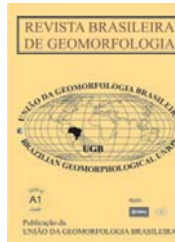




www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 16, nº 4 (2015)



ANÁLISE DA SENSITIVIDADE DA PAISAGEM NA BACIA DO RIACHO DO SACO – PE

LANDSCAPE SENSITIVITY ANALYSIS IN THE SACO CREEK WATERSHED - PE

Jonas Otaviano Praça de Souza

*Departamento de Geociência, Universidade Federal da Paraíba
Cidade Universitária, João Pessoa, Paraíba, CEP: 58051-900, Brasil
Email: jonasgeoufpe@yahoo.com.br*

Antônio Carlos de Barros Corrêa

*Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, Pernambuco, CEP: 50670-901, Brasil
Email: antonio.correa@ufpe.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
06/06/2015
Data de Aprovação:
06/10/2015

Palavras-chave:

Sensitividade da Paisagem,
Geomorfologia Fluvial,
Semiárido

Keywords:

Landscape Sensitivity, Fluvial
Geomorphology, Semiarid.

Resumo:

A compreensão sobre a evolução da paisagem de curto e médio prazo, a partir de uma perspectiva geomorfológica, depende do entendimento de como a paisagem se comportaria caso houvessem mudanças nos inputs do sistema ambiental e/ou mudança nas resistências do sistema. Para tal, é necessário identificar as áreas onde há uma maior probabilidade de mudança, face às alterações ambientais que incidem sobre as forças de perturbação ou de resistência do sistema. Dentro desta perspectiva enquadrase a ideia da sensitividade da paisagem, definida como a probabilidade de uma mudança nos controles do sistema ou nas forças aplicadas sobre ele, produzir respostas sensíveis, reconhecíveis, sustentáveis, ainda que complexas. Neste trabalho, a análise da sensitividade da paisagem foi realizada para a bacia do riacho do Saco, semiárido do estado de Pernambuco. Com uma área de 142,5 km², a bacia apresenta uma variação altimétrica entre 409 e 1118 metros, que gera uma diversidade de cenários compreendendo desde paisagens agrárias sub-úmidas nos setores mais elevados, a paisagens semiáridas de pecuária nos setores mais baixos. A análise utilizou dados de imagens de satélite, modelos digitais de elevação, séries climáticas e hidrológicas, além daqueles provenientes da observação direta em campo. A força de distúrbio disponível para cada ponto na paisagem foi relacionada à sua resistência a mudanças, dessa forma a energia de distúrbio foi avaliada a partir da relação de acumulação de água (massa) com a declividade do trecho (velocidade), e a resistência a partir das características da cobertura superficial (leito e margem fluvial e solos das encostas) e da cobertura vegetal. A metodologia aplicada permitiu a gradação da sensitividade dos trechos fluviais em alta, média e baixa, enquanto que sobre as áreas de encosta foram identificadas apenas as áreas de alta sensitividade. As áreas que apresentam alta sensitividade são caracterizadas por maior precipitação, concentração de fluxo,

cobertura superficial arenosa, falta vegetação, e, muitas vezes, formação de voçorocas. A modificação da dinâmica superficial nas encostas afeta diretamente os trechos aluviais onde há preenchimento sedimentar do vale. Tais trechos tendem a responder às modificações nas encostas, quando essas têm sua vegetação associada removida, podendo haver ajustes laterais ou verticais, especialmente incisões verticais em áreas de aquífero aluvial, importante fonte da água para a comunidade local. Essas considerações ganham relevo visto que o contexto ambiental e a organização de uso e ocupação da bacia são típicos para os enclaves sub-úmidos do semiárido brasileiro, áreas de grande importância econômica e ambiental para a região.

Abstract:

The comprehension about landscape evolution, with geomorphological emphases, specially of short and medium term, depend on understanding of how the landscape would behave if there were changes in the system inputs and/or changes in the system resistances. For such, it's necessary identify each areas where there is most likely to changes, if there is environmental changes, in the disturbing forces or system resistances, following this idea there is the landscape sensitivity approach, that is defined as the probability of a change in the system controls or on forces applied to it, generate sensible, recognizable, sustainable; however complex responses. The landscape sensitivity analysis was made to Saco Creek Watershed, Serra Talhada County, Brazilian dryland, showing an area of 142.5 km². The basin has an altimetry variation between 409 and 1118 meters, this amplitude control a landscape diversification, so the basin has an agricultural sub-humid landscape in the highlands, and a livestock semiarid landscape in the lowlands. The analysis used data from DEM, satellite images, climatic and hydrologic data, besides field data. In general, the disturbance force available to each point was related to resistance to changes to that point. Then the disturbance energy was evaluated from the relation of the water accumulation (mass) with the reach slope (velocity), and the resistance from the surface cover characteristics (fluvial bed and bank and hillslope soils) and the vegetation covering. The sensitivity to fluvial reaches was divided in high, average and low sensitivity, due to use of a specific methodology that allowed the rating; while to hillslope area only was identify the high sensitivity areas. Summarizing, the high sensitivity areas are characterized by higher precipitation level, flow concentration, sandy surface cover, no vegetation, and, often, gully process. The changes of the hillslope surface dynamic directly affect the alluvial reaches where there is a valley sediment filling. These reaches tends to respond to changes in the hillslope, when there is the removal of associate vegetation, and may be lateral or vertical adjustments, especially vertical incisions in areas of alluvial aquifer, an important water source to the local communities. These consideration have their significance improved as the environmental complex and the organization of land use/cover of the watershed is representative to Brazilian semi-arid, particularly for sub-humid enclaves, areas of great economic and environmental importance to the region.

Introdução

Ao se pensar em modelos sobre a evolução da paisagem de foco geomorfológico, em especial aqueles de curto e médio prazo, voltados ao planejamento ambiental, faz-se necessário compreender como os processos superficiais se comportam após mudanças nos *inputs* do sistema e/ou mudança nas resistências do sistema. Assim sendo, emergem questionamentos do tipo, o que poderia ser modificado na estrutura e dinâmica da paisagem se uma área fosse desmatada, ou reflorestada. Contudo é necessário avaliar não apenas as modificações dos *outputs* dos sistemas geomorfológicos, mas também as mudanças internas sofridas pelos sistemas, quais sejam modificações naturais e/ou

antrópicas, em sua organização e em seus elementos, bem como entender claramente os mecanismos de retroalimentação, para que assim seja possível criar cenários futuros condizentes com a provável evolução da paisagem em questão.

Um primeiro passo para a compreensão das possibilidades de mudança consiste na identificação das áreas que responderiam mais facilmente às alterações nas forças de perturbação ou de resistência do sistema. Em consonância com essa perspectiva, a proposta teórico-metodológica sintetizada pela epígrafe de sensibilidade da paisagem oferece um suporte adequado para a compreensão das relações entre os elementos do sistema geomorfológico, sendo definida

como a probabilidade de 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; 2001). Ou seja, tanto a mudança nas forças de perturbação quanto nas forças de resistência irão afetar a sensibilidade da paisagem, assim para avaliar a sensibilidade da paisagem é necessário analisar as resistências do sistema, tais como, sua estrutura, morfologia, distribuição de energia potencial e cinética, etc (BRUNSDEN, 1993; 2001). Desse modo é possível identificar além dos pontos prioritários para mudanças, os processos de retroalimentação existentes no sistema, fundamentais para a construção adequada de cenários futuros. Igualmente, a informação acerca da sensibilidade auxilia na análise da capacidade de recuperação de cada ambiente. Seguindo esse enfoque teórico, o desenvolvimento e aprimoramento da proposta dos estilos fluviais (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; FRYIRS, SPINK e BRIERLEY, 2009) representa uma importante contribuição para a análise da evolução e sensibilidade das paisagens a partir da análise do comportamento das bacias e canais fluviais.

Tomando por base os princípios analíticos dessa abordagem, o presente artigo teve como objetivo avaliar a sensibilidade da paisagem da Bacia do Riacho do Saco, situada em meio ao domínio semiárido do Nordeste do Brasil, no estado de Pernambuco, analisando o comportamento da bacia como um todo, e detalhando aspectos funcionais do ambiente fluvial.

Sentividade da Paisagem

Inicialmente é importante frisar que o sistema geomorfológico é entendido como um conjunto de elementos interconectados (formas/massa e energia estocada), processos e eventos; sendo que os componentes são conectados por fluxos de matéria e energia, além de processos de retroalimentação (PHILLIPS, 2012). Da mesma forma é crucial ter em mente quatro conceitos básicos relativos: à uniformidade dos processos, aos limiares de mudança, à evolução da paisagem e às 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 necessário para levar a uma alteração no estado de operação do sistema. Já a evolução da paisagem está relacionada com o seu estado atual e sua alteração ao longo do tempo,

geológico ou histórico. Por fim, as respostas complexas estariam relacionadas aos *outputs* e ajustes do sistema frente às mudanças, às retroalimentações e às inúmeras variáveis envolvidas (SCHUMM, 1977; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004).

Como enunciado anteriormente, a Sensitividade da Paisagem é a probabilidade de uma mudança nos controles do sistema ou nas forças aplicadas sobre ele, produzir respostas sensíveis, reconhecíveis, sustentáveis, contudo complexas (BRUNSDEN, 2001). Assim sendo, a base teórica da proposta de sensibilidade da paisagem é clássica, e apresenta alguns conceitos já bem estabelecidos na literatura, contudo a proposta organiza e padroniza a conceituação e uso de terminologias, assim como também tenta desenvolver uma práxis convergente e sólida baseada em ideias compiladas e ampliadas (THOMAS, 2001). Sua proposição léxica emerge portanto como uma organização lógica de caráter conceitual, terminológico e metodológico de várias questões abordadas pela geomorfologia. Destarte, a proposta ordena uma série de informações que possibilita uma análise multivariada das questões relacionadas com mudanças nas paisagens e a ocorrência de respostas complexas, oferecendo uma série de ferramentas metodológicas para a análise da capacidade de mudança do sistema ou do mesmo absorver essas mudanças. A realização deste tipo de análise depende da obtenção de informações sobre o funcionamento do sistema concernentes à: resistência e força; frequência, magnitude e duração das perturbações; estabilidade/resiliência das paisagens; e controles temporais e espaciais das características do sistema (PHILLIPS, 2009).

Contudo, para que se possa aplicar o conceito de sensibilidade da paisagem é importante entender a proposição de estabilidade da paisagem função da distribuição temporal e espacial de forças de resistência e perturbação (BRUNSDEN, 1996). Ou seja, a estabilidade é a relação entre resistências e perturbações nas paisagens, levando-se em conta as dimensões espaciais e temporais envolvidas.

A força de resistência do sistema é a capacidade de resistência em relação a uma mudança do estado inicial após uma perturbação (BRUNSDEN e THORNES, 1979; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004). Por seu turno, a força de perturbação resulta da aplicação de energia proveniente dos controles do sistema, como clima e tectônica e, em alguns casos e escalas de abordagem, interferências bióticas e antrópicas que também podem

atuar como força de perturbação (BRUNSDEN, 2001). Contudo, não se deve confundir força de perturbação com modificação da resistência de um sistema. Desta forma, a retirada da vegetação em si não vai causar necessariamente uma modificação do sistema geomorfológico, mas antes irá modificar a resistência da área.

Ao analisar as forças de resistência do sistema encontra-se o seu limiar de mudança (limiar de estabilidade), ou seja, o nível de perturbação, que ao ser ultrapassado desencadearia mudanças no sistema, sendo definido a partir das forças de resistência (ZEHE e SIVAPALAN, 2009; BRUNSDEN, 1993). O limiar de mudança do sistema não é fixo, podendo variar no tempo e no espaço (PHILLIPS, 2009; ZEHE e SIVAPALAN, 2009), como é o caso das variações intra-anuais na resistência em áreas sob vegetação sub-caducifólia ou caducifólia. Exemplificando, pode-se observar os diferentes efeitos, sobre o sistema geomorfológico, causados por um episódio de chuva torrencial no semiárido brasileiro, conquanto este ocorra na vigência da estação seca, quando a retração da vegetação é máxima e grande parte do solo apresenta-se exposto, ou logo após o período chuvoso, quando a cobertura da vegetação é máxima e a exposição do solo diminui consideravelmente.

A sensibilidade de um sistema é definida pelas suas especificações, incluindo as forças de resistência, que caracterizarão sua propensão para a mudança e sua habilidade para absorver forças desestabilizadoras (BRUNSDEN, 2001). As forças de resistência podem ser distribuídas em cinco tipos (BRUNSDEN, 1993), a resistência estrutural, já citada; resistência de força; resistência morfológica; resistência de filtro e resistência do estado do sistema.

A resistência de força (*strength resistance*) consiste na barreira à mudança imposta pelas propriedades e disposições dos materiais constituintes do sistema. Este tipo de resistência compreende dois aspectos; o primeiro trata das características da fábrica estrutural da paisagem, da formação das rochas e da história tectônica da área, assim como suas linhas de fraqueza geológica (THOMAS, 2001). O segundo aspecto lida com 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 irão controlar o relevo, sua declividade, dentre outras características morfológicas (BRUNSDEN, 1993).

A resistência morfológica (*morphological resis-*

tance) resulta da variação da distribuição, pelo sistema, da energia potencial, com base na distribuição e análise da altimetria e da declividade das encostas. A resistência morfológica também orienta a sensibilidade da paisagem em relação à concentração e dispersão das forças de estresse, como por exemplo no que se refere à geometria das encostas em *hollows* e *noses*. No primeiro caso (*hollow*) há concentração de água (força de perturbação), enquanto no segundo (*nose*) há dispersão (BRUNSDEN, 1993). A resistência de filtro (*filter resistance*) é o mecanismo de controle e remoção de energia do sistema. Envolve o uso e absorção de energia, bem como 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, 1993).

Por último, a resistência de estado do sistema (*system state resistance*) é a capacidade do sistema resistir a mudanças pelo seu histórico. Sua premissa fundamental é a de que cada sistema possui um modelo individual de impulsos de mudança e eventos formativos, resultado de um histórico único (PHILLIPS, 2007). Esse tipo de resistência considera os elementos herdados por cada sistema, como também o seu estado atual. Essas características podem explicar as diferenças espaciais de sensibilidades entre dois locais com aspectos morfológicos semelhantes (BRUNSDEN, 2001). A resistência de estado do sistema irá definir, também, as possibilidades do sistema retornar ao estado anterior a uma mudança, sendo importante para os estudos sobre o potencial de recuperação/reabilitação ambiental.

A resistência de estado suscita o uso de uma terminologia própria, envolvendo conceitos tais como: elasticidade, a velocidade para que o sistema volte ao seu estado inicial; amplitude, o nível de mudança que permite que o sistema volte ao estado inicial; histerese, a medida na qual o padrão de recuperação é diferente do padrão da perturbação; maleabilidade é o grau em que o novo estado permanente, pós perturbação, é diferente do estado inicial, pré-perturbação. Segundo BrunSDen (2001, p. 103) esses aspectos trabalhados pela sensibilidade são bem conhecidos pelos geomorfólogos, mas sua terminologia descritiva é pouco aplicada (BRUNSDEN, 2001, p. 103, tradução do autor).

É necessário, também, compreender o comportamento dos eventos, bem como as modificações nesse comportamento, entendendo a provável distribuição dos mesmos no tempo e espaço, ou seja, a distribuição

da sua frequência, magnitude e duração (BRUNSDEN e THORNES, 1979). Assim, 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, tomando-se por base a ideia de que há diferenciações espaciais em um determinado evento, resultantes das diferenciações locais/históricas entre os sistemas (PHILLIPS, 2007). O segundo ponto decorre do fato de que as respostas aos eventos são complexas, não constituem apenas respostas diretas, mas também séries complexas de retroalimentações que podem ser geradas por determinado evento (BRUNSDEN, 2001). Por fim, é importante identificar o estágio de equilíbrio do sistema, se o sistema está em processo de degradação ou recuperação; ou seja, avaliar a ocorrência de processos de retroalimentação negativa (recuperação) ou positiva (degradação). Em casos onde há a retroalimentação positiva, como em muitas áreas de voçorocamento, são gerados impactos secundários que não se restringem à área inicial, propagando a instabilidade no sistema, que ao invés de ajustar-se para absorver a mudança, cria novas características e relações que aumentam a instabilidade (THOMAS, 2001).

Ao analisar especificamente o comportamento e evolução dos ambientes fluviais a abordagem da sensibilidade da paisagem pode ser efetivada com base no arcabouço de informações gerado a partir da aplicação da proposta dos Estilos Fluviais. Seguindo esta ideia a bacia hidrográfica é analisada a partir de três aspectos; a planta do canal, as unidades geomórficas da bacia, e a textura do leito (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). A identificação e classificação das unidades geomórficas possibilitam 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). Tal compreensão permite a elaboração de cenários futuros para os ambientes fluviais, levando em consideração as respostas complexas do sistema (retroalimentações). 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 espaços-temporais, a partir de uma análise focada no ambiente fluvial. O banco de dados gerado a partir da metodologia dos estilos fluviais serve como base para

a análise da sensibilidade da paisagem no ambiente fluvial, abordando especificamente canais e planícies de inundação (FRYIRS, SPINK e BRIERLEY, 2009).

A partir destes procedimentos os estilos fluviais podem ser aplicados a: programas de planejamento ambiental, observando a capacidade de ajuste do sistema e as possibilidades de intervenção e gerenciamento de suas respostas; conservar estilos fluviais raros ou até únicos, ainda pouco trabalhados pela literatura visando conservar a diversidade dessas paisagens; enfoques sobre as ligações biofísicas nos planos de gestão fluvial, analisando principalmente a relação de transmissão entre compartimentos geomórficos diferentes; avaliação da condição geomórfica e potencial de recuperação fluvial (FRYIRS e BRIERLEY, 2009). Ressalta-se que a abordagem dos estilos fluviais foi inicialmente aplicada às bacias costeiras de New South Wales – Austrália (BRIERLEY, FRYIRS, *et al.*, 2002). No Brasil alguns trabalhos também já adotaram este conjunto teórico-metodológico ao estudo das paisagens fluviais (CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009; SOUZA e CORRÊA, 2012; PEIXOTO, CESÁRIO, *et al.*, 2010; SOUZA, 2014).

Caracterização da Área de Estudo

A bacia do riacho do Saco está situada na microrregião do Pajeú, Sertão Central de Pernambuco, entre os municípios de Serra Talhada e Santa Cruz da Baixa Verde, possuindo algumas de suas cabeceiras nos municípios de Triunfo (PE), Manaíra e São José da Princesa, na Paraíba (Figura 1), perfazendo uma área de 142,5 km². O Riacho do Saco é um afluente do alto Rio Pajeú, que por sua vez deságua na porção sub-média do Rio São Francisco.

A bacia apresenta amplitude altimétrica de 700 metros (Figura 2), estando situada entre as cotas de 409 e 1118 metros. Essa diferença altimétrica, significativa para o contexto geomorfológico do Nordeste oriental, é controlada pelos elementos morfoestruturais regionais, tendo como principal feição geomórfica o maciço da Serra da Baixa Verde, intrusão sienítica, componente da superfície somital do Planalto da Borborema (CORRÊA, TAVARES, *et al.*, 2012) e a Zona de Cisalhamento de Serra Talhada, cuja escarpa delimitada pela mesma constitui o principal elemento controlador da amplitude altimétrica da bacia (CPRM, 2005c). A Serra da Baixa Verde atua como um divisor de águas entre Pernambuco e Paraíba, sendo que a bacia do riacho do Saco situa-

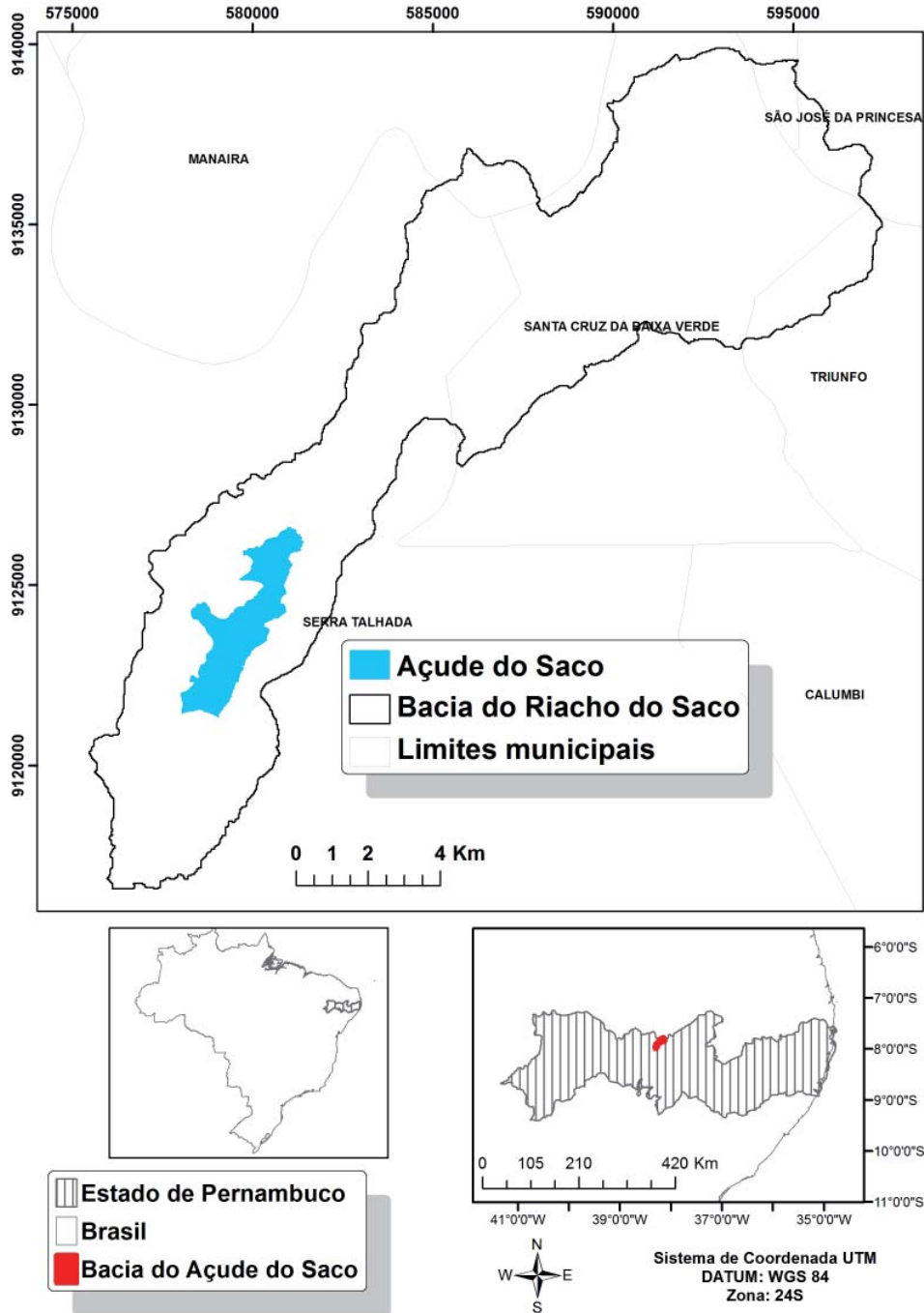


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do riacho do Saco.

-se na vertente pernambucana da serra e apresenta um arcabouço de fatores físicos e sociais homogêneos de representatividade regional.

O volume de precipitação na bacia está diretamente relacionado com a diferença altimétrica (639mm/ano para as áreas baixas e 1230mm/ano para as áreas altas), sendo controlado pela orografia e pela Zona de

Convergência Intertropical (MOLION e BERNARDO, 2002). Essas diferenças, altimétrica e climática, definem três unidades de paisagens distintas (Figura 2), uma abaixo dos 700 metros (Unidade Serra Talhada – UST); uma entre 700 e 900 metros (Unidade Santa Cruz da Baixa Verde – USCBV); e uma acima dos 900 metros (Unidade Cabeceiras de Drenagem – UCD).

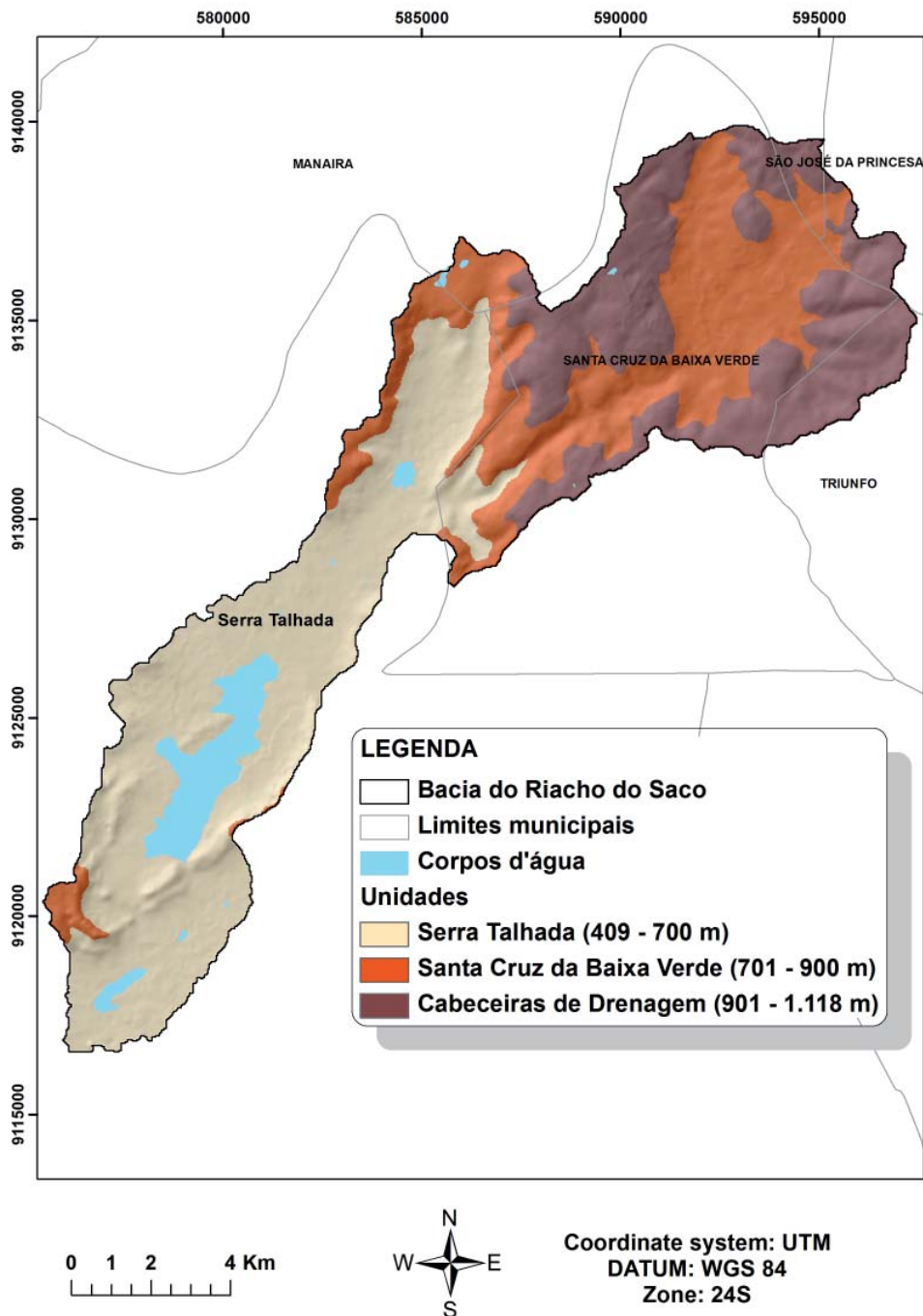


Figura 2 - Unidades de Paisagem da Bacia do Riacho do Saco

A diferença paisagística é refletida diretamente na vegetação e nos tipos de ocupação e uso na bacia (Figura 1). A vegetação responde diretamente à variação dos níveis de precipitação. Na UST predomina a vegetação de caatinga arbustiva (vegetação de tipo savana); na USC BV ocorre a transição entre a vegetação de caatinga arbustiva para caatinga arbórea, chegando a aparecer

espécies da floresta subcaducifólia. Já na UCD há a presença predominante de floresta subcaducifólia. A ocupação e o uso também acompanham as diferenças ambientais identificadas na bacia, no setor semiárido o uso predominante é a pecuária extensiva com a utilização do pasto nativo, e mais recentemente a agricultura irrigada e a piscicultura, atividades relacionadas com o

Açude do Saco, no centro da bacia. Já na área subúmida há um maior desenvolvimento da agricultura baseado na ocorrência de complexo entre cana-de-açúcar e policultura, com predomínio de feijão e milho. A diferença de ocupação define estágios diversos de conservação da vegetação nativa, onde na área úmida prevalece o desenvolvimento da agricultura, com uma considerável retirada da vegetação natural. Um exemplo da extensão da relação agricultura-degradação dá-se pela inexistência de áreas conservadas de floresta subcaducifólia nos setores mais elevados da bacia (SOUZA, 2011).

Materiais e Métodos

Com vistas a construir uma base especializada voltada para identificar a capacidade do sistema geomorfológico apresentar uma resposta sensível e complexa a uma dada mudança/distúrbio nos seus controles, ou seja, a própria a sensibilidade da paisagem (BRUNSDEN e THORNES, 1979) faz-se necessário, inicialmente, mapear e inter-relacionar as resistências do sistema.

Para tanto, o primeiro passo é identificar a resistência morfológica do sistema que pode ser resumida pela distribuição da energia potencial ao longo do mesmo. Para ambientes secos, a distribuição da energia potencial está diretamente relacionada à movimentação da água no sistema, e, portanto, diretamente ligada à força desse movimento e volume de água envolvido (BRUNSDEN, 2001). Assim, o volume de água disponível, para o trabalho geomorfológico, em cada ponto do sistema é resultado da área à montante do ponto, sendo a energia de transporte relacionada à declividade dessa área (RUSTOMJI e PROSSER, 2001).

A área à montante de um ponto do sistema, encosta ou canal, responderá por várias características do sistema, tais como o comprimento das encostas e a dispersão e concentração de energia determinada pela sua forma geométrica (*nose e hollow*). A análise desses parâmetros foi realizada mediante o uso da ferramenta *Flow Accumulation* do modo *Hidrology*, da extensão *Spatial Analyst Tools* do Arcgis 10.1. Tal ferramenta utilizou um MDE, baseado nos dados ASTER GDEM-2, para identificar o número de pixels que drenam para cada ponto do raster, onde quanto maior for o valor dado, maior será a área drenada para aquele ponto, ou seja, maior é o volume de água drenado. Já a energia foi obtida a partir do mapa de declividade. Posterior-

mente foram inter-relacionadas as duas informações e obtido o mapa de energia potencial, relacionado com a resistência morfológica.

O segundo passo é caracterizar o sistema, definindo a resistência de força/geológica e a resistência estrutural. A resistência de força é definida pelas características geológicas da área, podendo-se utilizar o mapa geológico das áreas com as litologias e as linhas de fraqueza (BRUNSDEN, 2001), assim identificando a resistência à erosão do substrato, como também as áreas geologicamente mais susceptíveis à erosão. Para tanto utilizou-se informações disponibilizadas pela CPRM e trabalhadas no Arcgis 10.1. Já a resistência estrutural foi analisada a partir da identificação das características ambientais, em especial aquelas com maior predisposição à mudança, como altas declividades e/ou solos susceptíveis à erosão. Ao mesmo tempo foram identificados os elementos que interrompem/dificultam a transmissão de energia pelo sistema, utilizando-se informações do mapeamento geomorfológico e do mapeamento de uso do solo, além de informações de campo (BARROS, SOUZA e CORREA, 2010; HARVEY, 2001). Para as áreas de encosta foram utilizados dados pedológicos advindos do mapeamento de solos de Pernambuco (EMBRAPA, 2000) cujas unidades foram subdivididas e detalhadas (SOUZA, 2013). Em virtude da metodologia empregada haver sido voltada especificamente para acessar a sensibilidade dos ambientes fluviais, principais áreas afetadas por modificações de transmissão, a resistência estrutural não foi avaliada.

A resistência de filtro foi analisada a partir do consumo e armazenamento de energia pelo sistema. Nesse caso, o enfoque voltou-se para o escoamento superficial das encostas e estocagem de água a partir de barramentos. Assim, o uso e a absorção foram tratados com base na evapotranspiração, e a estocagem de energia foi representada por meio da água infiltrada no solo e principalmente pela localização dos açudes. Os dados de escoamento foram obtidos do trabalho de Souza (2014), no qual foi utilizado um modelo de Balanço Hídrico Sequencial Diário, assim como as unidades hidrológicas, que resultaram da espacialização dos dados de escoamento. Com vistas ao escopo deste trabalho foram de especial importância as áreas com maior volume de escoamento. A metodologia utilizada abordou de forma integrada/sistêmica uma série de características ambientais, como por exemplo,

informações sobre vegetação, solo, morfometria do relevo, uso e ocupação, etc.

Por fim, a resistência de estado do sistema, relativa à sua evolução, ou seja, às suas características históricas, baseou-se na análise da cobertura da terra, vegetação e ocupação/uso antrópico, como também dos elementos naturais herdados e do histórico de eventos formadores que deixaram “marcas” na paisagem. O último ponto analisado foi a estabilidade/instabilidade atual do sistema, ou seja, se o mesmo está apresentando algum tipo de instabilidade ou se está em processo de reorganização interna. Assim, para avaliar essa resistência foram utilizadas informações sobre ocupação, geomorfologia e geologia, como também informações específicas obtidas em campo. As informações geomorfológicas e de ocupação/uso foram obtidas a partir de visitas a campo e pela análise de imagens de satélite.

Por fim, a análise da sensibilidade dos ambientes fluviais foi baseada em dados de mapeamento, classificação e caracterização dos estilos fluviais da bacia (SOUZA, 2014). A metodologia é baseada no levantamento de informações. Para caracterizar e mapear os estilos fluviais são necessárias informações sobre a morfologia do canal fluvial, as unidades geomórficas que compõem o ambiente fluvial (do canal e da planície de inundação), as características sedimentares, o regime de fluxo e a vegetação ripária (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). A identificação de estilo fluvial inicia-se a partir da definição do tipo de vale fluvial, e da possibilidade de extravasamento do fluxo, além de informações sobre a quantidade de canais, textura de leito e margens, sinuosidade, presença de unidades geomórficas específicas, entre outras informações. Após a definição dos diferentes estilos fluviais os autores selecionaram trechos representativos para cada tipo de estilo, e realizaram mapeamentos detalhados, além de uma matriz de informação contendo dados morfológicos e processuais de cada trecho, com foco no comportamento fluvial ao ser submetido a diferentes níveis de vazão (Brierley e Fryirs, 2005).

A partir da sobreposição dessas informações basilares, analisou-se a capacidade dos ambientes estudados ajustarem-se a determinada mudança (FRYIRS, SPINK e BRIERLEY, 2009). Tais ajustes encontram-se diretamente ligados à conectividade da paisagem e foram trabalhados nas dimensões verticais, laterais e de estilo. Ao mesmo tempo foram analisados dados

de campo e imagens QUICKBIRD (CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009; PEIXOTO, CESÁRIO, *et al.*, 2010) em busca de informações que corroborassem os dados sobre capacidade de ajuste.

Quanto mais diversa e profunda for a capacidade de ajuste de um ambiente/componente fluvial maior será sua sensibilidade, desse modo para a análise foi seguida a metodologia utilizada por Fryirs, Spink e Brierley (2009). Essa abordagem leva em consideração a extensão espacial e o tipo da mudança, podendo este tipo ser deposicional ou erosivo e apresentando-se nas dimensões; vertical, lateral ou de estilo. Desse modo analisou-se ainda quais elementos/características podem ser modificados e quais das retroalimentações geradas fornecem informações para a proposição de modelos de evolução.

Resultados e Discussão

Devido à falta de um critério específico para a gradação dos níveis de sensibilidade da paisagem para as áreas de encosta, optou-se por identificar sobre essas apenas as áreas de alta sensibilidade, sendo aquelas cuja maior parte das características ambientais aponta para alta sensibilidade. Apenas os canais tiveram sua sensibilidade detalhada por aplicação de metodologia própria. As informações das áreas de alta sensibilidade e da sensibilidade da drenagem foram espacializadas no mapa de sensibilidade da paisagem (Figura 3).

Entre os fatores controladores da sensibilidade para as encostas escolheu-se trabalhar com três elementos que afetam claramente a mudança da paisagem na bacia: resistência da superfície/solos, energia potencial e volume escoado. Dessa forma a sensibilidade das encostas foi definida a partir da intersecção de três elementos: as áreas geradoras de maior volume de escoamento por km²; as áreas com solo mais suscetíveis à erosão; e as áreas com maior energia potencial. As áreas geradoras de maior volume foram definidas a partir do mapa de escoamento por km² (SOUZA, 2014). A susceptibilidade dos solos à erosão foi obtida a partir do mapa de solos da bacia (SOUZA, 2013) e informações da EMBRAPA (2001). Já a espacialização da energia potencial foi calculada a partir do *raster* de declividade e do *raster* de fluxo acumulado, o qual identifica entre outros fatores encostas que atuam sobre a convergência do fluxo, concentrando-o, como as áreas de *hollows*. Após a espacialização dessas três informações foi utili-

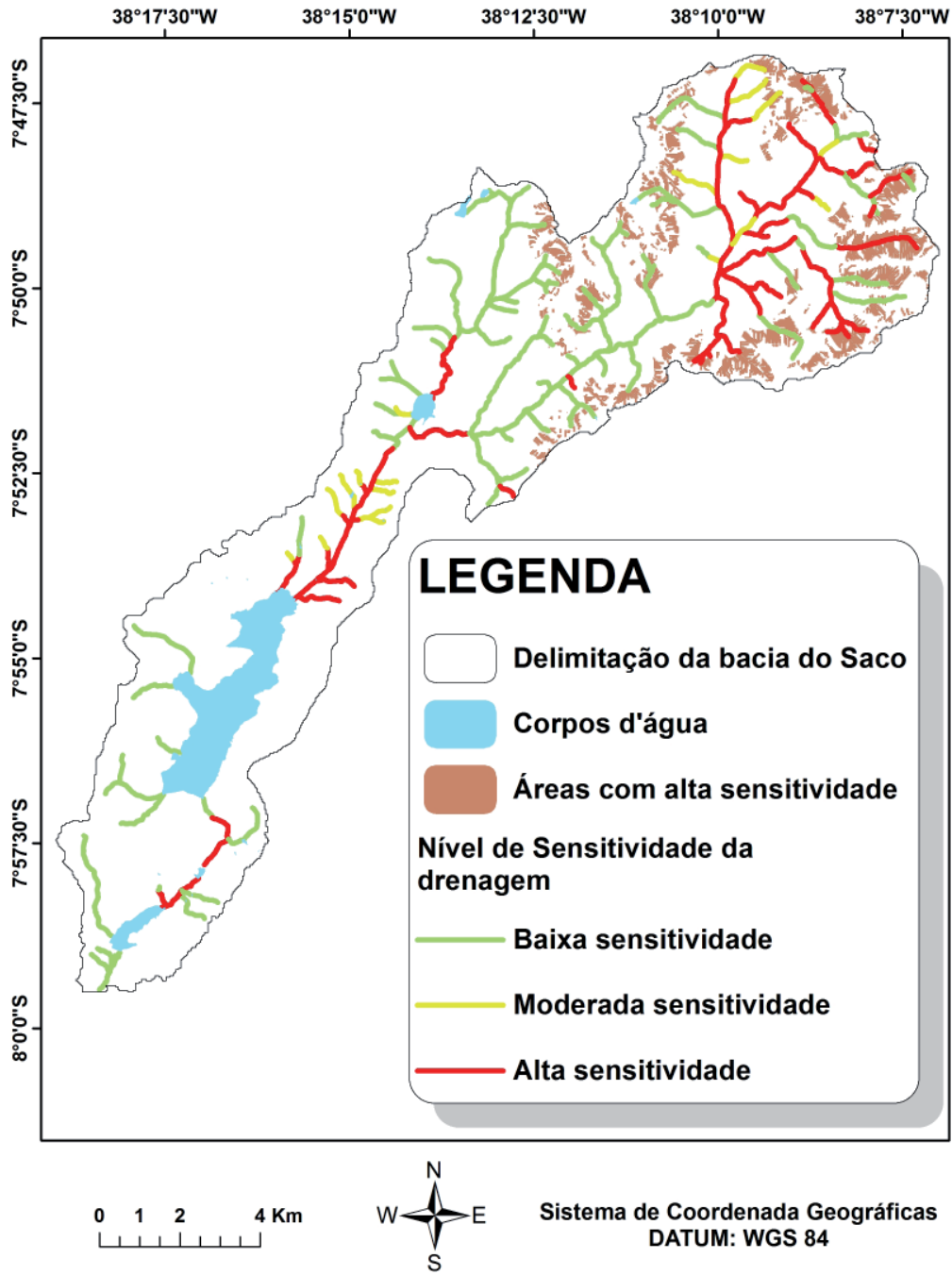


Figura 3 - Mapa da Sensitividade da Paisagem da bacia do riacho do Saco

zada a ferramenta *Intersect*, para identificar áreas onde sobrepõem-se as três características que indicam alta sensibilidade, definindo, assim, as áreas que apresentam alta sensibilidade a mudanças.

Como colocado anteriormente, a maior precipitação nas áreas mais elevadas da bacia permitiu uma expansão da ocupação agrícola nesses setores e conseqüentemente a substituição da vegetação nativa por pasto e culturas temporárias. De fato, sobre essas áreas

foram identificadas aquelas com alta sensibilidade. O aumento da precipitação em conjunto com a redução da cobertura vegetal resultou em um maior volume de escoamento, o qual se converte em energia para o processo erosivo, aliado à alta declividade e à ocorrência de solos susceptíveis. De forma geral, as áreas apontadas como encostas com alta sensibilidade, apresentam predisposição para o voçorocamento, sendo os eventos de movimento de massa um problema secundário.

Sinteticamente, as áreas que apresentam alta sensibilidade são caracterizadas por concentração de fluxo, cobertura coluvial arenosa em encostas côncavas, sem vegetação, e, muitas vezes, formação de voçorocas (Figura 4). Essas voçorocas, tratadas pela metodologia da sensibilidade da paisagem como ondas de agressão, podem ser isoladas ou formar redes radiais de erosão, se comportando como linhas de drenagem. A formação, reativação e/ou intensificação fornecem um grande volume

de sedimento para os canais à jusante, os quais nem sempre têm energia suficiente para evacuar os sedimentos, havendo, assim, o processo de preenchimento dos vales. Por outro lado, nas áreas mais baixas da bacia, onde predomina o clima semiárido, a prevalência do pasto natural em conjunto com o baixo volume de precipitação, mesmo em áreas de concentração de fluxo e cobertura superficial arenosa em encostas côncavas, diminui a probabilidade de mudanças, havendo predominância da erosão laminar.



Figura 4 - Voçoroca em encosta côncava e solo arenoso.

Souza (2014), encontraram oito tipos de estilos fluviais na bacia, a saber: cabeceira de drenagem, canal em garganta, canal entalhado em voçoroca, canal rochoso com planície descontínua, leque aluvial, canal arenoso descontínuo, vale preenchido conservado e canais artificiais. Para cada estilo os autores escolheram um trecho que apresentasse todas as características representativas do estilo, e para cada um desses trechos foi realizado um mapeamento de detalhe das formas fluviais, uma matriz

de informação (sobre as características, comportamento e unidades), perfis laterais e longitudinais médios e imagens da área.

A partir dessas informações foi possível identificar a capacidade de ajuste dos estilos fluviais e consequentemente a sensibilidade da paisagem dos canais. As informações foram analisadas sob três perspectivas: ajuste vertical, ajuste lateral, e ajuste de estilo (Tabela 1). A capacidade de ajuste é a possibilidade de um de-

terminado trecho do canal se modificar para absorver mudanças processuais, como aumento/diminuição do fluxo ou da oferta de sedimento. O ajuste vertical dá-se quando há modificação no leito do canal, como o soerguimento ou aumento da incisão no leito do rio; o ajuste lateral é a modificação nos limites laterais como

expansão ou contração das margens dos canais; por fim o ajuste de estilo reflete a possibilidade iminente de modificação de estilo; como é o caso dos vales preenchidos conservados, os quais a partir do processo de incisão podem vir a mudar de estilo, tornando-se, por exemplo, canais descontínuos.

Tabela 1: Sensitividade dos Estilos Fluviais. Identificando: o Estilo Fluvial, a representatividade da distribuição do estilo na bacia (em %), a capacidade de ajuste vertical lateral e de estilo; e apontando as principais possibilidades de ajustes.

Estilo Fluvial	Distribuição na Bacia	Capacidade de Ajuste				Principais tipos de ajuste
		Vertical	Lateral	Estilo	Sensitividade	
Cabeceira	32.9%	N	N	N	Baixa sensitividade	Sem ajustes
Voçoroca	9.4%	S	S	S	Alta sensitividade	Estabilização do processo erosivo. Aumento da incisão vertical, e/ou expansão lateral. Desenvolvimento de voçorocas secundárias/laterais.
Garganta	19.5%	N	N	N	Baixa sensitividade	Sem ajustes
Leque Aluvial	9.1%	L	L	L	Moderada (localizada)	Remoção do preenchimento do trecho final. Aumento da sedimentação no trecho final gerando aumento do nível de base e sedimentação remontante.
Vale Preenchido Conservado	6.5%	S	S	S	Alta sensitividade	Incisão no leito temporária ou prolongado (modificação de estilo).
Canal Descontínuo Arenoso	15.6%	S	S	S	Alta sensitividade	Incisão no leito ligando os trechos dos canais descontínuos de forma temporária ou permanente (modificação de estilo). Entulhamento dos canais descontínuos de modo temporário ou prolongado (modificação de estilo)
Canal rochoso com planície de inundação descontínua	5.2%	N	L	N	Baixa Sensitividade	Possibilidade de remoção ou expansão das planícies isoladas
Canal Artificial	1.8%	-	-	-	-	-

Os estilos nos quais o leito e a margem do canal são predominantemente rochosos, tais como cabeceira, garganta e leito rochoso com planície de inundação descontínua, apresentam baixa sensitividade devido à incapacidade de ajustes laterais e verticais. Desse modo a análise da sensitividade da paisagem nos ambientes fluviais concentrou-se naquelas áreas que têm como substrato imediato sedimentos fluviais e coluviais. Inicialmente torna-se imprescindível detalhar algumas características de cada um desses estilos fluviais sendo eles: Canal em Voçoroca, Leque Aluvial, Canal Descontínuo Arenoso, Vale Preenchido Conservado.

Nas regiões altas com densa cobertura coluvial Quaternária (CORRÊA, 2001) desenvolveu-se uma rede de voçorocas, onde algumas destas comportam-se como canais fluviais e apresentam centenas de metros de comprimento, chegando a mais de um quilometro em alguns casos. Essas apresentam tanto leito como margens arenosas, além da erradicação da vegetação nativa, o que impulsiona tanto os processos erosivos laterais quanto as incisões verticais. Deste modo, são ambientes que

se adaptam rapidamente a mudanças no escoamento de água, evoluindo basicamente a partir do aprofundamento da incisão vertical, além do solapamento das margens.

As áreas de leque aluvial apresentam sensitividade localizada em seus trechos aluviais, contudo para avaliar a sensitividade real dessas áreas é necessário analisar o controle da gênese desses depósitos de textura diversa. De forma geral, a deposição de sedimentos nesses trechos dá-se pela diminuição do gradiente do canal, contudo essa diminuição pode ser natural ou resultado do soerguimento antrópico do nível de base local, gerado pela construção de barramentos no canal, como barragens ou pontes subdimensionadas. Pelos sinais de adaptação/erosão encontrados nesses estilos fluviais, observa-se que as áreas onde o controle do gradiente é natural há espaço para adaptações desses trechos, seguindo um comportamento parecido com as áreas de processo de corte e preenchimento. Por outro lado, nas áreas onde o controle da diminuição do gradiente é de origem antrópica não foram observados sinais erosivos, apenas aumento da área do depósito com a possibilidade da subida do nível

de base do canal. Nesses trechos, apenas vislumbram-se processos erosivos caso haja uma alteração na estrutura construída, modificação na forma/magnitude da estrutura, ou a remoção da mesma.

Os estilos de Vale Preenchido Conservado e Canal Descontínuo Arenoso apresentam características semelhantes entre si, com a predominância do preenchimento do canal por sedimento, obliterando a presença de canal contínuo, sendo que no primeiro caso não há sequer a presença de incisões descontínuas. Esses estilos podem também apresentar pequenas distinções na textura. De forma geral, as áreas de Vale Preenchido conservados trazem uma menor proporção de areia e maior proporção de silte e argila; apresentando variação textural entre silte-arenoso e areia siltosa. Na área semiárida da bacia, apenas o estilo de Canal Descontínuo Arenoso aparece, por outro lado, na área subúmida ambos os estilos se alternam e têm sua gênese ligada a fases de corte e preenchimento dos sedimentos do vale fluvial. Ou seja, a evolução dessas áreas dá-se por fases onde há o preenchimento das cicatrizes erosivas por sedimentos e fases de incisões desses depósitos (BARROS, 2014)

Sobre essas unidades podem haver anualmente modificações pontuais nas características dos estilos, sem que haja necessariamente uma substituição para um novo estilo; sendo que a modificação de estilo só é considerada se o novo contexto estrutural for prolongado. Nota-se que os sinais de mudanças nos depósitos estão basicamente restritos às áreas de uso mais intenso, com a remoção da vegetação nativa e a implementação da agropecuária. Exemplificando, essas modificações temporárias podem ser observadas a partir de diferentes imagens de satélite de datas próximas entre si (Figura 5). De forma geral esse estilo é controlado por eventos de baixa magnitude que agem transportando sedimento para o vale, e como não conseguem superar o impedimento vão entulhando lentamente o canal. O momento de distúrbio é caracterizado pelos eventos de alta magnitude que poderão gerar pequenas incisões nos canais; as quais podem ou ser novamente preenchidas a partir de eventos de baixa magnitude ou, devido a uma maior incidência de eventos de alta magnitude, gerar uma incisão profunda conectando trechos de canais descontínuos possibilitando a estabilização de um canal bem definido.



Figura 5 - Processo de incisão e preenchimento de um vale preenchido

A figura 5 mostra 4 diferentes imagens de uma mesma área de uma Vale Preenchido Conservado. Inicialmente, em 2009 houve alguns eventos de distúrbio que geraram uma leve incisão inicial. Já na imagem de 2010 nota-se que após eventos de alta magnitude as incisões se aprofundam e aumentam em extensão. Após 2010 a região apresentou anos de menor volume de precipitação e menor incidência de eventos de alta magnitude, sendo predominantes eventos de baixa magnitude, o que gerou o progressivo preenchimento do canal, como pode ser visto nas imagens de 2013, em especial na última imagem onde a incisão já foi completamente preenchida. De forma geral, esse processo de incisão-preenchimento pode ocorrer nos outros estilos de vale preenchido, como é o caso dos canais descontínuos arenosos, sendo importante o monitoramento dessas áreas para verificar uma possível mudança consistente de estilo fluvial.

Considerações Finais

Na área de estudo observa-se um controle dos níveis de precipitação, conjuntamente com a erodibilidade/friabilidade da cobertura superficial da bacia, sobre as modificações morfológicas do relevo de curto prazo. Uma vez que a bacia não está sujeita a movimentos de massa extensivos, sua dinâmica superficial está diretamente ligada às áreas com cobertura sedimentar coluvial e aluvial. Contudo, a partir dos dados coletados resta claro que a predisposição natural à erosão/deposição está diretamente ligada ao histórico da bacia, em especial às modificações da cobertura vegetal nativa, visto que as marcas erosivas e ondas de agressão são mais prontamente identificáveis nas áreas onde a vegetação foi removida e substituída, principalmente, por pasto e cana de açúcar.

Igualmente constatou-se o impacto do aumento de umidade, a qual ao mesmo tempo define um aumento na espessura da cobertura superficial e possibilita um uso mais intensivo da terra, que resulta em remoções mais amplas da vegetação. Tal expansão de uso, é peculiar à dinâmica socioeconômica dos enclaves sub-úmidos do semiárido nordestino (BÉTARD, PEULVAST e SALES, 2007; SOUZA e OLIVEIRA), que representam ilhas de umidade em um contexto regional seco, constituindo peças-chave no processo de ocupação e na segurança alimentar e hídrica de suas regiões de influência. Deste modo, a cobertura superficial espessa e declividades

médias, em conjunto ao uso intensivo da terra define áreas de alta sensibilidade da paisagem, com a presença de ondas de agressão como as voçorocas que se apresentam como mecanismos de retroalimentação positiva, gerando por si mesmas instabilidades verticais e laterais. Ao mesmo tempo, em áreas de menor declividade as voçorocas podem apresentar extensão horizontal chegando a várias centenas de metros, e comportando-se hidrológicamente como canais de ordem 0. Essas chegam a constituir pequenas cabeceiras de drenagem, sobre as quais a população realiza intervenções próprias de canais fluviais, como barramentos para a captação de água.

Tal dinâmica superficial afeta diretamente os trechos aluviais onde há o preenchimento sedimentar do vale, identificados pelos estilos fluviais aluviais (Leque Aluvial, Canal Arenoso Descontínuo e Vale Preenchido Conservado). Tais trechos tendem a responder às modificações na dinâmica superficial das encostas, quando essas têm sua vegetação associada removida, podendo alterar fases de evolução por corte e preenchimento. Esse comportamento se repete em vários arranjos ambientais semelhantes pelo mundo como é o caso de áreas secas na Austrália (FRYIRS e BRIERLEY, 1999), na Espanha (HARVEY, 2012), e nos EUA (PHILLIPS e SLATTERY, 2006). A adaptação mais comum é o aumento da incisão vertical nos vales preenchidos, tanto em relação à profundidade do entalhe, mas principalmente quanto à continuidade dos canais incisos. Tal alteração gera a remoção dos sedimentos dos vales e está diretamente ligada ao aumento da velocidade e volume do escoamento superficial nas encostas e, conseqüentemente, ao aumento da vazão. Essas alterações podem ser temporárias devido à variabilidade, intra-anual e interanual hidrológica, como no exemplo da figura 5, ou pode caracterizar a mudança de estilo fluvial e a consolidação de canais contínuos que representam a remoção do material depositado, e principalmente o rebaixamento do lençol freático dos aquíferos aluviais. O rebaixamento do nível dos aquíferos aluviais atinge diretamente as comunidades em regiões secas (LOVE, ZAAG, *et al.*, 2011), visto que há a dependência, especialmente nos períodos secos, da água obtida a partir de poços rasos. Desse modo, o rebaixamento do nível da água é traduzido na diminuição da oferta de água para a comunidade. Tais informações podem auxiliar o gerenciamento de recursos hídricos, especialmente quando este é pensado de forma multi-escalar e dentro

da perspectiva de convivência com a seca, o que torna essas áreas pontos-chave para a conservação e monitoramento.

Essas considerações têm sua importância aumentada visto que o complexo ambiental e a organização de uso e ocupação da bacia são típicos para o semiárido nordestino, em especial para os enclaves sub-úmidos, áreas de grande importância econômica e ambiental para a região. Para as áreas elevadas há um forte apelo em relação ao uso agrícola da terra, visto que são bolsões férteis e com um balanço hídrico mais favorável do que as regiões predominantemente semiáridas em seu entorno; como pode ser visto na diferença de ocupação entre as diferentes áreas da bacia: semiárido com predominância de pecuária extensiva e pastagem natural; e o sub-úmido com agricultura mista.

Desta forma, o resultado principal da análise da sensibilidade da paisagem foi a geração de uma base de dados que possibilite a compreensão da mudança na estrutura ambiental da bacia. Tais informações são fundamentais para a criação de cenários futuros, com mudanças estruturais coerentes para o sistema geomorfológico em tela. A previsão de cenários futuros de mudanças ambientais é primordial para o planejamento/gestão ambiental, principalmente ao se trabalhar com modelos ambientais. Deste modo, as informações obtidas pelo desenvolvimento desse trabalho trazem indicações coerentes sobre as possíveis mudanças no comportamento da dinâmica superficial da bacia e as áreas mais suscetíveis às mesmas.

Referências Bibliográficas

- 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.
- BÉTARD, F.; PEULVAST, J. P.; SALES, V. C. Caracterização morfopedológica de uma Serra Úmida no semiárido do Nordeste Brasileiro: o caso do maciço de Baturité-CE. **Mercator**, v. ano 6 n 12, p. 107-126, 2007.
- 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.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford: Blackwell Publications, 2005.
- BRUNSDEN, D. Barriers to geomorphological Change. In: THOMAS, D. S. G.; ALLISON, R. J. **Landscape Sensitivity**. Chichester: John Wiley & Sons, 1993. p. 347.
- 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.
- 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. et al. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, n. 31 (1/2), p. 35-52, 2012.
- CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Serra Talhada, Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005c.
- EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2000.
- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. Slope-channel decoupling in Wolumla catchment, New South Wales, Australia: the changing nature of sediment sources following european settlement. **CATENA**, n. 35, p. 41-63, 1999.
- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. Naturalness and place in River Rehabilitation. **Ecology and Society**, v. 14 (1): 20, 2009.
- FRYIRS, K.; SPINK, A.; BRIERLEY, G. Post-European settlement response gradients of river sensitivity and recovery across the upper Hunter catchment, Australia. **Earth Surface Process and Landforms**, n. 34, p. 897-918, 2009.
- HARVEY, A. M. Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from Howgill Fells, north west England. **CATENA**, n. 42, p. 225-250, 2001.
- HARVEY, A. M. The coupling status of alluvial fans and debris cones: a review and synthesis. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, p. 64-74, 2012.
- KNOX, J. C. Agricultural influence on landscape sensitivity in

- the Upper Mississippi River Valley. **CATENA**, n. 42, p. 193-224, 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.
- 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.
- 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. 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.
- PHILLIPS, J. D. Sychonization and scale in geomorphic systems. **Geomorphology**, n. 137, p. 150-158, 2012.
- PHILLIPS, J. D.; SLATTERY, M. C. Sediment storage, sea level, and sediment delivery to the ocean by coastal plain rivers. **Progress in Physical Geography**, v. 30, 4, p. 513-530, 2006.
- RUSTOMJI, P.; PROSSER, I. Spatial patterns of sediment delivery to valley floors: sensitivity to sediment transport capacity and hillslope hydrology relations. **Hydrological process**, n. 15, p. 1003-1018, 2001.
- SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. Caldwell: The Blackburn Press, 1977.
- SOUZA, J. O. P. **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**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio ambiente. Recife, p. 169. 2011.
- SOUZA, J. O. P. Catenas e detalhamento expedito dos solos da bacia do Riacho do Saco. **Geosul**, v. 28, n. 56, p. 163-182, 2013.
- SOUZA, J. O. P. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido - bacia do açude do Saco, Serra Talhada, Pernambuco (Tese de Doutorado)**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 189. 2014.
- SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. **Mercator**, v. 11, p. 149-168, 2012.
- SOUZA, M.; OLIVEIRA, V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semiárido do Nordeste Brasileiro. **Mercator**, v. ano 5 n 09, p. 85-102.
- THOMAS, M. F. Landscape sensitivity in time and space - an introduction. **Catena**, v. 42, p. 83-98, 2001.
- 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.