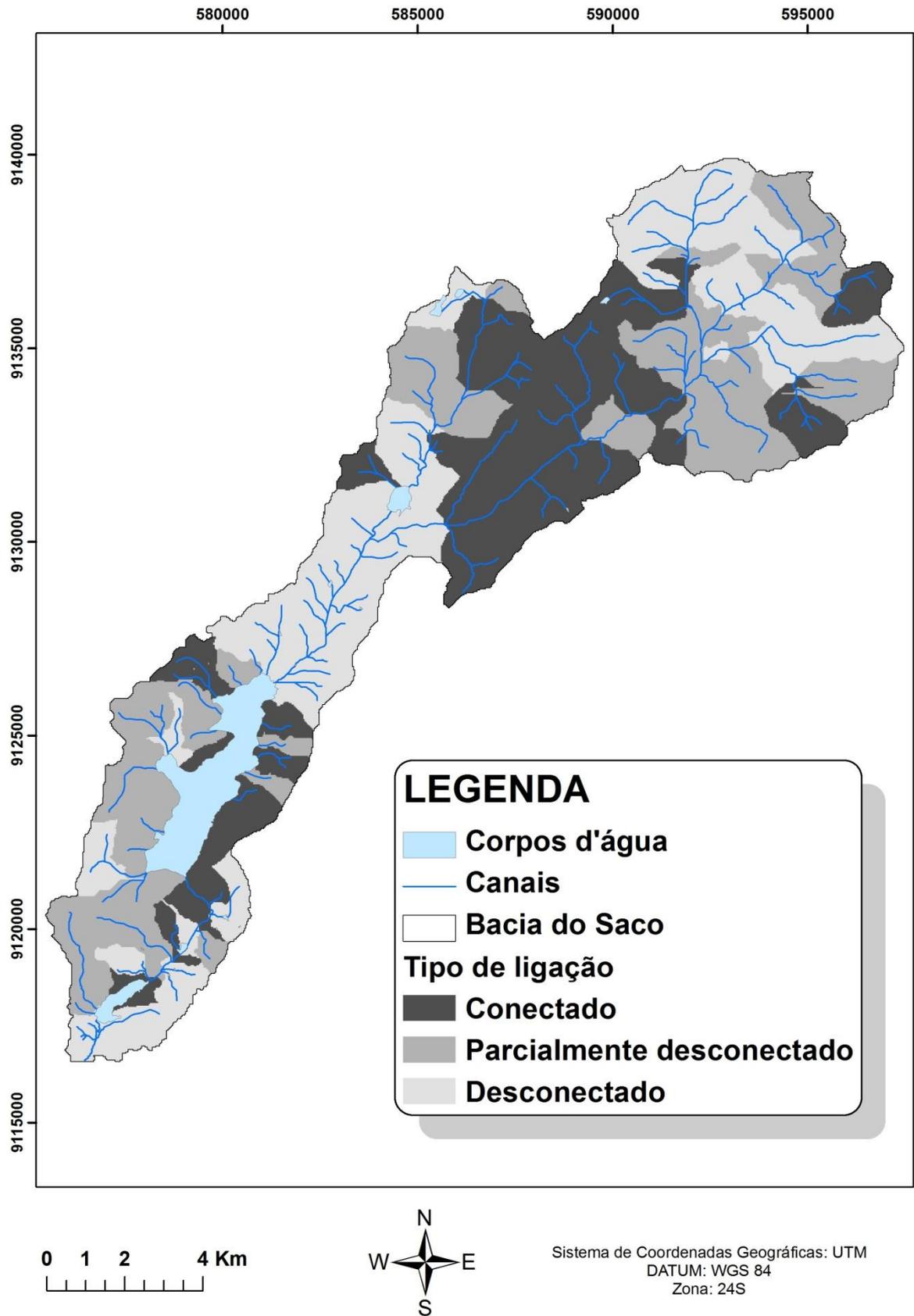


Figura 39: Área de captação efetiva – eventos de baixa magnitude

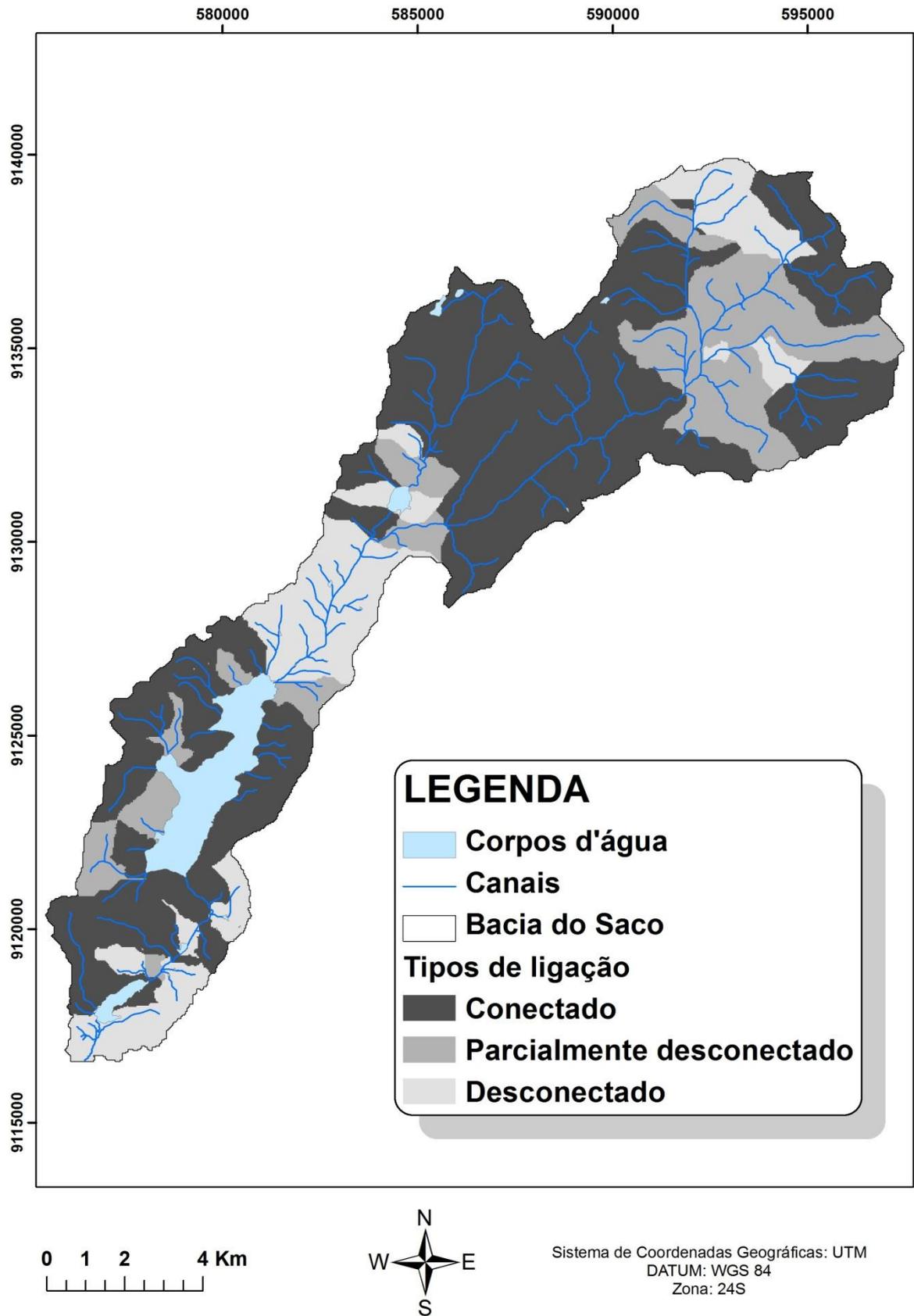


Figura 40: Área de captação efetiva – eventos de magnitude moderada

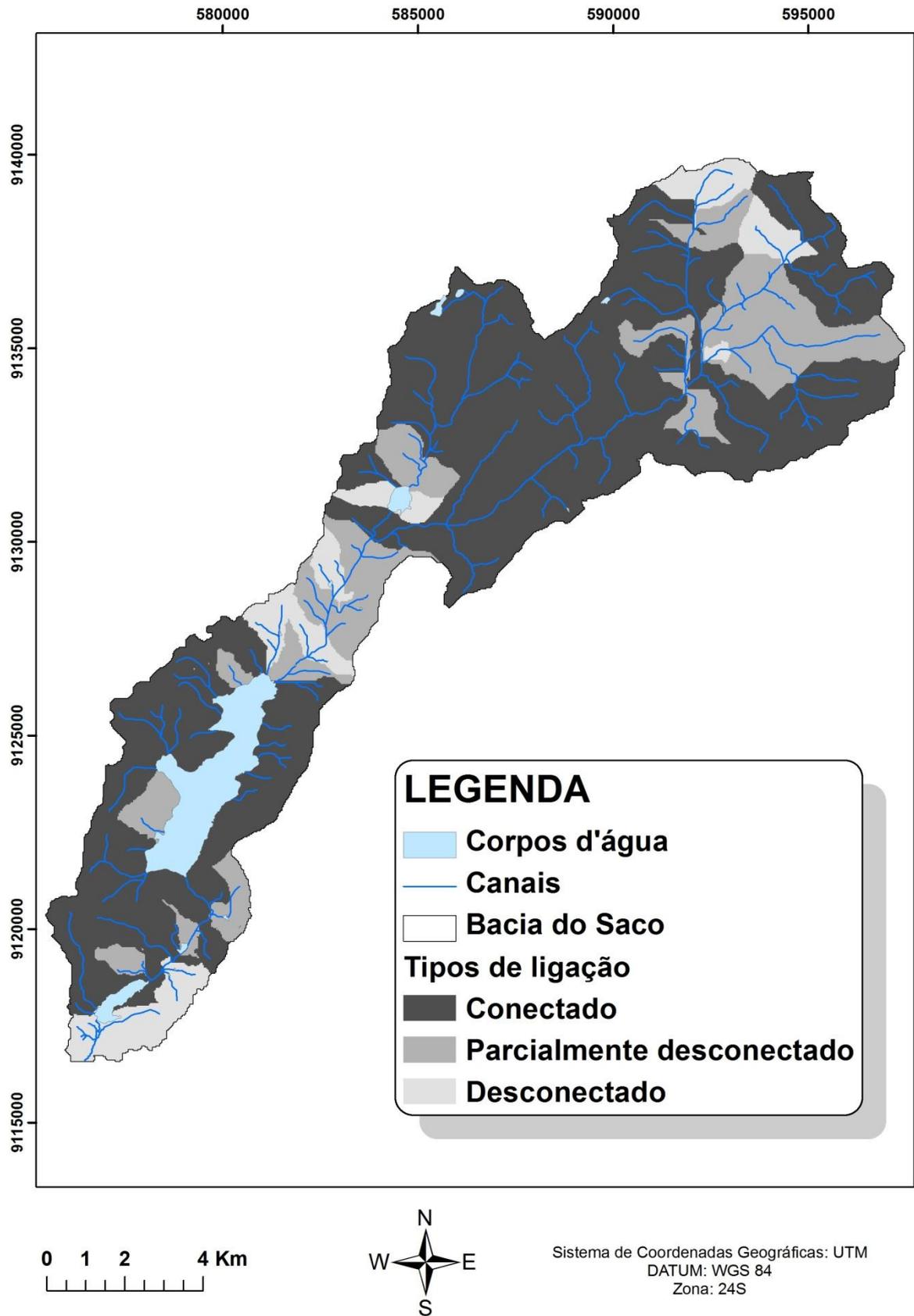


Figura 41: Área de captação efetiva – eventos de alta magnitude

As sub-bacias foram classificadas a partir do tipo de ligação que elas apresentam, ou seja, em conectadas, parcialmente conectada e desconectada; e as áreas de cada tipo de ligação foram computadas, tanto em termo absoluto (tabela 09), quanto em porcentagem da área total (tabela 10) É importante ter em mente que a área de captação efetiva da bacia estará relacionada com a área que contribui com, no caso deste trabalho, sedimento de carga de fundo para os canais principais.

**Tabela 9: Área de captação efetiva em diversos cenários de eventos. Área total em Km<sup>2</sup>.**

	Desconectado	Parcialmente Desconectado	Desconectado
<b>Magnitude Baixa</b>	47	47	48
<b>Magnitude Moderada</b>	25,5	29	87,5
<b>Magnitude Alta</b>	13,5	28	100,5

**Tabela 10: Área de captação efetiva em diversos cenários de eventos. Porcentagem da área total.**

	Desconectado	Parcialmente Desconectado	Conectado
<b>Magnitude Baixa</b>	33,1	33,1	33,8
<b>Magnitude Moderada</b>	18,0	20,4	61,6
<b>Magnitude Alta</b>	9,5	19,7	70,8

Analisando a área de captação efetiva na escala da bacia notam-se duas modificações em relação à mudança dos cenários. A primeira é o aumento considerável das áreas conectadas quando há a mudança de eventos de baixa magnitude para eventos de magnitude moderada, de 33,8% para 61,6%, o motivo desse aumento é a conexão de áreas com baixa declividade no exutório ao sistema de drenagem principal. Essas sub-bacias mantêm-se desconectadas por que o fluxo gerado pelos eventos de baixa magnitude não conseguem transportar os sedimentos de carga de fundo. As com exutório abaixo de 0,5° são áreas de espraiamento do fluxo, sendo comuns áreas alagadiças nesses exutórios; e as áreas com declividade de exutório entre 0,5° e 2° têm sua velocidade de fluxo reduzida o que acarreta um aumento da sedimentação da área; contudo essas dificuldades de fluxo são superadas nos eventos de magnitude moderada. Assim das 73 sub-bacias, de 140 sub-bacias no total, com até 2° de declividade no exutório, as que

não apresentam outros tipos de impedimento são conectadas com a mudança para um cenário de magnitude moderada.

Outro ponto relativo a área de captação efetiva é a pouca alteração entre os cenários de magnitude moderada e alta magnitude. O motivo é a desconectividade causada pelos açudes da bacia, onde apenas alguns açudes mais rudimentares são superados nos eventos de magnitude alta, enquanto que os outros permanecem desconectando as sub-bacias; mantendo, assim, áreas desconectadas mesmo em eventos de alta magnitude.

Analisando a conectividade de alguns pontos da bacia, observam-se alguns pontos de retenção de sedimentos, entre eles os açudes e as áreas onde há a presença de estilo fluvial de canais não confinados com canal descontínuo. Nesses casos há a retenção longitudinal dos sedimentos de carga de fundo, sendo que a montante dessas áreas o volume de carga de fundo é ínfimo. Assim pode-se, de maneira hipotética, subdividir a bacia a partir dessas áreas onde a transmissão de carga de fundo cessa. Os três açudes principais já citados (açude do Saco, açude da Borborema e açude da fazenda Faguza) e dois trechos do canal que apresentam o estilo fluvial citado; o trecho a montante do açude do Saco que apresenta uma planície de inundação adjacente, e o trecho central no patamar de Santa Cruz da Baixa Verde, identificado pela planície de inundação do centro desse patamar. Estes locais desconectam os sedimentos produzidos a montante deles, limitando consideravelmente a carga de fundo do canal principal; o açude da fazenda Faguza retém o sedimento produzido na área drenada pelo principal afluente do riacho do Saco.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa em tela possibilitou a análise de três sistemas paisagísticos característicos do semi-árido nordestino, integrantes da bacia do rio São Francisco, são eles: as cabeceiras de drenagem presentes no Planalto da Borborema e suas serras isoladas, os pedimentos da Depressão Sertaneja e as áreas de transição entre os chamados brejos de altitude e a Depressão Sertaneja. Na área em questão foi observada uma forte produção de sedimentos nas zonas fonte e forte sedimentação no contato pedimento/escarpas.

Ao se analisar a conectividade da paisagem da área nota-se o impacto das baixas declividades em alguns pontos. Nestes pontos há a captura completa dos sedimentos de carga de fundo; nos quais há sequências de impedimentos como planície de inundação e canais tributários preenchidos. Esse acúmulo de sedimentos resulta no estabelecimento de um estilo fluvial não confinado com canal descontínuo, observado em dois pontos do canal principal.

Analisando-se a conectividade de alguns pontos da bacia, observam-se alguns pontos de retenção de sedimentos, entre eles os açudes e as áreas onde há a presença de estilo fluvial de canais não confinados com canal/multicanais descontínuos. Nesses casos nota-se o impacto das baixas declividades em alguns pontos, havendo a retenção longitudinal dos sedimentos de carga de fundo, sendo que a montante dessas áreas o volume de carga de fundo é ínfimo.

Assim pode-se, de maneira hipotética, subdividir a bacia a partir dessas áreas onde a transmissão de carga de fundo cessa. Os três açudes principais da região (açude do Saco, açude da Borborema e açude da fazenda Faguza) e os dois trechos do canal que apresentam os estilos fluviais citados; o trecho a montante do açude do Saco que apresenta uma planície de inundação adjacente, e o trecho central no patamar de Santa Cruz da Baixa Verde, identificado pela planície de inundação do centro desse patamar, são setores que desconectam os sedimentos produzidos a montante deles, limitando consideravelmente a carga de fundo do canal principal.

O açude da fazenda Faguza retém o sedimento produzido na área drenada pelo principal afluente do riacho do Saco, identificado como perfil 02 (figura 06 e figura 07); o trecho de multicanais descontínuos do patamar de Santa Cruz da Baixa Verde retém grande parte da sedimentação das cabeceiras de drenagem e do patamar de Santa Cruz da Baixa Verde; o trecho de canal descontínuo a montante do açude do Saco retém os sedimentos das áreas a jusante das duas áreas desconectadas citadas (açude da fazenda Faguza e trecho de multicanais descontínuos); o açude do Saco retém os clastos gerados nas encostas adjacentes; e por fim o açude Borborema retém os clastos gerados a jusante do açude do Saco. Assim observa-se que apesar de se chegar a 61,6% da área conectada, em eventos de magnitude moderada, a desconexão longitudinal em alguns pontos da bacia diminui consideravelmente o aporte de sedimentos no açude do Saco.

Esse tipo de estudo também aponta para a modificação das formas nos sistemas fluviais, e pode ser complementar aos atuais métodos de análise hidrológica e de gerenciamento de recursos hídricos, onde as bacias são analisadas como se houvesse uma livre transmissão de energia e matéria, o que raramente ocorre na realidade. Além de poder subsidiar a gestão ativa dos açudes do semi-árido a partir da captura dos sedimentos de carga de fundo antes da chegada dos mesmos ao açude, diminuindo o assoreamento e aumentando, assim, a vida útil do mesmo.

Contudo mostra-se necessário a verticalização dos estudos climáticos da área, em especial na análise do comportamento da precipitação e sua resposta no fluxo dos canais, visando um maior detalhamento dos eventos efetivos, capazes de superar os impedimentos, e da escala de tempo efetiva de cada tipo de evento.

É fundamental também realizar a identificação e análise dos estilos fluviais da bacia, a partir dos mapeamentos e matrizes de estilos fluviais, os quais possibilitaram um maior detalhamento dos perfis longitudinais dos canais. Além de gerar um conjunto de informações para compreender as relações de processos, formas e controles dentro do canal fluvial, o que é de extrema importância para o entendimento do sistema fluvial.

A partir desse aporte de informação pode-se avaliar a sensibilidade da paisagem na bacia, que preconiza a ocorrência intermitente e espasmódica de eventos desestabilizadores das unidades de paisagem, cuja recursividade pode ser recuperada apenas mediante o uso de uma abordagem escalar adequada. A partir dessas premissas seria possível a construção de um modelo de evolução da paisagem, ou mais especificamente da conectividade da paisagem na bacia. Sendo assim é necessário dar prosseguimento à investigação sobre a formação, manutenção e arrasamento dos fatores de desconectividade. A partir do conhecimento dessas informações é possível analisar a evolução do sistema até a fase atual e fazer previsões sobre a organização e distribuição dos elementos que influenciaram a disponibilidade e transporte de água (área de captação efetiva) e sedimentos (balanço de sedimentação) na bacia.

Essa análise só será possível com o desenvolvimento de metodologias específicas para o semi-árido nordestino; ou seja, faz-se necessário um acompanhamento sistemático de uma área representativa, visando a criação de um arcabouço teórico/metodológico específico sobre o semi-árido nordestino.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, R. F. **Potencialidades à degradação na microbacia riacho Passafem/RN**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio ambiente. Natal, p. 77. 2010.

ANDREOLLI, I. et al. Previsão de vazão afluente a um reservatório utilizando previsão quantitativa de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 55-69, 11 n.3 2006.

ARAGÃO, M. R. S. et al. Observational study of a rainy January day in the Northeast Brazil semi-arid region : synoptic and mesoscale characteristics. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 133, p. 1127-1141, 2007.

ARGENTO, M. S. Mapeamento geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 365-391.

BARBOSA, T. F.; CORREIA, M. F. Sistemas convectivos intensos no semi-árido brasileiro: o controle da grande escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, 395-410, 2005, v. 20 n. 3, p. 395-410, 2005.

BARROS, A. C. M.; SOUZA, J. O. P.; CORREA, A. C. B. Sensitividade da Paisagem na bacia do riacho Salgado, Belém de São Francisco. **Revista de geografia - Recife**, Recife, v. Especial - VIII SINAGEO, 2010.

BECKER, F. G. Aplicações de sistemas de informação geográfica em ecologia e manejo de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 91-110.

BERTALANFFY, V. L. **Teoria geral dos Sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes, 1975.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. **Ambiente Fluvial: Ambientes de Sedimentação, sua interpretação e importância**. 1ª. ed. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979.

BLANTON, P.; MARCUS, W. A. Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. **Geomorphology**, v. 112, p. 212-227, 2009.

BOIX-FAYOS, C. et al. Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain). **Geomorphology**, v. 91, p. 103-123, 2007.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos - conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 269-300.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física Brasileira**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo (MA), 1972.

BRIERLEY, G. et al. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. **Applied Geography** 22, v. 22, p. 91-122, 2002.

BRIERLEY, G. J. et al. Did humid-temperate rivers in the Old and New Worlds respond differently to clearance of riparian vegetation and removal of woody debris. **Progress in Physical Geography**, v. 22,1, p. 27-49, 2005.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford: Blackwell Publications, 2005.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. A.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38 (2), p. 65-174, 2006.

BROWN, I. Modelling future landscape change on coastal floodplains using a rule-based GIS. **Environmental Modelling & Software**, v. 21, p. 1479-1490, 2006.

BRUNSDEN, D. Geomorphological events and landform change. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 40, p. 273-288, 1996.

BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. **Catena**, v. 42, n. 2-4, p. 99-123, 2001.

BRUNSDEN, D.; THORNES, J. B. Landscape Sensitivity and Change. **Transactions of the Institute of British Geographers, New Series**, v. 4, n. 4, p. 463-484, 1979.

BULLARD, J. E.; MCTAINSH, G. H. Aerial-fluvial interactions in dryland environments: examples, concepts and Australia case study. **Progress in Physical Geography**, v. 27, 4, p. 471-501, 2003.

BURT, T. P. Integrated management of sensitive catchment systems. **Catena**, v. 42, p. 275-290, 2001.

CALASANS, N. A. R.; LEVY, M. C. T.; MOREAU, M. Interrelações entre clima e vazão. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacia hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 67-90.

CAMPOS, H. L. Gestão de bacia hidrográfica: pressupostos básicos. In: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. **Regionalização e análise regional: perspectivas e abordagens contemporâneas**. Recife: Editora Universitária, 2006. p. 91-111.

CAMPOS, J. N. B.; VIEIRA NETO, J. F.; MARTINS, E. S. Vulnerabilidade de sistemas hídricos: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2 n.2, p. 21-44, 1997.

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 3, n 1, 1º semestre, p. 45-50, 2006.

CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da "Shuttler Radar Topography Mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9 n.1, p. 35-41, 2008.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. 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, p. 85-93, 2004.

CHELLA, M. R. et al. Avaliação do transporte de sedimentos no rio Barigüi. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10 n.3, p. 105-111, 2005.

CHIVERRELL, R. C. et al. Sediment transmission and storage: the implications for reconstructing landform development. **Earth surface process and landform**, v. 35, p. 4-15, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blüncher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em geografia. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T.

**Reflexões sobre a geografia física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 89-110.

CIRILO, J. A. et al. Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semi-árido brasileiro: avaliação de barragens subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8 n.4, p. 5-24, 2003.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 93-148.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Análise do rompimento hipotético da barragem de Ernestina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2 n.2, p. 191-206, 1997.

CORRÊA, A. C. B. **Mapeamento geomorfológico de detalhe do maciço da Serra da Baixa Verde, Pernambuco: estudo da relação entre a compartimentação geomorfológica e a distribuição dos sistemas geoambientais.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Recife. 1997.

CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil.** Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, Curso de Pós-Graduação em Geografia. Rio Claro. 2001.

CORRÊA, A. C. B. O geossistema como modelo para a compreensão de mudanças ambientais pretéritas: uma proposta de geografia física como ciência histórica. In: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. **Regionalização e Análise Regional: perspectivas e abordagens.** Recife: Universitária, 2006. p. 33-45.

CORRÊA, A. C. B. et al. Estilos fluviais de uma bacia de drenagem no submédio São Francisco. **Revista de Geografia - Recife**, v. 26 n 1, p. 181-215, 2009.

CORRÊA, A. C. B.; AZAMBUJA, R. N. **Avaliação qualitativa em micro-escala da estabilidade da paisagem em áreas sujeitas a desertificação no ambiente semi-árido do Nordeste do Brasil**. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. São Paulo: [s.n.]. 2005.

CORRÊA, A. C. B.; SOUZA, J. O. P.; CAVALCANTI, L. C. S. Solos do ambiente semi-árido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. [S.l.]: [s.n.], em prelo.

CORREIA, M. F.; ARAGÃO, M. R. D.; ARAÚJO, H. A. **Ecos de radar meteorológico no semi-árido nordestino e a penetração de um sistema de origem frontal**. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010. Belém: [s.n.]. 2010.

CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Manaíra, Estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005a.

CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São José da Princesa, Estado da Paraíba**. Recife : CPRM/PRODEEM , 2005b.

CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Serra Talhada, Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005c.

CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Santa Cruz da Baixa Verde, Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005d.

CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Triunfo, Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM , 2005e.

CROKE, J. et al. Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. **Geomorphology**, v. 68, p. 257-268, 2005.

CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F. As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natura**, v. 29 (1), p. 137 - 149, 2007.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 211-251.

DNOCS. **Relatório Técnico do Açude do Saco**. DNOCS. Recife. 1980.

DOOLITTLE, W. E. Agricultural manipulation of floodplains in the southern basin and Range Province. **Catena**, v. 65, p. 179-199, 2006.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco - ZAPE**. Recife: Embrapa Solos/Governo do Estado de Pernambuco - Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária, 2001. CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos, 35), 2001.

EVANGELISTA, S. R. M. et al. **AGROCLIMA - Sistema de Monitoramento Agroclimatológico**. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria: [s.n.]. 2003. p. 603-605.

FARIA, A. P. Influência da vegetação nos processos fluviais de bacias de primeira ordem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5 n.3, p. 59-68, 2000.

FAULKNER, H. Connectivity as a crucial determinant of badland morphology and evolution. **Geomorphology**, v. 100, p. 91-103, 2008.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SANDER, C.; REBELATTO, G. E. Sequencia de soleiras e depressões no córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná. **Revista Brasileira de geomorfologia**, v. 3 n.1, p. 49-57, 2002.

FRYIRS, K. A. et al. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. **Catena**, v. 70, p. 49-67, 2007a.

FRYIRS, K. A. et al. Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upperHunter catchment, New South Wales, Australia. **Geomorphology**, v. 89, p. 297-316, 2007b.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. **Practical application of the River Styles® framework as a tool for catchment-wide river management**: A case study from Bega catchment, New South Wales, Australia. ebook: site: <http://www.riverstyles.com/ebook.php>, 2005.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. Naturalness and place in River Rehabilitation. **Ecology and Society**, v. 14 (1): 20, 2009.

GRAF, W. L. **Fluvial Process in Dryland Rivers**. Caldwell: The Blackburn Press, 1988.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149-209.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia aplicada: algumas reflexões. In: SANTOS, J. M.; FARIAS, M. **Reflexões e construções geográficas contemporâneas**. Salvador: Grasb, 2004. p. 144-161.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C.; COSTA, T. C. C. **Relevo digital dos municípios brasileiros**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2008.

HANSOM, J. D. Coastal sensitivity to environmental change: a view from the beach. **Catena**, v. 42, p. 291-305, 2001.

HARVEY, A. M. Effective timescales of coupling within fluvial systems. **Geomorphology**, v. 44, p. 175-201, 2002.

HOOKE, J. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. **Geomorphology**, v. 56, p. 79-94, 2003.

IMESON, A. C.; PRINSEN, H. A. M. Vegetation patterns as biological indicators for identifying runoff and sediment source and sink areas for semi-árid landscapes in Spain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 333-342, 2004.

KASAI, M. et al. Impacts of land use change on patterns of sediment flux in Weraamaia catchment, New Zealand. **Catena**, v. 64, p. 27-60, 2005.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; LUCHIARI, A. Processamento das imagens HGR SPOT 5 na determinação de classes de uso da terra e manchas de cobertura vegetal na região de Teodoro Sampaio - Pontal do Paranapanema. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 15, p. 127-136, 2004.

KIRKBY, M. J.; BRACKEN, L. J.; SHANNON, J. The influence of rainfall distribution and morphological factors on runoff delivery from dryland catchments in SE Spain. **Catena**, v. 62, p. 136-156, 2005.

LEFF, E. **Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza**. Rio de Janeiro: Civilização brasileira, 2006.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. M. **Fluvial process in geomorphology**. Mineola: Dover Publications, INC, 1964.

LESSCHEN, J. P.; SCHOORL, J. M.; CAMMERAAT, L. H. Modelling runoff and erosion for a semi-arid catchment using a multi-scale approach based on hydrological connectivity. **Geomorphology**, v. 109, p. 174-183, 2009.

LEXARTZA-ARTZA, I.; WAINWRIGHT, J. Hidrological connectivity: linking concepts with practical implications. **Catena**, v. 79, p. 146-152, 2009.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 37-65.

LOVELL, S. T.; JOHNSTON, D. M. Designing landscape for performance based on emerging principles in landscape ecology. **Ecology and Society**, v. 14 (1) : 44, 2009.

MARTINELLI, M. E.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia - São Paulo**, v. 14, p. 39-46, 2001.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5 n.1, p. 11-18, 2004.

MOLINAS, P. A. A gestão dos recursos hídricos no semi-árido nordestino: a experiência cearense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 1, p. 67-88, 1996.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão Dinâmica das chuvas sobre o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17 n.1, p. 1-20, 2002.

MORIN, E. **O Método I: A Natureza da Natureza**. 3. ed. Lisboa: Publicações Europa-América, 1997.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. 3. ed. Porto Alegre: Sulina, 2007.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: IBGE: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

OLIVEIRA, G. C. S.; ALVES, K. M. A. S.; NÓBREGA, R. S. Sistemas atmosféricos dinâmicos de grande escalas responsáveis pela ocorrência de chuva no nordeste brasileiro, 2010.

OLIVEIRA, J. A.; LANNA, A. E. L. Otimização de um sistema de múltiplos reservatórios atendendo a múltiplos usos no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2 n.2, p. 123-141, 1997.

OLIVEIRA, L.; MACHADO, L. M. C. P. Percepção, cognição, dimensão ambiental e desenvolvimento com sustentabilidade. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 129-152.

OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Cartografia do relevo: um estudo aplicado na região oeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8 n.2, p. 37-44, 2007.

OLIVEIRA, S. N. et al. Delimitação automática de bacias de drenagem e análise multivariada de atributos morfométrico usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8 n.1, p. 3-21, 2007.

PEIXOTO, M. N. O. et al. Identificação de estilos de rios em bacias de drenagem inseridas em compartimentos de colinas - médio vale do rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista de Geografia - Recife**, v. Especial - VIII SINAGEO, 2010.

PHILLIPS, J. D. Biogeomorphology and landscape evolution: the problem of scale. **Geomorphology**, v. 13, p. 337-347, 1995.

PHILLIPS, J. D. The perfect landscape. **Geomorphology**, v. 84, p. 159-169, 2007.

PHILLIPS, J. D. Changes, perturbations, and responses in geomorphic systems. **Progress in Physical Geography**, v. 33(1), p. 17-30, 2009.

PINHEIRO, E. S.; KUX, H. J. H.; VILLWOCK, J. A. O potencial de imagens QUICKBIRD para análise de um setor do Planalto das Araucárias, RS: Centro de Pesquisas e Conservação da natureza Pró-Mata. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6 n.2, p. 65-73, 2005.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 17-35.

PUIGDEFABREGAS, J. et al. Differential responses of hillslope and channel elements to rainfall events in a semi-arid area. **Geomorphology**, v. 23, p. 337-351, 1998.

RODRIGUES, S. C. E.; BRITO, J. L. S. Mapeamento geomorfológico de detalhe - uma proposta de associação entre o mapeamento tradicional e as novas técnicas em geoprocessamento. **Caminhos de Geografia 1(1): 1-6. 2000.**, v. 1(1), p. 1-6, 2000.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 291-336.

ROTHLEY, K. Finding and filling the "cracks" in resistance surfaces for least-cost modeling. **Ecology and Society**, v. 10 (1): 4, p. 1-10, 2005.

SACO, P. M.; WILGOOSE, G. R.; HANCOCK, G. R. Eco-geomorphology of banded vegetation patterns in arid and semi-arid regions. **Hidrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1717-1730, 2007.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. **Desertificação no Brasil – Conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Recife: Editora Universitária da UFPE, 2001.

SANTOS, J. M. Na esteira da abordagem sistêmica. In: SANTOS, J. M.; FARIA, M. **Reflexões e construções geográficas contemporâneas**. Salvador: Grasb, 2004. p. 35-57.

SANTOS, S. A. et al. Análise estatística de chuvas intensas e inundações no semi-árido da bacia do rio São Francisco: a cheia de 1985. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 7 N. 3, p. 278-290, 2010.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. Caldwell: The Blackburn Press, 1977.

SILVA, F. D. S. et al. Convecção linearmente organizada na área de petrolina, semi-árido do nordeste do brasil: aspectos em meso e grande escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, 292-304, 2008, v. 23 n.3, p. 292-304, 2008.

SILVA, F. L. M.; CORRÊA, A. C. B. Relações entre geossistemas e usos da terra em microbacia hidrográfica semi-árida: o caso do riacho Gravatá/ Pesqueira - PE. **Revista de Geografia - UFPE**, v. 24 nº1, p. 171-188, 2007.

SOUZA, J. O. P. **Sistema fluvial e planejamento local: um caso semi-árido – micro-bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco – PE**. 2008. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Ciências Geográficas. Recife, p. 43. 2008.

SOUZA, J. O. P.; CORREA, A. C. B. **Teoria da (des)conectividade aplicada a um sistema fluvial semi-árido: bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco/PE**. I Congresso Brasileiro de Organização do Espaço e X Seminário de Pós-Graduação em Geografia. [S.l.]: [s.n.]. 2010.

SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B.; BARROS, A. C. M. **Mapeamento Geomorfológico e caracterização física de uma micro-bacia semi-árida: riacho**

Mulungu – Belém de São Francisco – PE. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Belo Horizonte: [s.n.]. 2008.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

THOMAS, M. F. Landscape sensitivity in time and space - an introduction. **Catena**, v. 42, p. 83-98, 2001.

THOMAS, M. F. Quaternary fans and colluvium as indicators of environmental change and landscape sensitivity. **Revista do Instituto Geológico - São Paulo**, v. 23 (1), p. 1-11, 2002.

THOMAS, M. F. Landscape sensitivity to rapid environmental change - a Quaternary perspective with examples from tropical areas. **Catena**, v. 55, p. 107-124, 2004.

THOMS, M. Floodplain-river ecosystems: lateral connections and implications of human interference. **Geomorphology**, v. 56, p. 335-349, 2003.

THOMS, M. C.; SOUTHWELL, M.; MCGINNES, H. M. Floodplain-river ecosystems: fragmentation and water resources development. **Geomorphology**, v. 71, p. 126-138, 2005.

THORNES, J. B.; BRUNSDEN, D. **Geomorphology & Time**. London: Methuen & Co, 1977.

TOMASONI, M. A. Considerações sobre a abordagem da natureza na geografia. In: SANTOS, J. M.; FARIAS, M. **Reflexões e construções geográficas contemporâneas**. Salvador: Grasb, 2004. p. 11-34.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade: BRH: EDUSP, 1993.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2 n.1, p. 135-152, 1997.

VALE, C. C. Por uma metodologia para o estudo das áreas de manguezais: uma visão sistêmica. In: NUNES, J. O. R.; ROCHA, P. C. **Geomorfologia: aplicações e metodologias**. São Paulo: Expressão popular, 2008. p. 117-131.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI. Topographic modelling of Marajó island with SRTM data. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9 n.1, p. 53-64, 2008.

VANACKER, V. et al. River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. **Geomorphology**, v. 72, p. 340-353, 2005.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento Sistêmico: O Novo Paradigma da Ciência**. São Paulo: Papirus, 2002.

VASCONCELOS, T. L. et al. Estudo morfodinâmico em área do semi-árido do Nordeste brasileiro: um mapeamento geomorfológico em micro-escala. **Revista de Geografia - UFPE**, v. 4 nº 2, p. 36-49, 2007.

VIEIRA, V. P. P. B. Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 1, p. 89-107, 1996.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semi-árido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8 n.2, p. 7-17, 2003.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. Erosion and sediment yield: a global overview. **Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives**, v. 236, p. 3-19, 1996.

WERRITTY, A.; LEYS, K. F. The sensitivity of Scottish rivers and upland valley floors to recent environmental change. **Catena**, v. 42, p. 251-273, 2001.

WOLSKI, P.; MURRAY-HUDSON, M. Flooding dynamics in a large low-gradient alluvial fan, the Okavango delta, Botswana, from analysis and interpretation of a 30-year hydrometric record. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 10, p. 127-137, 2006.

ZEHE, E.; SIVAPALAN, M. Threshold behavior in hydrological systems as (human) geo-ecosystems: manifestations, controls, implications. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 13, p. 1273-1297, 2009.