Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Modelagem cartográfica para a delimitação das paisagens da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú - Pernambuco/Alagoas, Nordeste, Brasil

Fernando da Silva Alexandre¹, Ana Lúcia Bezerra Candeias², Daniel Dantas Moreira Gomes³

¹Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1.235, CEP 50670-901, Recife, PE, Brasil - fnando257@gmail.com (autor correspondente). ²Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1.235, CEP 50670-901, Recife, PE, Brasil - analucia@ufpe.br. ³Departamento de Geografia, Universidade de Pernambuco. R. Cap. Pedro Rodrigues, 105. CEP 55294-902, Garanhuns, PE, Brasil - daniel.gomes@upe.br.

Artigo recebido em 27/06/2019 e aceito em 09/01/2020

RESUMO

A noção de paisagem está presente na memória do ser humano antes mesmo da elaboração desse conceito. As sínteses naturalistas concebem a natureza através de uma ordem natural que promove a organização da superfície terrestre a partir dos elementos internos e externos do globo terrestre. Essa ordem está passível de análise, já que se espacializa em áreas naturais homogêneas, dotadas de uma hierarquia. A bacia hidrográfica é uma excelente opção de investigação, é um sistema aberto, dinâmico, onde ocorrem trocas constantes de matéria e energia. As bacias hidrográficas, na condição de unidades funcionais de planejamento, resguardam paisagens. Assim para a delimitação das paisagens do alto curso, buscou-se correlacionar os fatores geológico-geomorfológico com a climatologia da bacia, o que resultou na delimitação de 8 unidades de paisagens, sendo elas: caatingas secas em relevo dissecado em ravina, caatingas subúmidas em relevo dissecado convexo, matas úmidas em relevo convexo, matas úmidas em relevo dissecado aguçado, matas úmidas em relevo pediplano degradado inumado, matas úmidas em relevo tabular, atas subúmidas em relevo tabular e matas úmidas em relevo dissecado aguçado.

Palavras-chave: cartografia de paisagens; unidades de paisagem, geossistemas, mapeamento de paisagens.

Cartographic modeling of the delimitation of landscapes in watershed of the high course of the Mundaú River – Pernambuco / Alagoas, Northeastern, Brazil

ABSTRACT

The notion of landscape is present in human memory even before the elaboration of this concept. Naturalistic syntheses conceive nature through a natural order that promotes the organization of the earth's surface from the inner and outer elements of the globe. This order is subject to analysis, since it is spatialized in homogeneous natural areas, endowed with a hierarchy. The watershed is an excellent research option. It is an open, dynamic system where constant exchanges of matter and energy occur. Watersheds, as functional planning units, protect landscapes. Thus, for the delimitation of the landscapes of the upper course, we sought to correlate the geological-geomorphological factors with the climatology of the basin, which resulted in the delimitation of 8 landscape units, namely: dried dry caatingas in ravine, submerged caatingas in convex dissected relief, convex embossed wetlands, sharp dissected embossed wetlands, smoked degraded pediplane embossed woods, tabular embossed wetlands, tabular embossed wetlands and thickened dissected embossed wetlands.

Keywords: landscape cartography, landscape units, geosystems, landscape mapping.

Introdução

A noção de paisagem está presente na tradição do ser humano antes mesmo da elaboração desse conceito. A ideia embrionária já existia, baseada na observação do meio. Mas sua conceituação varia no tempo e no espaço. Assim como em cada época o conceito de paisagem geográfica e sua análise será diferente.

Segundo Cavalcanti e Corrêa (2014) os estudos das paisagens ou áreas naturais concebem a natureza através de uma ordem natural que promove a organização da superfície terrestre a partir dos elementos internos e externos do globo, essa ordem está passível de análise, já que se

especializa em áreas naturais homogêneas, dotadas de uma hierarquia.

Assim a ciência geográfica ao tentar compreender as paisagens, evolui em duas direções distintas, uma predominantemente biofísica, responsável pela formação das escolas alemã e russo-soviética, que concebe a paisagem como um complexo natural integral, enquanto que a outra direção, surge a escola francesa, evolui predominantemente em bases socioculturais, analisando a paisagem como uma entidade perceptiva (Rodríguez; Silva; Cavalcanti, 2004).

Sabendo da importância do estudo das áreas naturais e sob influência da Teoria Geral dos Sistemas, em 1963 Viktor Sochava formula sua concepção sobre as áreas naturais, denominando-as de geossistemas. O geossistema é definido como sendo uma "unidade natural de todas as categorias possíveis, do geossistema planetário (envelope geográfico ou ambiente geográfico em geral) ao geossistema planetário (fáceis físico-geográfica)" (Sochava, 1963).

A proposta de Sochava trouxe um avanço na compreensão integrativa dos fenômenos espaciais e temporais que formam as paisagens, bem como num esclarecimento das dimensões epistemológicas da própria geografia física em sua versão integrada. Foi, pois, a introdução da palavra geossistema, na literatura geográfica soviética, que representou uma revolução conceitual e metodológica para a geografia física.

A grande inovação trazida pela teoria geossistêmica foi a integração dos estudos sobre a estrutura, dinâmica e evolução das paisagens, indo muito além dos mapas e cartas. A proposta de Sochava trouxe um avanço na compreensão integrativa dos fenômenos espaciais e temporais que formam as paisagens, bem como num esclarecimento das dimensões epistemológicas da própria geografia física em sua versão integrada (Cavalcanti e Corrêa, 2014). Foi, pois, a introdução da palavra geossistema, na literatura geográfica soviética, que representou uma revolução conceitual e metodológica para a geografia física.

É de grande importância salientar que a grande vantagem da teoria dos geossistemas é que ela permite investigar diferentes aspectos da natureza (estrutura, dinâmica e evolução) sob uma base unificada em termos de perspectiva e tratamento dos problemas.

Cavalcanti (2013) ainda ressalta que uma paisagem reflete um mesoclima atuando sobre uma morfoestrutura, consistindo assim em uma

associação entre os processos geológico-geomorfológicos e bioclimáticos.

No final da década de 1960 também, com o forte crescimento dos estudos ambientais que a bacia hidrográfica é considerada pela Geografia Física como unidade espacial, a célula básica de análise ambiental e de gestão territorial, visando o gerenciamento, planejamento e desenvolvimento econômico e social (Tundisi, 2003; Botelho; Silva, 2004; Alexandre et al., 2016).

Segundo Gomes (2015) o conceito de bacia hidrográfica é interligado à definição de sistemas já que toda uma troca de matéria e energia, sejam de origem natural ou não, que interferem diretamente em sua dinâmica. É uma área excelente para estudos ambientais que visem a integração de sistemas conectados (Torres; Machado, 2012; Souza; Corrêa, 2012).

Para Christofolletti (1980), a bacia hidrográfica é uma excelente opção de investigação, é um sistema aberto, dinâmico, onde ocorrem trocas constantes de matéria e energia. Nascimento (2011) ressalta que as bacias hidrográficas, na condição de unidades funcionais de planejamento, resguardam paisagens.

Para garantir a utilização de seus recursos de forma eficiente a longo prazo, é de grande importância o conhecimento de suas paisagens e seus componentes. Para assim possibilitar o planejamento ambiental e a gestão territorial, visto que a compreensão dos sistemas ambientais irá permitir uma integralização dos componentes físicos com as ações antrópicas. Assim, este trabalho tem como objetivo delimitar as unidades de paisagens da bacia hidrográfica do alto curso do rio Mundaú, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e com base nas concepções russo-soviéticas.

Material e métodos

Objeto de estudo

A bacia hidrográfica do alto curso do rio Mundaú está localizada entre a mesorregião do Agreste pernambucano e o Leste alagoano, com as coordenadas 9° 13' e 8° 53' de latitude Sul e 36° 06' e 36° 34' de longitude Leste no (Figura 1). A bacia hidrográfica do Alto Curso ocupa uma área de 895,03 km² e tem um perímetro de 205,31 km, abrange 6 municípios do Estado de Pernambuco (Brejão, Correntes, Garanhuns, Lagoa do Ouro, Palmeirina e São João) e 3 municípios de Alagoas (Chã Preta, Santana do Mundaú e União dos Palmares).

Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do alto curso do Rio Mundaú.

Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessário inicialmente a apreensão dos conceitos e da metodologia adequada, então iniciou-se a busca por material bibliográfico. Foram consultadas teses, dissertações, artigos e manuais técnicos, visando obter todo o aparato teórico para a realização da pesquisa.

Em seguida, obtiveram-se dados vetoriais e matriciais e informações necessárias à pesquisa, foram consultados os seguintes órgãos e entidades:

- Agência Nacional de Águas - ANA;
 - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM;
 - Universidade Federal de Campina Grande - UFCG;
 - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA;
 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;
 - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA;
 - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE;
 - United States Geological Survey – USGS.
- Após a pesquisa prévia nos órgãos e entidades mencionados acima, foram escolhidos os dados básicos para a elaboração da pesquisa, utilizou-se os seguintes dados vetoriais e matriciais:
- Dados vetoriais dos limites administrativos, na escala de 1:100.000 disponibilizados pelo IBGE;
 - Dados pluviométricos e de temperatura das áreas circunvizinhas à bacia, disponibilizados pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG;
 - Cenas do projeto Shuttle Radar Topography Mission - SRTM, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado por (Valeriano; Rossetti; Albuquerque, 2009), se utilizou as cenas :S10W037, S10W036, S09W037 e S09W036;
 - Cenas do satélite Landsat 8 com resolução espacial de 30 metros, obtidas no site da USGS, as cenas utilizadas foram: LC08_L1TP_215066_20171205_20171222_01_T1

e LC08_ L1TP_ 214066_ 20171112_ 20171121_ 01_ T1 capturadas em 05/12/2017 e 12/11/2017 respectivamente.

- Cenas do Satélite CBERS 4 com resolução espacial de 20 metros, obtidas no site do INPE, se trabalhou as cenas: CBERS_ 4_ MUX_ 20160921_ 147_ 110_ L4 e CBERS_ 4_ MUX_ 20180102_ 147_ 110_ L4_ , datadas de 21/09/2016 e 02/01/2018 respectivamente;
- Dados do Zoneamento agroecológico de Pernambuco - ZAPE, na escala de 1:100.000 e;
- Dados do Zoneamento agroecológico de Alagoas - ZAAL, na escala de 1:100.000.

Materiais

Para se realizar uma análise através de um Sistema de Informações Geográficas um dos fatores de maior importância inicialmente é a padronização dos dados a uma mesma escala (Rosa, 2009). Devido aos dados básicos utilizados na pesquisa serem derivados de várias fontes e escalas, foi necessário realizar uma padronização entre os dados vetoriais e matriciais.

Inicialmente foi realizado a conversão de todos os dados para o mesmo sistema de projeção e Datum, foi definido como padrão o sistema de projeção projetado UTM, zona 24S e o Datum SIRGAS 2000. Todas as conversões foram realizadas no software QGIS 3.4.

Realizada a conversão de todos os dados, iniciou-se o processo de definição da escala, foi levado em consideração nesta etapa a escala dos dados STRM, ZAPE e ZAAL que serão dos dados limitantes em relação a escala, então decidiu-se trabalhar todos os dados na escala de 1:100.000 e realizar a representação nos mapas finais em 1:220.000.

Com a padronização dos dados, visando a sua unificação, foi montado um banco de dados utilizando o software PostgreeSQL®, assim há maior possibilidade na visualização, gestão, consulta e interpretação dos dados.

Processamento inicial das cenas de sensoriamento remoto

Visando uma maior qualidade cartográfica no processamento das cenas, seguiu-se os escritos de (Gomes, 2015), que divide o procedimento para obtenção das informações das imagens de sensoriamento remoto em técnicas de pré-processamento, realce e análise.

A etapa de pré-processamento consiste na padronização dos dados a mesma projeção cartográfica, conforme a seção anterior, se segue com a realização das correções geométrica e radiométrica nas cenas Landsat 8 e atmosférica nas

cenas CBERS 4. Posteriormente realizou-se a mosaicagem das cenas SRTM; Landsat 8; e CBERS 4, o procedimento foi realizado no software ENVI 5.3.

O processo de realce consistiu na alteração do histograma para melhor visualização das feições a serem analisadas, o procedimento em cada uma das cenas foi feito de forma individual. Devido aos objetivos do trabalho, as técnicas de análise foram separadas e somente serão realizadas nas próximas seções.

Processamentos classificatórios para a delimitação das passagens

Segunda Cavalcanti (2013) para a construção das sínteses naturalistas, é necessário a investigação dos contrastes paisagísticos, baseando-se nos componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, hidrografia, etc.) que compartilham a mesma espacialização. Assim as análises podem ser compartimentadas aos níveis macroscópico, mesoscópico e microscópico.

A escala macroscópica é definida pelo autor como sendo aquele para o reconhecimento dos contrastes paisagísticos de grandes dimensões, condicionados pelas morfoestruturas e pelo macroclima. Nesta escala de abordagem o método de análise irá consistir nos contrastes, a saber: áreas mais altas e mais baixas, secas e úmidas, grandes alterações geomorfológicas. Devido ao nível de escala, esse nível de análise pode ser realizado com o auxílio do sensoriamento remoto e do geoprocessamento.

A escala mesoscópica abrange as características das paisagens como elas são visíveis no campo, a saber: drenagem, formas de relevo, substrato, solos, biota e cobertura e uso da terra. Esta escala devido ao detalhamento já permite a realização da cartografia de paisagens (geossistemas).

A escala microscópica consiste na elaboração de sínteses ao nível molecular, para tal a realização de estudos em campo é obrigatório, porém devido a escala proposta neste trabalho, esta escala de abordagem não será utilizada.

Características geológicas-geomorfológicas

Segundo Cavalcanti (2013) para a realização das delimitações das paisagens, é necessário a delimitação das morfoestruturas. Porém devido ao detalhamento deste trabalho e constar somente uma morfoestrutura na bacia, optou-se por realizar o mapeamento geomorfológico até o quarto táxon.

Para a realização dos mapeamentos do relevo se seguiu a seguinte ordem: 1) confecção

cartográfica dos dados; 2) Realização dos mapeamentos geomorfológicos e 3) realização de visitas a campo para aferir os resultados obtidos em ambiente SIG.

Adaptou-se as metodologias propostas por Ross (1990), Ross (1992), Casetti (2005), Gomes (2015) e IBGE (2009) para a realização dos mapeamentos geomorfológicos, já que não há uma padronização. Assim foram utilizados diversos autores para comparar as metodologias e as adequar visando mapear a bacia até o 4º táxon do relevo.

As unidades Morfoestruturais (1º táxon) são definidas como as macroestruturas, agrupamentos entre a litologia e os arranjos estruturais, com evidências de das intervenções climáticas. Essa unidade pode conter uma ou mais unidades morfoesculturais.

As unidades Morfoesculturais (2º táxon) correspondem aos compartimentos do relevo desenvolvidos atrás das ações climáticas pretéritas, com influência dos processos tectogenéticos.

As unidades Morfológicas (3º táxon) são caracterizadas por agrupamentos de formas referentes aos modelados, são diferenciadas através da rugosidade topográfica do relevo. Segundo Ross (1992) são “formas fisionomicamente semelhantes em tipos de modelados; a similitude resulta de uma determinada geomorfogênese, inserida em um processo sincrônico mais amplo”.

As unidades de tipo de formas semelhantes (4º Táxon) são divididas em: a) agradação (acumulação), como as planícies fluviais e terraços, b) áreas de aplainamento, como os pediplanos e c) degradação (dissecação), como as colinas e morros. Para a delimitação das unidades de dissecação é levado em consideração a densidade da drenagem e o aprofundamento das incisões (Quadro 1).

Climatologia: efeitos e condicionantes sobre a paisagem

Tratando-se de análises físico-geográficas, o clima é um dos fatores predominantes na diferenciação das áreas. Segundo Kottek et al. (2006) o clima pode ser analisado através de médias de temperatura e pluviosidade, assim como a radiação solar e índices de umidade.

As médias climáticas se mostram indispensáveis para a caracterização da estrutura da paisagem, porém não fornece dados suficientes para a compreensão da sua dinâmica (Cavalcanti, 2013). Os dados climáticos de temperatura e pluviosidade irão permitir compreender melhor os processos hidrológicos dentro da bacia e as mudanças sazonais na vegetação.

Inicialmente buscou-se compreender espacialmente e temporalmente os dados de temperatura e pluviosidade, com este intuito foram coletados dados de 13 postos pluviométricos, conforme a quadro 2.

Definiu-se o valor mínimo de 20 anos como o menor tempo de observação aceitável, já que na literatura há uma indicação para que somente sejam realizados trabalhos com dados captados a mais de 35 anos, porém com tal quantidade de anos, não haveria dados suficientes, então decidiu-se por 20 anos, assim os dados pluviométricos de Brejão foram excluídos, já que seu tempo de observação era somente 17 anos e apresentavam uma grande lacuna de dados mensais.

Com os dados espacializados no QGIS 3.4, iniciou-se o processo de interpolação determinística dos dados para a estimativa espacial da precipitação, se utilizou o método do Inverso Ponderado da Distância (*Inverse Distance Weighting* – IDW). O IDW permite calcular os valores desconhecidos em recurso à média ponderada pelo inverso das distâncias de uma localização desconhecida à uma localização com valores conhecidos (LANDIM, 2000). A escolha pelo IDW se deu em razão do resultado não apresentar valores maiores ou menores que os

Quadro 1: Índices de dissecação do relevo.

Aprofundamento das Incisões (2º Dígito)	Densidade de Drenagem (1º Dígito)				
	Muito grosseira	Grosseira	Média	Fina	Muito fina
Muito fraco	11	21	31	41	51
Fraco	12	22	32	42	52
Médio	13	23	33	43	53
Forte	14	24	34	44	54
Muito forte	15	25	35	45	55

dados originais. O IDW é representado na equação a seguir:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_{ip}} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_{ip}}} \quad (1)$$

Onde: Z representa o resultado do valor interpolado; Z_i é o valor conhecido e $D_i^p \dots D_n^p$ é o distância de n pontos a serem estimados, para a realização da interpolação se utilizou o valor da potência 4, conforme recomenda Cavalcanti (2013), já que com esse valor há uma maior suavidade na superfície estimada.

Posteriormente após a interpolação dos dados de pluviosidade, decidiu-se compara-lo com o perfil longitudinal do rio principal, assim seria possível contatar a influência da elevação sobre a precipitação local, já que não foi perceptível nenhuma correlação direta com a vegetação ou com a cobertura e uso da terra.

Efeitos da precipitação na vegetação

A vegetação é um dos reguladores dos sistemas ambientais, influencia no regime hidrológico e nos processos erosivos, assim como é influenciada pelo substrato, períodos chuvoso, relevo, altitude e outros. Com os surgimentos dos satélites para monitoramento ambiental, a compreensão acerca das mudanças fenológicas da vegetação se tornou

mais rápida e prática, devido a utilização dos índices de vegetação.

Os índices de vegetação têm como objetivo identificar as propriedades espectrais da vegetação, na região do visível e do infravermelho próximo, essas duas faixas do espectro eletromagnético tem uma relação contrária na vegetação devido aos pigmentos fotossintetizantes, sendo a refletância na banda do visível menor em um dossel vegetal, enquanto que o infravermelho irá ter uma maior

refletância (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2015).

Dentre os vários índices de vegetação disponíveis na literatura, um dos mais utilizados é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI. Proposto por Rouse et al. (1974), o NDVI busca normalizar o resultado do Índice da Razão Simples, entre um intervalo de -1 a +1, é a razão entre a diferença pela soma das bandas do infravermelho e vermelho. Sendo -1 para alvos terrestres e +1 para alvos no limite superior, gerando uma imagem com 256 tons de cinza, os tons de cinza variam mais claros estão relacionados a valores mais elevados do NDVI, enquanto que os mais escuros com valores menores. É amplamente utilizado para geração de perfis sazonais e temporais da vegetação, visando detectar atividades sazonais e fenológicas durante o período de crescimento (Viganó; Borges; Franca-Rocha, 2011; Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2015), a equação abaixo apresenta o cálculo do NDVI.

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \quad (2)$$

Onde: $B5$ representa a banda do infravermelho próximo e, $B4$ representa a banda do vermelho.

As cenas utilizadas para a realização do NDVI foram as cenas do satélite CBERS 4, com o intuito de compreender as mudanças fenológicas da vegetação, se utilizou uma cena do mês seco e uma do mês chuvoso. Para a delimitação dos anos climaticamente regulares, foram consultados todos os meses de operação dos pluviômetros e optou-se pelo que correlacionasse o menor número de meses sem informações e a maior quantidade de anos, assim decidiu-se pela estação de Viçosa, que apresenta uma altitude média em relação a bacia, quase ausência de dados das médias dos meses e 75 anos de observação, também decidiu-se realizar as análises nos anos mais próximos do presente.

Quadro 2: Dados dos postos pluviométricos utilizados.

Posto	Lat.	Long.	Altitude	Precipitação	Temperatura	Tempo de observ.
Santana do Mundaú	-9,10	-36,13	221	1.352,8	24,5	28
União dos Palmares	-9,10	-36,30	155	1.084,4	24,9	71
Quebrangulo	-9,20	-36,29	411	1.636,5	22,9	69
Viçosa	-9,23	-36,15	300	1.359,2	23,6	75
Murici	-9,19	-35,56	82	1.441,1	25,1	23
Caetés	-8,47	-36,38	854	758,4	20,6	23
Paquevira / Canhotinho	-8,55	-36,70	623	970,4	21,9	27
Poço comprido /	-9,20	-36,25	624	898,2	22,1	27
Correntes	-9,70	-36,20	391	972,7	23,1	45
Garanhuns	-8,53	-36,29	866	782,5	20,2	58
Jurema	-8,43	-36,80	640	781,2	21,9	24
Lajedo	-8,40	-36,19	663	849,8	21,9	26
Bom Conselho	-9,10	-36,41	654	551,6	22	46

Então foram escolhidos os anos de 2016 e 2018, já que não foi possível obter cenas do período chuvoso e seco do mesmo ano. Para a delimitação dos meses de cada ano foi criado um gráfico com as médias mensais de todos os pontos de observação, ficando assim definido o mês “chuvoso” como setembro, já que neste período haveria se passado em média um mês desde o período realmente chuvoso, ficando nítido os efeitos da chuva na vegetação, o mês seco foi definido como sendo janeiro, já que é o mês que apresenta menores chuvas e sucede o mês que se inicia as chuvas. Percebe-se nos gráficos 1 e 2 as médias mensais de cada posto.

máximos da mudança teriam que variar entre -2 e $+2$, no caso do valor negativo, haveria uma redução máxima, enquanto que o valor positivo representaria um ganho máximo.

Resultados e discussão

Análise geológica-geomorfológica

Se identificou na bacia hidrográfica 1 unidade morfoestrutural (1° táxon); 2 unidades Morfoesculturais (2° táxon); 4 unidades Morfológicas (3° táxon) e 14 unidades de tipos de formas semelhantes, ver quadro 3 e figura 2.

Gráfico 1: Pluviosidade média mensal dos pontos de Alagoas.

Gráfico 2: Pluviosidade média mensal dos pontos de Pernambuco.

Com o cálculo do NDVI das duas datas, o período chuvoso foi subtraído pelo NDVI do período seco, gerando uma imagem na mudança da vegetação entre as estações sazonais. Sabendo-se que o NDVI gera valores entre -1 e $+1$, os valores

Unidades morfoestruturais

No objeto se identificou somente uma unidade Morfoestrutural, o Planalto da Borborema, que dobramentos brasileiros e intrusões ígneas

neoproterozóicas sin-tardie pós-orogênicas (Corrêa et al., 2010; Alexandre et al., 2016).

Quadro 3: Síntese das principais unidades geomorfológicas.

UNIDADE MORFOESTRUTURAL (Área em Km ² / %)	UNID. MORFOESCULTURAL UNIDADE (Área em Km ² / %)	UNIDADE MORFOLÓGICA	UNIDADE DE TIPO DE FORMA SEMELHANTE
Planalto da Borborema (895,03 Km ² /100%)	Cimeira da Borborema (555,21 Km ² /62,03%)	Chapadas e Platôs	Dc11
			Dc33
			Dt33
			Dr
		Platôs baixos	Dc11
			Dc12
			Dc33
			Dt33
			Dr
		Planalto	Dc12
			Dc21
			Dc22
			Dc23
			Da24
			Da45
			Dc33
			Pgi
	Depressão pré-litorânea (339,82 Km ² / 37,97%)	Colinas e Morros	Da24
			Da34
			Da44
			Da45

Unidades morfoesculturais

Na bacia se encontram 2 unidades morfoesculturais, cimeira da Borborema e uma depressão pré-litorânea.

A cimeira da Borborema pode ser classificada como uma área cristalina em processo de aplainamento, em sua maioria com baixa e média declividade, tem uma altimetria que varia de 339 a 990 metros acima do nível do mar, seu litotipo é composto por anfibolito, migmatito, metadiorito, mrtognaisse granodiorítico, ortognaisse tonalítico quartzitos micáceos, quartzitos-feldspáticos, metarcósios bandados com intercalações de rochas calcissilicáticas, biotita e/ou muscovita xisto gnaiss, leucognaisse, metagrauvaca, migmatito e níveis de quartzito, anfibolito e mármore (Alexandre, *et al.*, 2018).

A depressão pré-litorânea possui uma variação altimétrica entre 180 a 700 metros, seu litotipo é composto por metamonzodiorito, metagranodiorito, metagranito, ortognaisse, metatonalito, Granito e granodiorito grosso a porfirítico associado a diorito e a fases intermediárias de mistura, com ou sem epidoto magmático.

Unidades morfológicas

Encontrou-se 4 unidades Morfológicas na área da bacia, são elas: chapadas e platôs, platôs baixos, planalto e colinas e morros.

Chapadas e Platôs são áreas altas e planas, com menor representatividade na bacia, sua altimetria varia entre 690 a 990 metros de altitude, estão sobre uma superfície cristalina com- posta por Quartzitos micáceos, quartzitos-feldspáticos e metarcósios bandados com intercalações de rochas calcissilicáticas.

A unidade definida como Platôs baixos está localizada em uma área com variação altimétrica entre 625 e 960 metros, sua estrutura cristalina é composta por Anfibolito, migmatito, metadiorito, ortognaisse granodiorítico, ortognaisse tonalítico.

O planalto engloba uma porção da bacia com altimetria variando entre 390 e 695 metros acima do nível do mar, sua composição estrutural é de Biotita e/ou muscovita xisto gnaiss, leucognaisse, metagrauvaca, migmatito e níveis de quartzito, anfibolito e mármore.

A unidade Morfológica definida como Colinas e Morros tem sua estrutura litológica composta por metamonzodiorito, metagranodiorito, metagranito, ortognaisse, metatonalito, granito e granodiorito grosso a porfirítico associado a diorito e a fases

intermediárias de mistura, com ou sem epidoto magmático, sua altimetria varia entre 180 a 700 metros de altitude.

Figura 2: Compartimentação geomorfológica e hipsométrica do alto curso.

Unidades de tipos de formas semelhantes

Se identificou 14 unidades de tipos de formas semelhantes. Há a predominância na bacia de unidades de dissecação, com um total de 12 unidades identificadas.

A área da nascente do Rio Mundaú foi classificada como dissecação em ravina, já que se caracterizou como uma área com alta densidade de incisões, devido a influência da erosão fluvial causada pelo escoamento concentrado e falta de vegetação nas margens. A bacia apresenta área de dissecação homogênea de topos aguçados, que são caracterizados por alta declividade e forte processo erosivo, com ocorrência principalmente em rochas metamórficas. Há também a ocorrência de dissecação homogênea de topos convexos, que representam uma porção da bacia com erosão fluvial forte e com controle estrutural. A menor área de dissecação encontrada na bacia, é a dissecação homogênea de topos tabulares, que delineiam feições com vertentes suavemente inclinadas e baixa declividade, levou-se também em consideração o litotipo da área.

Identificou-se áreas de acumulação, em planícies fluviais, que são caracterizadas por baixa declividades e com inundações periódicas, ocorrem nos rios de 6° e 5° ordem da bacia. Na classe de aplainamento foi encontrado uma área composta

por uma pediplano degradado inumado, que caracteriza uma superfície pouco dissecada, com baixa declividade e constituída por Latossolos. Para a realização das análises geológicas-geomorfológicas foi indispensável o conhecimento acerca dos solos do alto curso, foram utilizados os dados provenientes do ZAPE e ZAAL, com 18 subclasses de solo, das classes de solos latossolos, argissolos, regossolos, podzólicos, litólicos e planossolos.

Percebeu-se que as formações do relevo estão diretamente ligadas com os solos, já que as maiores declividades dentro da bacia estão localizadas onde há presença de solos argilosos, enquanto que nas áreas com menor declividade estão os solos arenosos.

Climatologia do alto curso

O alto curso apresenta isoietas de pluviosidade entre 700 e 1450 mm anuais, sendo o posto em Santana do Mundaú onde foram registrados os maiores volumes de chuvas, enquanto que Garanhuns apresenta os menores (Figura 3).

Percebeu-se que as áreas com menos de 1050 mm/anuais estão espacializados em áreas com altitude superior a 350 metros de altitude, é perceptível que um dos fatores condicionantes a

Figura 3: Pluviosidade média anual do alto curso.

pluviosidade é o relevo, assim como o efeito de continentalidade, percebe-se no gráfico 3, a correlação entre a elevação e a pluviosidade.

A análise da fenologia nos anos climaticamente regulares demonstra que cerca de 64% da área da bacia tem perda da pigmentação

Gráfico 3: Correlação entre a pluviosidade e o perfil longitudinal do alto curso.

Um dos condicionantes para as maiores chuvas nas áreas baixas tem como explicação que o relevo atua como barreira natural, produzindo assim chuvas orográficas nas áreas mais baixas da bacia, principalmente na depressão pré-litorânea. Há também a possibilidade de pequenos erros na pluviosidade devido a não uniformidade entre a quantidade de anos coletados em cada posto pluviométrico, o que compromete a análise.

foliar, essa diferença foi perceptível nos meses de setembro de 2016 e janeiro de 2018.

Percebeu-se também que as menores perdas ocorreram nas áreas com maior pluviosidade anual, ficando claro que o relevo também condiciona a vegetação da bacia (Figura 4).

Delimitação das paisagens do alto curso

Com base na metodologia discutida por Cavalcanti (2013) e Isachenko (1973), foi possível delimitar 8

Condicionantes na fenologia

Figura 4: Mudanças na fenologia da vegetação.

unidades de paisagens, condicionadas por fatores geológico-geomorfológicos, altitude e climáticos. As unidades do alto curso foram definidas como sendo: caatingas secas em relevo dissecado em ravina, caatingas subúmidas em relevo dissecado convexo, matas úmidas em relevo convexo, matas úmidas em relevo dissecado aguçado, matas úmidas em relevo pediplano degradado inumado, matas úmidas em relevo tabular, matas subúmidas em relevo tabular e matas superúmidas em relevo dissecado aguçado, ver figura 5.

Conclusões

Os conhecimentos adquiridos forneceram indicativos sobre os limites dos geossistemas, facilitando assim caso se planeje realizar a delimitação dos sítios paisagísticos e estados vegetacionais para a delimitação dos geossistemas. Na escala utilizada os principais condicionantes na delimitação das paisagens foram geomorfológicos, porém em áreas maiores o fator de maior importância seria o macroclima.

O mapeamento geomorfológico, representa bem o relevo da bacia, mas deve-se levar em consideração a escala cartográfica utilizada e suas limitações, assim como conceber o mapeamento geomorfológico como meio para se desenvolver estudos, não a conclusão da pesquisa.

Assim existe sempre a necessidade de agregar novos dados e informações aos já existentes, para que dessa forma se tenha um banco de dados geográfico sólido.

A variação altimétrica se mostrou o principal fator determinante na variação pluviométrica da bacia, assim como na mudança fenológica e nas próprias unidades fitogeográficas, mas todos os dados influenciam e são influenciados.

Outro fator importante e que merece destaque é que na área com menor pluviosidade da bacia em relação a área com maior, há uma diferença anual de temperatura de 4,3° C. Sendo o posto de Garanhuns o com menor pluviosidade e maior altitude, apresenta a temperatura média anual de 20,2° C e altitude de 866 metros, enquanto que Santana do Mundaú apresenta 24,5 °C e altitude de 221 metros, percebe-se assim que a elevação também é um dos fatores atuantes na temperatura

Os postos pluviométricos apresentam uma grande quantidade de dados, além de boa integração com os outros dados utilizados na pesquisa, porém para uma análise mais detalhada seriam necessários dados com maior uniformidade entre os anos.

A averiguação biofísica dos componentes naturais se mostra de grande utilidade para a

Figura 5: Paisagens da bacia hidrográfica do alto curso do Rio Mundaú.

realização de estudo holísticos que buscam compreender a dinâmica de uma bacia, principalmente quando se é realizado através da modelagem cartográfica, que propicia um maior nível de detalhamento e análise, das áreas naturais. O que não seria possível sem o geoprocessamento, juntamente com as cenas de sensoriamento remoto, que permitem o estudo de grandes áreas.

Espera-se que com os conhecimentos gerados com esta pesquisa os gestores públicos e tomadores de decisão, utilizem-se dos dados para uma maior gestão e conservação dos recursos da bacia hidrográfica do alto curso.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade de Pernambuco (UPE) e ao Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Ambiental (LaGMA), a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

Referências

- Alexandre, F. S. et al., 2018. Geoprocessamento Aplicado ao Mapeamento das Unidades Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú - PE/AL. *Revista de Geologia (Fortaleza)*, 31, 159-168.
- Alexandre, F. S. et al., 2017. Aerofotogrametria de pequeno formato aplicada a realização da cartografia básica da cidade de Palmeirina-PE. In: A.; PEREZ FILHO, A.; AMORIM R. R. (org), *os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, UNICAMP, Campinas, 1, 5565-5572.
- Alexandre, F. S. et al., 2016. Geoprocessamento aplicado a análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do alto curso do rio mundaú-Pernambuco/Alagoas. In: *anais do 4º GeoAlagoas, SEPLEG, Maceió*.
- Bailey, R. G., 2009. *Ecosystem geography: from ecoregions to sites*. [S.l.]: Springer Science & Business Media. New York.
- Bertrand, G., 2004. Paisagem e geografia física global. *Esboço metodológico*. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, 1-12.
- Botelho, R. G. M., 1999. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 1 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Botelho, R. G. M.; SILVA, A. d., 2004. *Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. 1 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Brasil, 1997, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art, v. 21.
- Cassetti, V., 2005. *Geomorfologia*. [S.l.]: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>.
- Cavalcanti, L.; Corrêa, A., 2014. Da descrição de áreas às sínteses naturalistas: uma abordagem historiográfica sobre a ideia de 'áreas naturais'. *Espaço e Geografia (UNB)*, v. 17, 377-422.
- Cavalcanti, L. C. S., 2013. *Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas*. Tese (Doutorado). Recife, UFPE.
- Cavalcanti, L. C. S.; Corrêa, A. C. de B., 2017. Geossistemas e geografia no Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 61, 3-33.
- Chorley, R.; Haggett, P., 1975. Modelos, paradigmas e a nova geografia. In: Chorley, R. Haggett, P (Org), *Modelos socioeconômicos em geografia: Livros Técnicos e Científicos/USP*, Rio de Janeiro, 1-22.
- Chorley, R. J., 1969. The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. *Water, earth and man*, London, Methuen and Co. Ltd, p. 77-98.
- Christofolletti, A., 1980. *Geomorfologia*. 2. ed. Edgard Blucher, São Paulo.
- Christofolletti, A., 1969. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*. 9, 35-64,
- Christofolletti, A., 2007. *Modelagem de sistemas ambientais*. Edgard Blücher, Rio de Janeiro.
- Corrêa, A. C. B.; et al., 2010. Megageomorfologia E Morfoestrutura Do Planalto Da Borborema. *Revista do Instituto Geológico*. 31, 35-52.
- Crepani, E. et al. 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. *INPE*, São José dos Campos.
- Davis, C.; Fonseca, F. 2001. *Introdução aos sistemas de informação geográficos*. [Curso de especialização em geoprocessamento]. Belo Horizonte (MG): UFMG/Instituto de Geociências.
- Fitz, P. R. 2013. *Geoprocessamento sem complicação*. Oficina de textos, São Paulo.
- Gomes, D. D. M., 2015. *Geoprocessamento aplicado à análise e zoneamento dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio Mundaú - PE/AL*. Tese (Doutorado), Fortaleza, UFC.
- Gomes, D. D. M.; Medeiros, C.; Albuquerque, E. L. S., 2011. *Mapeamento dos níveis de degradação da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio jaibaras no semiárido*

- cearense para o período de 1985 a 2009. Fortaleza: IPECE.
- Gomes, D. D. M.; Mendes, L. M. S.; Medeiros, C. N. De; Verissimo, C. U. V., 2011. Análise multitemporal do processo de degradação da vegetação da bacia hidrográfica do rio jaibaras no estado do ceará. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 15, 41–62.
- Guerra, A. J. T.; Marçal, M. S., 2006. *Geomorfologia ambiental*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Haggett, P., 1967. Models, paradigms and the new geography. *Models in geography*, Methuen, p. 19–41.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2009. *Manual técnico de geomorfologia*. Rio de Janeiro.
- Isachenko, A. G., 1973. *Principles of Landscape Science and Physical-Geographic Regionalization*. Melbourne University Press.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F., 2006. World map of the köppen-geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 15, 259–263.
- Landim, P. M. B., 2000. *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*. UNESP, Rio Claro.
- Martinelli, M., 2011. Cartografia ambiental: uma cartografia diferente?. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 7, 61–80.
- Nascimento, F. R., 2011. Categorização de usos múltiplos dos recursos hídricos e problemas ambientais: cenários e desafios. In: *Os recursos hídricos do Ceará: integração, gestão e potencialidades*, Fortaleza, 30.
- Passarge, S., 1913. *Physiogeographie und vergleichende Landschaftsgeographie*. [S.l.: s.n.].
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M., 2015. *Sensoriamento remoto da vegetação*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Rodrigues, C., 2011. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. *Revista do Departamento de Geografia*, 14, 69–77.
- Rodriguez, J. M. M.; Silva, E. D.; Cavalcanti, A. P. B., 2004. *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. 1 ed. editora UFC, Fortaleza.
- Rosa, R., 2007. *Introdução ao sensoriamento remoto*. 7. ed. EDEFU, Uberlândia.
- Ross, J. L. S. 1990. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. 1 ed. Editora Contexto, São Paulo.
- Ross, J. L. S., 1992. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do departamento de Geografia*, 16, 17–29.
- Ross, J. L. S., 2006. *Ecogeografia do Brasil*. 1 ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Rouse, J.; Haas, R.; Schell, J., 1974. *Deering, D. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts*. NASA, 1-9.
- Santos, M., 1988. *Metamorfoses do espaço habitado*. 1 ed. EdUSP, São Paulo.
- Sochava, V. 1963. Algumas noções e termos da geografia física. *Relatórios do instituto de Geografia da Sibéria e do Extremo Oriente*, 3, 53.
- Sochava, V. The study of geosystems. In: *Reports of the Institute of Geography of Siberia and the fay East, special issue for the. XXIII Internacional Geographical Congress*. [S.l.: s.n.], 1976. p. 3–40.
- Sochava, V. B., 1977. O estudo de geossistemas. In: *Métodos em questão*. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, São Paulo, 51.
- Solnetsev, N. 2007. *The natural geographic landscape and some of its general rules*. Foundation papers in landscape ecology. Columbia University Press, New York.
- Souza, J. O. Praça; Corrêa, A. C. B., 2012. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. *Revista Mercator*. 11, 149-168.
- Torres, F. T. P.; Machado, P. d. O., 2012. *Introdução à hidrogeografia*. 1 ed. CENGAGE, São Paulo.
- Troll, C., 1968. *Geoecology of the mountainous regions of the tropical americas*(proceedings of the unesco mexico symposium, august. FDümmers, Mexico.
- Tundisi, J. G., 2003. Água no século xxi: enfrentando a escassez. In: *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. RiMA, São Carlos.
- Valeriano, M.; Rossetti, D.; Albuquerque, P., 2009. *Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional*. *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, 25-30.
- Viganó, H.; Borges, E.; Franca-Rocha, W., 2011. Análise do desempenho dos índices de vegetação ndvi e savi a partir de imagem aster. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba, 1828–1834.