
PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

**REVISTA DE GEOGRAFIA
(RECIFE)**

<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia>

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

REVISITANDO OS ALTOS PELADOS: DESERTIFICAÇÃO E OS PROCESSOS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIACHO GRANDE-PB

Antonio Carlos de Barros Correa¹, Ana Clara Magalhães de Barros², Joana D'Arc Matias de Almeida³

1 - Professor Dr. Departamento de Ciências Geográficas. Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: dbiase2001@terra.com.br

2 - Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: anaclarambarros@gmail.com

3 - Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: joanamatiias@gmail.com

Artigo convite - 40 anos do lançamento da obra Teoria e Clima Urbano do Professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro

RESUMO

Em 1982 o Professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro definiu uma área-tipo para aferição da desertificação no semiárido no Nordeste oriental e, a partir da sobreposição de dados realizou uma descrição vívida e humanista da degradação de terras no semiárido. Este trabalho buscou identificar em uma das unidades geossistêmicas definidas por Monteiro (1988), a Unidade Manaíra, evidências temporais da degradação das terras que possam servir como indicadores geomorfológicos para a ocorrência do processo de desertificação na área. Foram construídos mapas geomorfológicos e de cobertura da terra em sequência temporal. As formas de cobertura foram associadas ao mapa de unidades morfoestratigráficas, visando quantificar a dinâmica superficial predominante em cada tipologia. Uma classificação morfodinâmica do relevo foi proposta com base na sensibilidade aos processos erosivos e caráter das formações superficiais. Os resultados, embora limitados pela exiguidade de dados temporais em resolução adequada, apontam para o fato de que a expansão das classes de cobertura da terra com potencial para incrementar os processos de degradação da superfície tem ocorrido, sobretudo, sobre as unidades de maior sensibilidade erosiva. Ao longo das últimas quatro décadas, ocorreu uma expansão das formas de uso da terra que não favorecem o equilíbrio entre o balanço escoamento/infiltração, favorecendo o primeiro.

Palavras-chave: degradação de terras, morfoestratigrafia, semiárido do Nordeste do Brasil

REVISITING THE ALTOS PELADOS: DESERTIFICATION AND SURFACE PROCESSES IN RIACHO GRANDE WATERSHED

ABSTRACT

In 1982 Professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro defined a type study area in order to assess the occurrence of desertification in the semi-arid region of Northeast Brazil. Based on data overlapping data, the author conveyed a vivid and humanist description of land degradation within the area. This study sought to identify in one of the geosystem units defined at Monteiro (1988), the Manaíra Unit, temporal evidence of land degradation that could serve as a geomorphological indicator for the occurrence of desertification in the area. For this purpose, geomorphological and land cover maps were constructed for a temporal sequence. The types of land cover were associated with the mapped morphoestratigraphical units, in order to allow the quantification of the surface dynamics operating on each landform typology. A morphodynamic classification of landforms was proposed based on the degree of sensitivity to erosion and character of the surface formations. The results point to the fact that the

expansion of land cover classes with potential to increase surface degradation processes has occurred mainly on erosion sensitive units. In short, over the past four decades, there was a expansion of land use forms that do not contribute to a desirable flow/infiltration balance, favoring the former.

Keywords: land degradation, morphostratigraphy, semi-arid region of Northeast Brazil

INTRODUÇÃO

Em 1982 o Professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro (MONTEIRO, 1988) definiu uma área-tipo de estudo para aferição do fenômeno da desertificação no *core* semiárido no Nordeste oriental. O eminente geógrafo delimitou um retângulo de aproximadamente 50.000 Km² abarcando a zona limdeira entre os estados de Pernambuco, Ceará e Paraíba, de onde escolheu um recorte geossistêmico (Geossistema 12) marcado pela ocorrência de duas unidades geomorfológicas regionais sinteticamente definidas por Ab'Saber (1974) para o Nordeste semiárido, os Altos Pelados e as Malhadas. Com base na estrutura superficial da paisagem e prevalência de um signo processual, Ab'Saber define essas áreas como aquelas destituídas em grande parte do manto de alteração e cobertura nativa de caatinga (altos pelados), ocorrendo como uma unidade morfológica com padrão de dissecação colinoso, com topos largos; já as malhadas correspondentes aos pedimentos baixos genericamente recobertos por pavimentos detriticos de variadas espessuras, resultando do saldo erosivo do escoamento hortoniano, não canalizado, que carrega as frações finas para os canais efêmeros, deixando as baixas rampas recobertas de uma cascalheira in situ, dominada pelos seixos angulosos de quartzo.

Monteiro (1988) realizou uma imensa tarefa de sobreposição de dados físicos e culturais, que resultou em uma descrição vívida e humanista da degradação de terras no interior semiárido do Nordeste, ressaltando que a unicidade do processo analisado na área de estudo, torna-se ainda mais singular diante do caráter inconspícuo do recorte especial analisado, quando comparado a áreas ainda mais secas do Nordeste. De fato, a identificação dos índices de desertificação demanda o cruzamento de dados provenientes de diversas fontes de observação, mas todas as propostas classificatórias perpassam pela aferição de transformações substanciais na operação dos sistemas de superfície terrestre, quais sejam a perda das propriedades de nutrientes dos solos ou a intensificação dos processos erosivos. Desta forma, o componente geomorfológico desta aferição recai na identificação temporalmente continuada e espacialmente consistente dos processos de retirada de sedimentos dos domínios interfluviais da paisagem pelos agentes lineares, laminares e sub-superficiais de erosão.

Diante do exposto acima, este trabalho buscará identificar em uma das unidades

geossistêmicas definidas por Monteiro (1988), a Unidade Manaíra, vizinha à unidade analisada pelo autor, evidências temporais da degradação das terras que possam servir como indicadores geomorfológicos para a ocorrência do processo de desertificação na área. Ressalta-se que os aspectos geomórficos desta Unidade são significativamente similares aos encontrados por Monteiro (1988) em sua Unidade 12, com predomínio dos maciços residuais entalhados pela drenagem, bem como das superfícies colinosas dissecadas com topos entre 550 e 600 metros de altitude, além de rampas pedimentares curtas entre a base das encostas e os canais fluviais, com recobrimento detrítico, as malhadas.

Desertificação e degradação de terras

Desertificação é um termo utilizado para designar a degradação de terras, provocada por práticas não sustentáveis de uso da terra, em áreas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas (MIDDLETON & THOMAS, 1997). As regiões hiper-áridas em geral não são designadas como susceptíveis à desertificação, uma vez que seu estado ambiental deriva das suas condições naturais extremas, como no caso dos desertos. Embora existam muitas definições de desertificação, algumas inclusive aplicadas à degradação de terras fora do domínio dos climas secos, há um consenso internacional para restringir a aplicação do termo as áreas definidas pela Convenção de Combate à Desertificação da ONU (CCDNU) às áreas secas susceptíveis à degradação, a despeito do estágio de desenvolvimento econômico do país atingido pelo processo.

Segundo Goudie & Viles (2010) o termo desertificação foi primeiramente utilizado por Aubreville (1949), ao se referir ao impacto ambiental criado pela remoção de florestas na África ocidental, que na opinião do autor levaria à criação de um deserto ecológico. No entanto, o termo foi resgatado a partir da década de 1970 com aplicação para descrever as grandes secas que acometeram o Sahel – a margem meridional do deserto do Saara - naquele momento, resultando em um sensível declínio da biomassa, fome generalizada, perdas de animais e de vidas humanas. As causas e mesmo o uso do termo desertificação são complexos, não se devendo deixar ter em mente que mesmo uma prolongada seca de origem natural pode exercer pressões negativas sobre os sistemas sociais e agrários e, por seu turno, conduzir a uma maior degradação das terras.

Com base em sua definição conceitual, a desertificação engloba tanto aspectos

ambientais quanto sociais. Sua dimensão social está relacionada às pressões e processos que levam as pessoas a utilizar os recursos naturais de forma a degradar o suporte físico de uma paisagem. Assim, as medidas de mitigação do processo passam sempre pela compreensão das circunstâncias econômicas que levam populações a praticar formas de uso da terra que conduzam à degradação. Não obstante, as dimensões ambientais da desertificação também são importantes, e dizem respeito aos processos físicos, antropicamente induzidos, que levam à degradação, e que são diferentes daqueles resultantes da variabilidade ambiental/climática inerente aos climas secos. Esse aspecto é de fundamental importância para a definição do problema, sobretudo porque é relativamente fácil confundir a alternância natural dos estados da vegetação e dos solos, em resposta à variabilidade da precipitação nas terras secas, com mudanças induzidas pelas ações antrópicas sobre a paisagem (THOMAS, 1994). Esse tipo de dificuldade de interpretação e identificação do fenômeno da desertificação por conduzir à sobreestimação de sua ocorrência em áreas onde as variações intra-anuais e inter-anuais do ritmo climático resultam em respostas marcantes de elementos de cobertura da terra como vegetação e cultivos, comumente utilizados como produtores de índices de estabilidade/instabilidade da paisagem em face da precipitação.

Desertificação e os processos de superfície de paisagem

Os processos físicos ligados à desertificação englobam a erosão e perda de nutrientes do solo, assim como perda das águas sub-superficiais, redução da capacidade produtiva e biomassa da cobertura vegetal. No entanto, são os solos que fornecem um enquadramento geomorfológico à desertificação, sendo que a perda do potencial produtivo ocorre tanto pela erosão hídrica, ou eólica, quanto pelas mudanças internas da cobertura pedológica, de caráter físico e químico, tais como a compactação, salinização e perda de nutrientes. Neste sentido vale a pena ressaltar que os solos de ambientes secos são delgados, apresentam baixas taxas de formação/evolução devido à limitada oferta hídrica para o intemperismo, além de baixo teor de material orgânica. Alguns contextos geomorfológicos, no entanto, podem apresentar perfis mais espessos, como os fundos de vale e sopés de encostas onde o aporte hídrico sazonal pode ser maior que nos interflúvios. Contudo, no geral, as taxas de recuperação desses solos, uma vez degradados, é geralmente lenta.

Muito tem sido dito sobre se a resposta das formações vegetais aos episódios de seca intensa, não acompanhados de significativas mudanças da cobertura pedológica, pode ser

tratada como desertificação (GOUDIE & VILES, 2010; GOUDIE, 1993). Esses debates são particularmente importantes para a compreensão da morfogênese em sistemas semiáridos, tidos como naturalmente em “não-equilíbrio”, logo jamais atingindo um estado de “estabilidade”, tanto na escala temporal quanto espacial (BRACKEN & WAINWRIGHT, 2006). De fato, alguns autores asseveram que um contínuo dinamismo natural que empurra o sistema para longe do equilíbrio seria uma característica inerente ao comportamento processual-geomorfológico das terras secas (MISTRY, 2000).

As formações vegetais nas terras secas são geralmente resilientes e ajustadas às perturbações, exibindo rápidas taxas de recuperação, assim sendo o impacto natural das secas sobre a cobertura vegetal é particularmente difícil de ser separado daqueles decorrentes do impacto humano, e o mesmo pode ser dito sobre a resposta da cobertura pedológica em relação a esses dois fatores estressantes (DOUGILL *et al.* 1999). Não obstante, a erradicação da cobertura vegetal por práticas não sustentáveis de uso da terra desencadeará processos erosivos intensos que em última instância resultariam em processos de desertificação.

Os processos erosivos que conduzem à desertificação são relativamente óbvios de serem detectados em campo e em imageamento remoto. O potencial de degradação é maior sobre sedimentos inconsolidados como os depósitos alúvio-colúviais comuns no semiárido do Nordeste do Brasil e nos ambientes de encostas, onde boa parte desses depósitos são encontrados. Por outro lado, as mudanças que ocorrem dentro dos perfis de solos não são facilmente perceptíveis, sobretudo aquelas antropicamente induzidas, com provável exceção da salinização, como ocorre em solos aluviais em muitos contextos de projetos de irrigação no Nordeste do Brasil. Da mesma forma, o excesso de irrigação pode levar ainda à compactação e formação de crostas por estagnação da água no solo em situações de drenagem insuficiente. Dessa forma a perda gradual de nutrientes ou da estrutura do solo, associada ao processo de degradação antrópica das coberturas pedológicas das terras secas apenas se reflete indiretamente nos processos erosivos, sobretudo quando da remoção da cobertura vegetal para abertura de novas áreas para o cultivo.

Do ponto de vista geomorfológico não há métodos específicos, mediados por geotecnologias, que possam determinar com acurácia a ocorrência dos processos de desertificação. Para uma abordagem inicial, o sensoriamento remoto revela-se extremamente útil para detectar mudanças na cobertura vegetal, separando as flutuações temporais decorrentes

das variações temporais cíclicas da precipitação daquelas resultantes do impacto humano (TUCKER *et al.* 1991). Contudo, mesmo as imagens com elevada resolução espacial não conseguem detectar com a precisão necessária aspectos da erosão do solo e, muito menos, aspectos internos de sua degradação (GOUDIE, 1993). Assim, sob o ponto de vista estritamente geomorfológico, as estimativas de alcance especial da desertificação ainda são bastante incertas e sujeitas a debates (THOMAS, 1994).

A partir deste ponto de vista, os trabalhos de campo e a observação *in situ* são fundamentais para definir empiricamente os processos envolvidos na degradação da estrutura superficial da paisagem, devendo ser acrescido das observações das séries temporais de imageamento e dos dados temporais de precipitação com vistas a estabelecer uma base metodológica mais rigorosa para a aferição dos elementos de controle dos processos superficiais. Da mesma forma, as amostras da cobertura pedológica devem estabelecer desvios entre os parâmetros analisados para as áreas potencialmente impactadas e parcelas controle, onde as condições sejam consideradas as mais próximas dos originais, anteriores às mudanças antropicamente induzidas.

Praticamente qualquer tipo de uso da terra nas regiões áridas e semiáridas como o Nordeste do Brasil tem o potencial de conduzir à desertificação, sobretudo se a estrutura superficial da paisagem é particularmente vulnerável, como no caso das planícies aluviais e alguns contextos de encostas com cobertura coluvial. Entretanto, em geral as principais formas de uso da terra que resultam em degradação são a agricultura, os projetos de irrigação, a pecuária e a retirada da cobertura vegetal.

O sobrecultivo é geralmente apontado como o principal desencadeador dos processos de desertificação, sobretudo quando ocorre a depleção sistemática dos nutrientes do solo. Da mesma forma, a tentativa de aumentar a produtividade por meio da mecanização pode levar à compactação, aumento do escoamento superficial e erosão acelerada durante os eventos chuvosos de alta intensidade que normalmente impactam as áreas secas.

Os projetos de irrigação com seus canais de redistribuição de água e reservatórios, ou pelo uso dos sistemas de pivô central podem conduzir à desertificação por sobreirrigação – uso excessivo d'água – que leva à salinização. As altas taxas de evapotranspiração nas terras secas significam que o excesso de irrigação pode conduzir à pronta acumulação de sais no solo, que

ao romper a estrutura dos agregados tornam o material mais vulnerável à erosão hídrica e ao impacto direto das gotas de chuva. A sobreirrigação é geralmente detectada quando o excesso de água acrescido ao solo eleva permanentemente o lençol freático.

No caso dos Altos Pelados estudados por Monteiro (1988) as terras desprovidas de solos espessos e com intensa dissecação fluvial foram tradicionalmente destinadas à pecuária extensiva, com os cultivos ocupando unicamente os pequenos bolsões de planícies aluviais e sopés das encostas coluviais. Contudo, a pecuária extensiva de caprinos e bovinos, como na região de estudo, se encontra dentro as principais causas da desertificação no trópico semiárido. O sobrepastoreio altera composição das comunidades vegetais, além de reduzir a cobertura vegetal em geral, aumentando a susceptibilidade do solo à erosão. Não obstante, o papel do sobrepastoreio na desertificação é complexo e controverso, uma vez que as mudanças na cobertura vegetal não implicam diretamente na depleção das propriedades dos solos, podendo ser revertidas ao longo do tempo, além do que é importante ressaltar que a caatinga, assim como outras associações xerofíticas, pode ser altamente resiliente.

O desmatamento nas terras secas está associado à abertura de terras para o cultivo, além da coleta de lenha para uso doméstico, como soe acontecer no contexto agrário tradicional do Nordeste do Brasil. O maior impacto do desmatamento sobre a desertificação se dá nas encostas íngremes, onde a declividade associada à perda da cobertura vegetal incrementa os processos erosivos.

Desertificação e geomorfologia

Do ponto de vista morfodinâmico a desertificação envolve diversos processos que servem como indicadores da ocorrência do processo em si, e que podem ser utilizados para a sua monitoração. Como asseverou Monteiro (1988) em suas observações nos “Altos Pelados” da área core do semiárido do Nordeste oriental, a degradação ecológica desencadeia e acelera a atividade geomorfológica, sobretudo no que diz respeito aos processos de alteração e erosão dos solos, bem como o transporte e a acumulação de sedimentos. Essas alterações do relevo e da cobertura pedológica resultam em mudanças hidrológicas que desencadeiam efeitos negativos sobre a produtividade das terras. Assim, tanto os processos geomorfológicos quanto os de desertificação estão profundamente interligados, ao ponto de ser difícil diferenciar as causas dos efeitos.

Assim, do ponto de vista da geomorfologia, três aspectos importantes da ação do clima devem ser considerados por sua interação direta sobre os processos de degradação dos solos em áreas semiáridas: i) qualquer decréscimo que possa ocorrer nos totais anuais de precipitação; ii) a duração dos eventos de precipitação; e iii) qualquer aumento nos intervalos entre eventos chuvosos (LAVEE *et al.* 1998). Esses fatores, em consonância com o aumento da temperatura, levam à redução na disponibilidade hídrica, diminuição da biomassa e do conteúdo de matéria orgânica no solo, como a consequente destruição dos agregados e resistência do solo à erosão. Como consequência, a permeabilidade do solo é reduzida, crostas superficiais se desenvolvem e as taxas de infiltração são drasticamente afetadas. Mudanças na cobertura vegetal e na estrutura dos solos resultam no aumento do escoamento superficial e erosão dos horizontes superficiais mais férteis dos solos. Mecanismos de feedback positivo podem reforçar esses mecanismos aumentando o risco de desertificação.

Esse artigo se propõe então a investigar as relações entre o comportamento da cobertura da terra e as respostas geomorfológicas identificáveis na superfície de uma bacia hidrográfica contida pelo Geossistema Manaíra (Monteiro, 1988). Admite-se que a morfodinâmica inerente a cada unidade do relevo local corresponde a um conjunto de processos erosivos. Assim, as formas de cobertura da terra atuam sobre a disponibilidade de áreas desnudas ao impacto direto da chuva, o que permite a designação, por meio de levantamento em bases cartográficas digitais, das unidades morfoestratigráficas afetadas dentro de um dado recorte temporal.

Em face dos objetivos enunciados, a premissa norteadora que atua como fio condutor entre a geomorfologia e os estudos de desertificação necessariamente aponta para o aumento das formas de cobertura da terra que evidenciem perda de anteparo vegetal, aumento da exposição do solo e mudança nas fitofisionomias das formações vegetais no sentido do incremento das formações abertas e herbáceas, em detrimento das outras associações. Ressalta-se que as morfologias processuais, quais sejam derivadas do fluxo concentrado laminar ou linear não restam identificáveis à escala das imagens Landsat.

A ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia do riacho Grande, inserida em um dos Geossistemas trabalhados por Monteiro (1988), o Geossistema Manaíra. Com uma área de 193,8 km², a bacia abrange majoritariamente o município de Manaíra com trechos em

municípios vizinhos, todos no Sertão Paraibano (Figura 1). Suas principais áreas de cabeceiras se encontram no maciço da Serra da Baixa Verde, importante divisor regional entre as bacias do rio São Francisco e Piancó. Situada ao norte do maciço, a bacia compõe uma das sub bacias do rio Piancó e o riacho Grande constitui-se um de seus principais tributários.



Figura 1 - Localização da área de estudo. Fonte: Os autores

Com relação ao contexto geológico, a bacia do riacho Grande se encontra totalmente inserida nos domínios da chamada Zona Transversal da Província Borborema, cujos limites norte e sul são dados pelos lineamentos Patos e Pernambuco (CORREA *et al.*, 2010; BRITO NEVES, 2005). O embasamento geológico da bacia é composto por granitoides da Suíte Intrusiva Triunfo e Itaporanga (Neoproterozóico) e pelo complexo Riacho Gravatá (CPRM, 2014). Nestes domínios destaca-se uma série de intrusões sieníticas que constituem o enxame de diques de Manaíra-Princesa Isabel, descrito por Mejiá (2008) e Hollanda (2010).

O maciço da Serra da Baixa Verde representa um corpo intrusivo sienítico (Plúton Triunfo) que se sobressai na paisagem atingindo cotas superiores a 1.100m, enquanto as faixas metavulcânicas e metassedimentares que constituem o complexo Riacho Gravatá estão

expressas na paisagem pelos relevos em cristas e vales alongados, dada à intensa dissecação diferencial. Ambos os domínios possuem uma orientação geral NE-SW, em consonância com os *trends* regionais, como as Zonas de Cisalhamento sinistrais que cortam a Zona Transversal, sobretudo pela Zona de Cisalhamento Serra Talhada-Manaíra e Serra do Caboclo (CPRM, 2014; TAVARES, 2015).

O maciço da Serra da Baixa Verde apresenta-se como um maciço residual bastante dissecado e constitui a principal fonte de sedimentos da bacia, onde é notável a remoção dos mantos de intemperismo e deposição de colúvios nas médias e baixas encostas. A transição entre o maciço e a Depressão Sertaneja, perfazendo uma diferença altimétrica de cerca de 600m, é distinguida pelo contato entre o sienito e as rochas metamórficas que estruturam as faixas de dobramento circundantes (TAVARES, 2015; CORREA, 2001) estas, apresentam-se como linhas de cristas e vales em “V”. Entre o maciço sienítico e as faixas metamórficas, encontra-se um patamar aplainado, onde as pequenas concavidades topográficas que marcam os *knick-points* se encontram preenchidas por sedimentos quaternários.

Sob as condições atuais, a precipitação anual na área oscila entre 600 e 800 mm, apresentando grande variabilidade interanual. Estas ocorrem concentradas no final do verão a meados do outono e são majoritariamente associadas com chuvas convectivas decorrentes do deslocamento da ZCIT para sul (PETERSON & HAUG, 2006). Outros mecanismos produtores de chuva como linhas de instabilidade e células de convecção de mesoescala operam em uma escala menor, mais local, embora diretamente subordinadas aos pulsos da ZCIT (PETERSON & HAUG, 2006). Entre as maiores interferências neste movimento de descida da ZCIT para sul, a mais largamente reconhecida por causar o início de secas severas no Nordeste do Brasil são aquelas relativas a episódios quentes do ENOS (El Niño Oscilação Sul). A ausência de condições como as de El Niño, por sua vez, favorece a ocorrência chuvas normais ou acima do normal na área de estudo (HAYLOCK *et al.*, 2006). Portanto teleconexões importantes existem entre eventos de El Niño moderados a severos no Pacífico Sul e secas generalizadas neste setor do Nordeste continental (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Souza (2011) observou que a variabilidade das precipitações na região está associada ao controle exercido pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) concomitante com outros sistemas sinóticos, como o Vórtice Ciclônico de Atmosfera Superior (VCAN), atuando no mês de janeiro, e os Complexos Convectivos de Mesoescala (COM). As oscilações também referem-se a ocorrência do ENOS e do Dipolo do Atlântico Sul, modificando o volume interanual de precipitação da região.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a confecção de mapas de cobertura da terra em uma sequência temporal observando os intervalos de tempo com dados imagéticos disponíveis, foram selecionados os anos de 1985, 1999 e 2013. As imagens foram selecionadas após a finalização da estação chuvosa de anos úmidos das últimas quatro décadas tomando por base a ocorrência do evento La Niña de intensidades variadas, a saber: intermediária (1985), forte (1999) e fraca a neutra (2013) (NOAA, 2016). Essa escolha deve-se ao fato de buscar-se evitar os anos associados à ocorrência de secas severas de forma a não prejudicar a análise dos tipos de cobertura da terra, sobretudo evidenciando a expansão das áreas de abandono sazonal de cultivo.

Foram utilizadas imagens da série LANDSAT disponíveis para cada ano, de modo que foram trabalhadas imagens dos satélites LANDSAT 5, LANDSAT 7 e LANDSAT 8, com resolução espacial de 30 metros. As imagens LANDSAT 8 contam com uma banda pancromática de 15 metros, o que possibilitou a melhoria de sua resolução através da fusão das imagens. As cenas escolhidas foram de 18 de novembro para o ano de 1985 e de 30 e 28 de setembro para os anos de 1999 e 2013, respectivamente, de ponto e órbita 65/216. As imagens LANDSAT 5 e 7 foram trabalhadas na composição 321 e a imagem LANDSAT 8 na composição 432, correspondentes à cor natural.

A classificação de categorias de cobertura da terra foi feita com base na proposta da FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2005), que visa alcançar uma abrangência não verificada em uma gama de sistemas de classificação de cobertura da terra, onde as classes de cobertura foram desenvolvidas para propostas ou escalas específicas (FAO, 2005). De acordo com esta proposta a composição de cada classe é definida pela combinação de um conjunto de atributos diagnósticos independentes, de modo que o aumento no detalhe na descrição de um atributo está relacionado com o número de classificadores utilizados (FAO, 2005).

As formas de cobertura da terra, resultantes da análise acima descrita, foram associadas ao mapa de unidades geomorfológicas da bacia, com vistas a permitir a quantificação da dinâmica espacial de cada tipologia em virtude de sua associação a uma determinada unidade de relevo com maior ou menor sensibilidade aos processos erosivos.

O mapeamento geomorfológico foi confeccionado a partir de imagens ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com resolução espacial básica de 30m, seguindo as normas estabelecidas pela UGI, como detalhado em Demek (1972).

Deste resultou a elaboração de uma matriz de dinâmica processual de cada unidade em função de suas características morfológicas e morfoestratigráficas, com ênfase para a ocorrência de tipos de processos erosivos em diversas intensidades.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As unidades morfoestratigráficas e os topoclimas da bacia hidrográfica, associados a formas de uso da terra, controlam diretamente sua morfodinâmica e estabelecem uma gradação entre os compartimentos com maior ou menor grau de instabilidade geomorfológica frente aos processos erosivos e de degradação do solo (Figura 2, Tabela 1). Inicialmente, os *inputs* de energia erosiva são controlados pela própria presença do maciço estrutural, com cimeiras acima dos 1.100 metros, e relevo relativo da ordem de até 700 metros, o que desencadeia um marcado efeito orográfico sobre as precipitações. Essa diferença altimétrica resulta em totais acumulados de chuva com gradiente crescente encosta acima, e valores que oscilam entre 600 a mais de 1.100 mm/ano das depressões circundantes ao topo da serra.

A estrutura superficial da paisagem, por seu turno, também acompanha a disponibilidade de umidade e energia erosiva ao longo dos andares topográficos da bacia. Assim, a distribuição de solos residuais e rampas de colúvio areno-argilosas a cascalhosas associa-se aos patamares mais elevados e chuvosos do relevo. As coberturas pedológicas da cimeira são em geral imaturas e delgadas (< 2 m de espessura), com associações que alternam perfis de neossolos litólicos a neossolos câmbicos até as rupturas de gradiente que marcam o início do compartimento de encostas.

O compartimento de encostas é subdividido em duas sub-unidades, de montante para jusante, sendo o primeiro marcado pelo acúmulo de sucessivas rampas de colúvio majoritariamente holocênicas (AMORIM, 2015; CORRÊA, 2001). Esses sedimentos apresentam-se assentados discordantemente sobre perfis truncados de isalterita ou sobre a própria rocha fresca. No entanto, a exiguidade de materiais disponíveis para a erosão (mantos de intemperismo e colúvios delgados) resultam em uma substituição das encostas coluviais para encostas destituídas de coberturas sedimentares à medida que se avança em direção ao nível de base local da bacia. Esta passagem é marcada pela presença de rupturas de gradiente, knick-points, geralmente sob a forma de soleiras rochosas, que atuam aprisionando os materiais sedimentares a montante. Os setores mais baixos das encostas são marcados pela presença de coberturas pedológicas residuais com associações de neossolos litólicos a luvisolos crômicos

no limite com as unidades pedimentares. A morfodinâmica contemporânea é modulada pela declividade e disponibilidade de materiais para a erosão, sendo a unidade à montante, encosta com cobertura coluvial, a mais prontamente atacada pelos processos superficiais em toda a bacia.

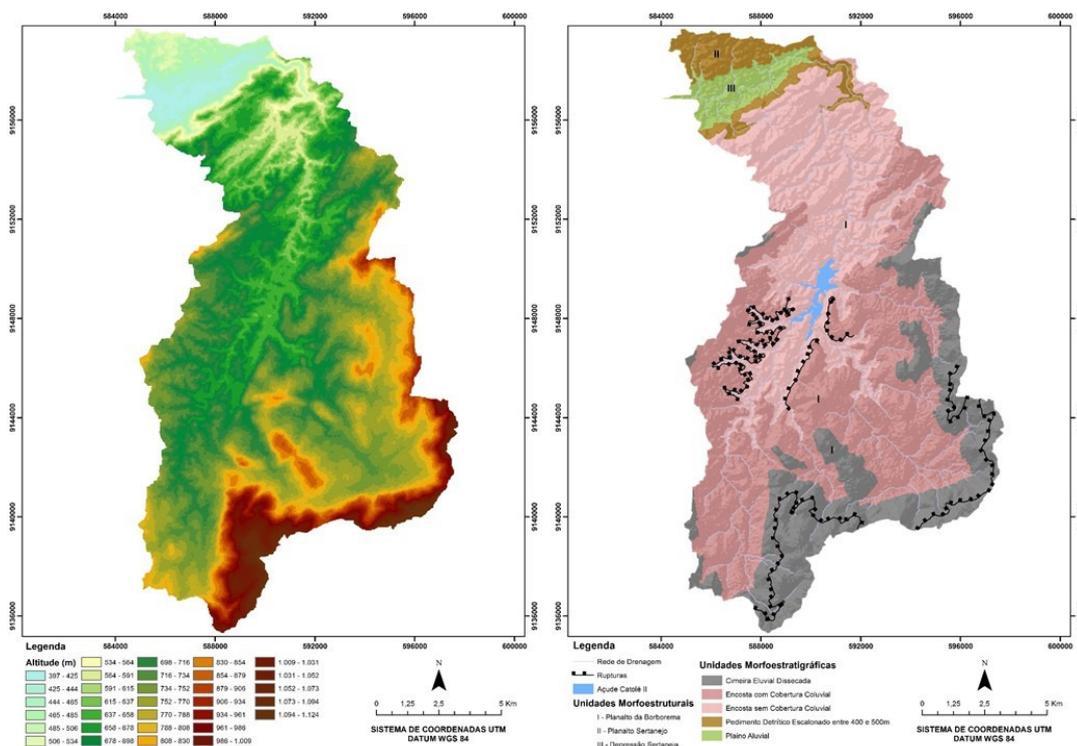


Figura 2 - Mapas Hipsométrico e Geomorfológico da bacia do riacho Grande. Fonte: Os autores

A mudança de declividade, comandada pela sucessão de knick-points que delimitam o relevo escarpado das encostas maciço, dá lugar, à jusante, a um conjunto de formas em rampa, com menos de 7 graus de inclinação, cobertura residual detritica marcada pela pedregosidade superficial recobrando perfis rasos de neossolos litólicos a luvisolos crômicos. Essa unidade, os pedimentos detriticos dissecados, apresenta-se entrincheirada pelos trechos finais dos canais que demandam o plano aluvial do riacho Grande, apresentando entalhamentos de até uma dezena de metros e drenagens confinadas.

O nível de base local da bacia é marcado por um plano aluvial de direção geral E-W para onde converge a sedimentação oriunda dos canais de menor ordem, resultando na acumulação de *flood-outs* (leques terminais), que colmatam um plano largo com aluviões arenosos, cujos limites laterais se apresentam bem marcados pela mudança de gradiente da unidade dos pedimentos dissecados.

Tabela 1 - Unidades Morfoestratigráficas e Morfodinâmica correspondente.

UNIDADES MORFOESTRATIGRÁFICAS	MORFODINÂMICA
Encosta com Cobertura Coluvial	Declives fortes, cobertura coluvial, processos erosivos lineares associados a atividades antrópicas, canais não confinados, presença de vales entulhados não canalizados;
Encosta sem Cobertura Coluvial	Declives fortes cobertura eluvial pouco espessa, processos erosivos laminares, pavimento detrítico, canais confinados e semi-confinados;
Cimeira Eluvial Dissecada	Declives moderados, cobertura eluvial, processos erosivos lineares abundantes associados à atividade antrópica, canais não confinados;
Pedimento Escalonado Detrítico entre 400 e 500m	Declives moderados, cobertura eluvial pouco espessa, processos erosivos laminares, canais confinados com leito rochoso;
Plaino Aluvial	Declives suaves, cobertura aluvial, processos erosivos laminares e lineares, ravinamentos nas margens, canais não confinados com enchentes anuais ou decadais.

Fonte: Os autores

Tratando-se de uma bacia planáltica de baixa ordem no sistema hidrográfico regional, o riacho Grande encontra-se assentado majoritariamente sobre as unidades de morfodinâmica mais intensa do maciço. Em considerando-se todos os elementos morfométricos, estrutura superficial da paisagem e de cobertura de terra quase 70% da área da bacia situa-se sobre as encostas com e sem cobertura coluvial, que por si só correspondem aos compartimentos onde os processos superficiais são intensamente redinamizados em função de suas características geomorfológicas intrínsecas além da magnitude dos inputs climáticos (Tabela 2, Figura 3).

Tabela 2 - Distribuição percentual da área da bacia do riacho Grande sobre as unidades morfoestratigráficas

PERCENTUAL DE UNIDADES MORFOESTRATIGRÁFICAS NA BACIA DO RIACHO GRANDE		
UNIDADE MORFOESTRATIGRÁFICA	ÁREA EM KM ²	PERCENTUAL
ENCOSTA COM COBERTURA COLUVIAL	78,52	40,51
ENCOSTA SEM COBERTURA COLUVIAL	55,31	28,54
PEDIMENTO DETRÍTICO ESCALONADO	10,2	5,26
CIMEIRA ELUVIAL DISSECADA	43,01	22,19
PLAINO ALUVIAL	6,84	3,53

Fonte: Os autores

Se a resolução espacial do Landsat não permite a identificação direta dos processos superficiais, elemento diagnóstico fundamental para a aferição dos processos de desertificação pelo ponto de vista geomorfológico, a observação direta em campo revela que de fato as cicatrizes erosivas, manchas de solo nu e remoção do manto de alteração/colúvios pelo fluxo laminar são ubíquas na bacia. Não obstante, na escala da análise proposta a distribuição das formas de uso da terra pelas unidades de relevo, em face de sua morfodinâmica, permite identificar as tipologias mais diretamente associadas aos processos de degradação.

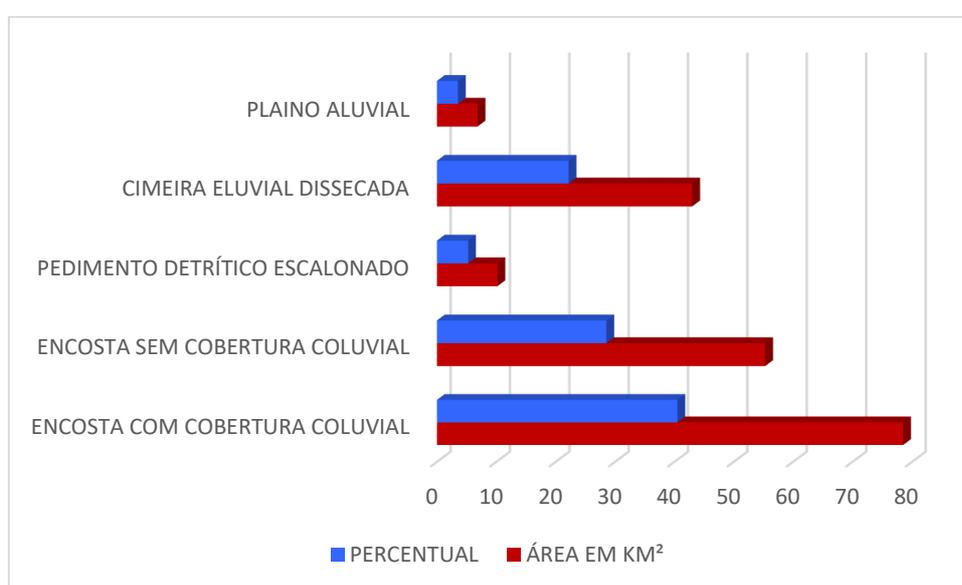


Figura 3: Distribuição areal da bacia do Riacho Grande por unidades morfoestratigráficas. Fonte: Os autores

Neste caso, as unidades taxonômicas de uso da terra (Figura 4) apresentam um comportamento dialético, sendo elas próprias elementos de intensificação do processo de degradação, bem como tendo sua expansão espacial atrelada à potencial degradação decorrente de outras formas de uso. Neste sentido dentre os onze tipos de uso da terra identificados na bacia, as classes de solo exposto e de solo exposto com associação à pastagem degradada foram tomadas como índices de intensificação dos processos de degradação de terras na bacia para os intervalos de tempo estudados.

Acrescenta-se à análise das formas de uso da terra, sua ocorrência sobre unidades morfoestratigráficas particularmente susceptíveis à erosão, como discutido anteriormente. Neste caso as encostas colúviais, as encostas sem cobertura de colúvio e a cimeira eluvial são, em ordem decrescente, as unidades que mais prontamente são acometidas pela aceleração dos

processos superficiais, o que coincide com a ocorrência dos principais conjuntos de cicatrizes de erosão na área de estudo. Essas unidades compreendem ainda um agrupamento topograficamente contínuo de formas de denudação, sobre as quais a ocorrência de perfis de intemperismo mais espessos e chuvas mais regulares controlam a forma intensa de como se dá sua ocupação por tipos antropizados de uso da terra.

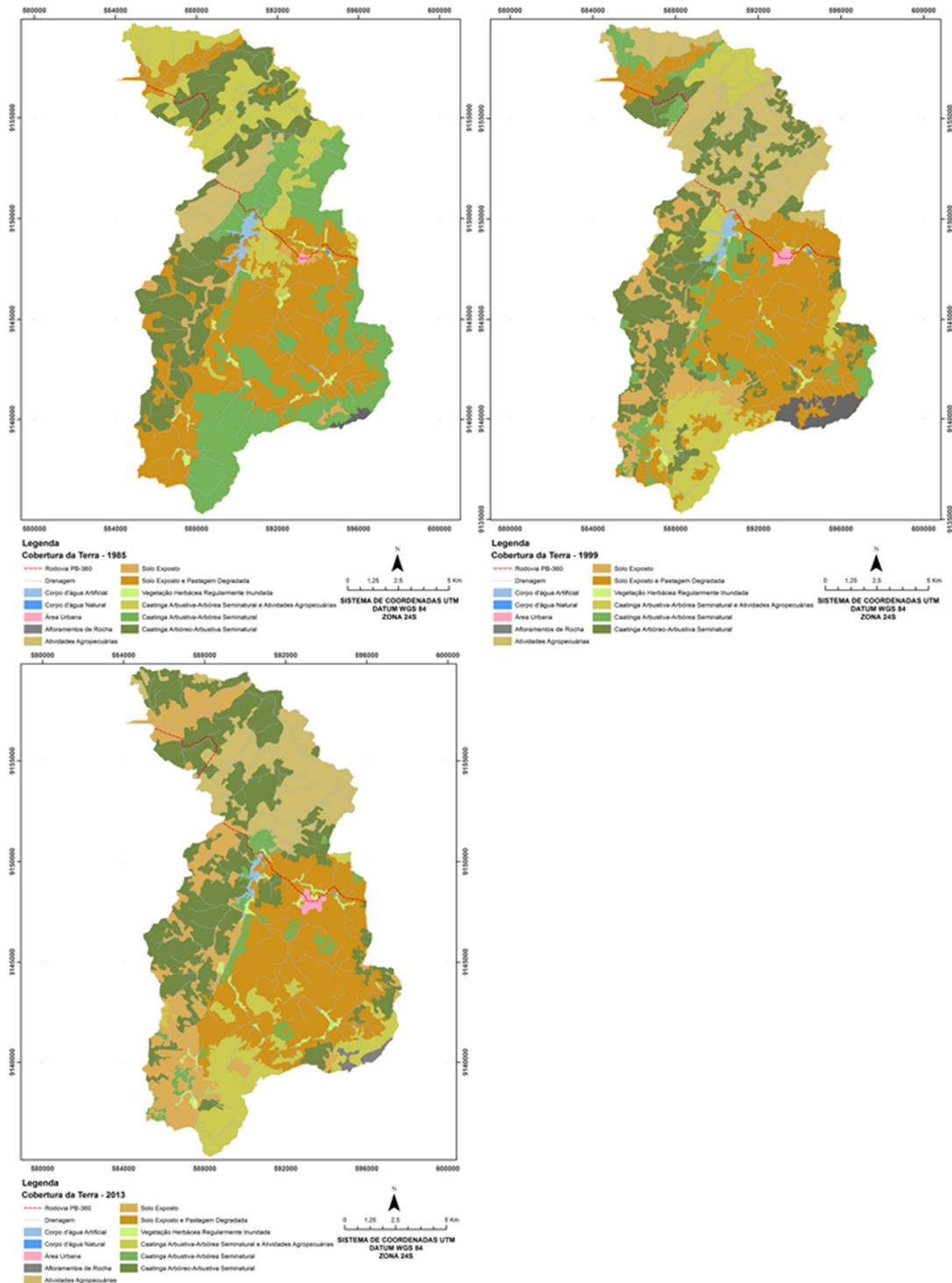
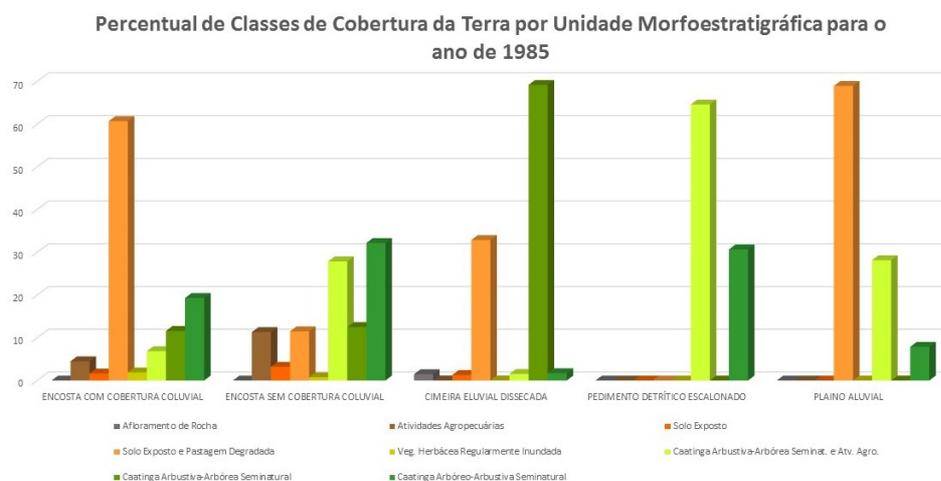


Figura 4 - Mapas de Cobertura da Terra para os anos de 1985, 1999 e 2013. Fonte: Os autores

Por fim, constata-se que as classes “Solo Exposto” e “Solo Exposto e Pastagem Degradada” representam a principal forma de uso da terra (mais de 70% de recobrimento em 2013) sobre a unidade morfoestratigráfica Encosta Coluvial, a de maior extensão areal na área de estudo, perfazendo mais que 40% da superfície da bacia, e a de maior sensibilidade aos processos erosivos. A unidade Cimeira Eluvial, que corresponde a um dos setores mais ocupados da bacia, também apresenta uma participação elevada das classes de uso acima mencionadas. Não obstante, é o comportamento temporal de expansão dessas formas de uso da terra que chama a atenção para uma possível expansão contínua das formas de degradação de terras na bacia. Ao longo das últimas quatro décadas todas as unidades morfoestratigráficas que integram a área de estudo apresentaram expansão das classes de cobertura identificadas como “Solo Exposto” e “Solo Exposto e Pastagem Degradada”, sendo essa particularmente elevada, 38,6%, sobre a Cimeira Eluvial, dentre as unidades denudacionais mais susceptíveis à degradação de origem erosiva. Embora a Unidade Pedimento Escalonado tenha apresentado um crescimento exponencial dessas classes de uso, atingido valores de mais de 500%, a participação em área dos pedimentos dentro da bacia é limitada, e seu uso é tradicionalmente restrito às práticas tradicionais de pecuária extensiva. O mesmo pode ser dito do Plano Aluvial, onde as manchas de solo nu, indicam em grande medida a movimentação longitudinal de sedimentos, sob a forma de barras ao longo do canal de geometria anastomosada. O caráter agradacional dessa unidade, no entanto, atesta que o aporte de sedimento da montante tem sido o suficiente constante a ponto de dificultar a colonização das barras longitudinais e feições laterais de inundação do plano pela vegetação ripariana (Figura 5 e Tabela 3).



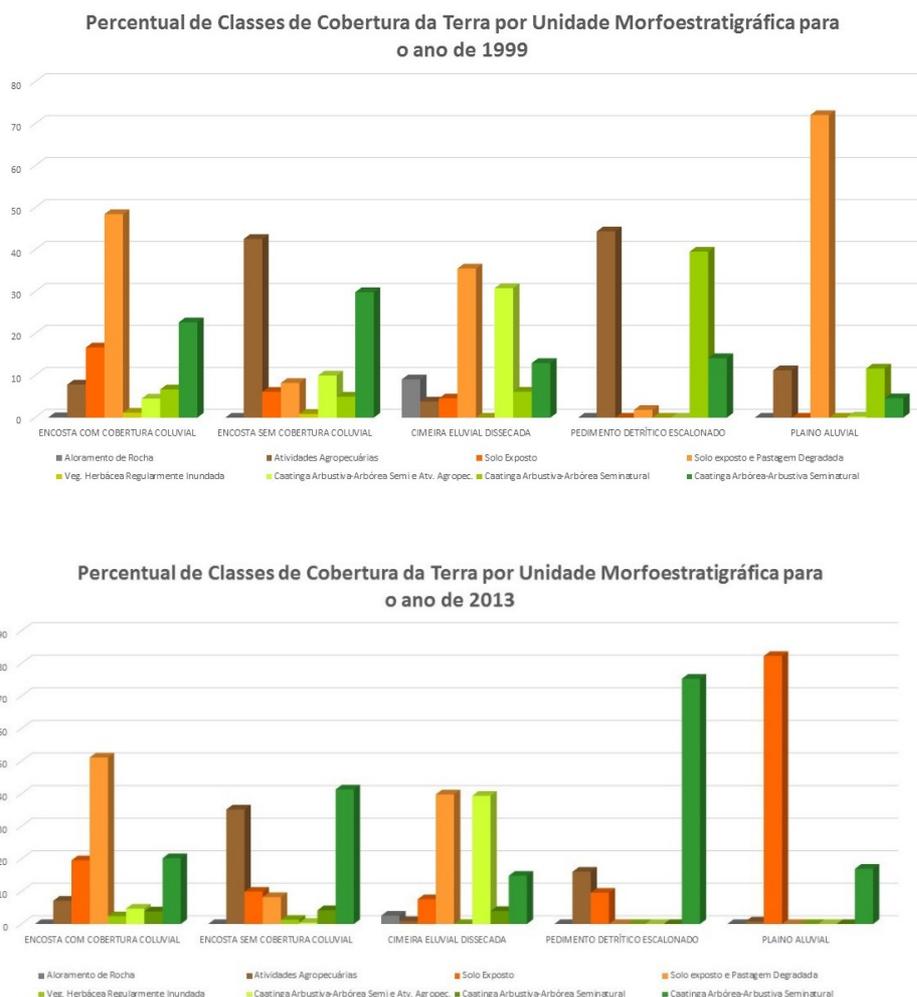


Figura 5 - Distribuição percentual em área das formas de uso da terra na bacia hidrográfica do Riacho Grande para os anos de 1985, 1999, 2013. Fonte: Os autores

Tabela 3 - Distribuição percentual da área ocupada pelas classes “Solo Exposto” e “Solo Exposto e Pastagem Degradada”, combinadas, por unidade morfoestratigráfica

	ENCOSTA COLUVIAL	ENCOSTA SEM COLÚVIO	CIMEIRA ELUVAL	PEDIMENTO ESCALONADO	PLAINO ALUVIAL
ANOS					
1985	62,35	14,72	34,18	0	68,95
1999	65,23	14,4	40,12	1,86	72,12
2013	70,67	18,16	47,37	9,58	82,27
CRESCIMENTO (%)	13,3	26,1	38,6	515	19,3

Fonte: Os autores

CONCLUSÕES

As propriedades geomorfológicas da desertificação não são prontamente aferidas meramente pela análise contemporânea dos processos de superfície terrestre em áreas climaticamente susceptíveis (áridas, semiáridas e sub-úmidas secas), mas antes depende de uma aferição temporal da evolução das evidências de degradação da estrutura superficial da paisagem.

Na área de estudo, os sensores imagéticos disponíveis para a aferição das dinâmicas superficiais permitem unicamente contemplar as mudanças das formas de uso da terra sobre as unidades morfoestratigráficas, que, sob a forma de um proxy, conduzem a um apontamento sobre o avanço dos processos erosivos e da degradação sobre a paisagem. Neste sentido, a sobreposição das formas mais agressivas de cobertura da terra à unidades de relevo de maior sensibilidade erosiva – aquelas que reúnem propriedades morfométricas e morfopedológicas peculiares – conduz a análise à definição de áreas ao menos problemáticas do ponto de vista da estabilidade morfodinâmica e conservação dos mantos de alteração. Sobrepõe-se a essa aferição inicial a dinâmica temporal da expansão/contração das formas de uso e cobertura da terra sobre tais unidades geomorfologicamente de menor resiliência à ação dos sistemas erosivos.

Esta tarefa, embora limitada pela escassez dos dados observacionais, aponta para o fato de que o comportamento das classes de cobertura da terra com potencial para incrementar os processos de degradação da superfície tem contribuído para o avanço desses. Em suma, há uma expansão real dos espaços ocupados por formas de uso da terra que não favorecem a um equilíbrio entre o balanço escoamento/infiltração, favorecendo o primeiro. O aumento significativo do aporte de sedimento no nível de base local, com crescimento de formas de extravasamento das drenagens laterais sob a forma de leques, flood-outs, ou barras longitudinais ao longo do canal principal, também atestam a redinamização dos processos erosivos à montante.

Se os Altos Pelados visitados há 30 anos pelo Prof Carlos Augusto Figueiredo Monteiro apontavam para uma efetiva retomada dos processos geomórficos sobre os interflúvios do Planalto Sertanejo, a despeito das condicionantes climáticas mais favoráveis da área, o presente trabalho não apenas confirma as observações do grande mestre, mas indica que a degradação se faz presente também sobre as superfícies somitais regionais e seu entorno. Neste sentido, o monitoramento direto das cicatrizes erosivas por meio de técnicas de imageamento in situ com resolução temporal pré-estabelecida, e a aferição com base no uso de radioisótopos e

mapeamento das arquiteturas deposicionais das taxas de sedimentação atuais e sub-atuais nas áreas de estocagem naturais ou artificiais (açudes, barragens etc.) são estudos prementes para que o escopo e escala desses processos de degradação sejam melhor compreendidos, assim como para guiar as medidas de controle e mitigação dos seus efeitos danosos.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. O Domínio morfoclimático das caatingas brasileiras. *Geomorfologia*, São Paulo, n. 43, IGEOG-USP, 1974.
- AMORIM, R. F. Integração entre dinâmicas geomorfológicas multitemporais no Planalto da Borborema, Semiárido do NE do Brasil. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2015.
- AUBREVILLE, A. *Climats, forêts et desertification de l'Afrique tropicale*, Paris: Editions géographiques maritimes et coloniales. 1949.
- BRACKEN, L.J. & WAINWRIGHT, J. Geomorphological equilibrium: myth and metaphor?. *Transactions of the Institute of British Geographers*. 31:167-178. 2006.
- BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W. R.; FETTER, A. H. Noroeste da África – Nordeste do Brasil (Província Borborema): Ensaio comparativo e problemas de correlação. *Revista do Instituto de Geociências – USP, série científica*, v.1, p.59-78, 2001.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. 2014. Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em Janeiro de 2016.
- CORRÊA, A. C. B. Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, Pós-Graduação em Geografia, Rio Claro, 2001.
- CORREA, A. C. B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. A.; Cavalcanti, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico*, v. 31, p. 35-52, 2010.
- DEMEK, J. *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. Praga: Academia, 1972. 520p.
- DOUGILL, A.J., THOMAS, D.S.G.; HEATHWAITE, A.L. Environmental change in the Kalahari: integrated land degradation studies for non equilibrium dryland environments, *Annals, Association of American Geographers* v. 89, 420–422, 1999.
- FAO. *Land Cover Classification System: classification concepts and user manual*. Rome, 2005.
- GOUDIE, A.S. Human influence in geomorphology, *Geomorphology*, v.7, p.37–59, 1993.

GOUDIE, A. S.; VILES, H. A. *Landscapes and Geomorphology: A very short introduction*. Oxford University Press, 2010. 144p.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; MERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VICENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

HOLLANDA, M. H. B. M.; MEJIÁ, C. P.; ARCHANJO, C. J.; ARMSTRONG, R. Geologia e caracterização química do magmatismo paracalino ultrapotássico do enxame de diques de Manaíra-Princesa Isabel, Província Borborema. *Revista do Instituto de Geociências-USP*, v.9, n.3, p.13-46, 2009.

LAVEE, H., IMESON, A., SARAH, P. The impact of climate change on geomorphology and desertification. *Journal of Land Degradation and Development* v. 9, p.407-422, 1998.

MEJIÁ, C. P. Caracterização geoquímica-isotópica e geocronologia do enxame de diques de Manaíra-Princesa Isabel (PB) – Província Borborema. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. São Paulo, 2008.

MIDDLETON, N.J. & THOMAS, D.S.G. *World Atlas of Desertification*, London: UNEP/Edward Arnold. 1997.

MISTRY, J. *World Savannas: Ecology and Human Use*, Harlow: Prentice Hall, 2000.

MONTEIRO, C. A. F. On the “desertification” in northeast Brazil and man’s role in this process. *Latin American*, v.9, p.1–40, 1988.

NOAA/National Weather Service: Climate Prediction Center. 2016. Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present). Disponível em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml> Acesso em junho de 2016.

OLIVEIRA, P.E. de; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* v. 152, p. 31–337, 1999.

PETERSON, L. C.; HAUG, G. H. Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 234, p. 97–113, 2006.

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 Geografia, Recife, 2011.

TAVARES, B. A. C. 2015. Evolução Morfotectônica dos pedimentos embutidos no Planalto da Borborema. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Geografia. Recife, 2015.

THOMAS, M.F. *Geomorphology in the Tropics: A Study of Weathering and Denudation in Low Latitudes*, Chichester: Wiley. 1994.

TUCKER, C.J., DREGNE, H.E. and NEWCOMB, W.W. (1991) Expansion and contraction of the Sahara Desert, 1980 to 1990, *Science* 253, 299–301.