Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Caracterização geomorfológica e morfométrica do gráben do rio Goiana – Pernambuco

Jaqueline Carla Roque Vicente¹, Gabriel da Nóbrega Monteiro², Max Furrier³

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pró-Reitoria de Graduação em Engenharia Ambiental - PRG. Universidade Federal da Paraíba. jqncarla@gmail.com (autor correspondente). ² Graduando em Geografia pelo Programa de Pró-Reitoria de Graduação em Geografia - PRG. Universidade Federal da Paraíba. gabrielnobreгамonteiro@hotmail.com. ³ Doutorado em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo, Brasil. Professor Adjunto, Nível IV da Universidade Federal da Paraíba. max_furrier@hotmail.com.

Artigo recebido em 16/08/2016 e aceito em 03/12/2016

RESUMO

Esse trabalho visa fazer a caracterização neotectônica da área de estudo por meio da análise morfológica da rede de drenagem e de cálculos morfométricos destinados à detecção de tectônica recente. A área em questão está localizada em um gráben pós-mioceno onde podem ser observados riscos geológico-geomorfológicos e impactos ambientais provenientes da intensa intervenção antropogênica. Para a realização desse estudo fez-se necessário uma pesquisa e o levantamento de dados pretéritos sobre a área de estudo tomando como base os dados obtidos por meio da vetorização das cartas topográficas de Goiana e Tejucupapo na escala de 1:25.000 com equidistância das curvas de nível de 10 m. Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para geração dos produtos cartográficos: cartas hipsométrica, de declividade e o Modelo Digital de Elevação (MDE). Os cálculos morfométricos aplicados para a análise neotectônica foram o Índice Relação Declividade/Extensão (RDE) e o índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV). Os resultados obtidos indicam uma forte influência neotectônica no padrão de drenagem da área, assim como também, fica evidenciado a interferência antropogênica presente na área investigada e suas adjacências.

Palavras-chave: Gráben do Rio Goiana; neotectônica; intervenções antropogênicas.

Geomorphological and morphometric characterization of Graben the Goiana river – Pernambuco

ABSTRACT

This article aims to make neotectonics characterization of the study area by making the morphological analysis of the drainage network and morphometric calculations for the recent tectonics detection. The area in question is located in a post-Miocene graben where it can be observed geological and geomorphological hazards and environmental impacts from intense anthropogenic intervention. For the realization of this study was necessary research and survey of past data on the study area based on the data obtained through vectorization of topographic maps of Goiana and Tejucupapo on the scale of 1:25.000 with equidistance of 10 m curves level. Geoprocessing techniques were used for generation of cartographic products: hipsometric letters, slope and digital elevation model (DEM). Morphometric calculations applied to the neotectonic analysis were the Index Value Slope/Extension (RDE) and the index Reason Fund/Valley Height (RFAV). The results indicate a strong neotectonics influence in the drainage pattern of the area, as also evidenced anthropogenic interference present in the investigated area and its surroundings.

Keywords: Graben of the Goiana River; neotectonics; anthropogenic interventions.

Introdução

A partir dos anos de 1970, vários pesquisadores ligados à geologia estrutural e à geotectônica começaram a voltar seus interesses para as atividades tectônicas ocorridas desde o final do terciário até o quaternário evidenciadas pela morfologia do relevo atual e das estruturas geológicas observadas (Lima, 2000). Os estudos voltados aos processos neotectônicos no Brasil têm sido cada vez mais explorados pela geomorfologia, como forma de entender a gênese e evolução de

formas de relevo. Esses processos geológicos desenvolvidos a partir do terciário superior e durante todo o quaternário são conhecidos como Neotectônica (Suguio e Martin, 1996). Para Pavlides (1989) neotectônica é o estudo de eventos tectônicos jovens, que ocorreram ou ainda estão ocorrendo em uma região qualquer, após sua orogênese ou após o seu reajustamento tectônico mais significativo.

Esse conjunto de processos ocorridos determina as principais feições do relevo atual da Terra. Mello e Ferrari (2003) afirmam que as presenças de feições tectônicas ativas originam formas de relevos diversificadas, como escarpas, deslocamentos de canais fluviais, basculamentos, subsidências, entre outros. Estes autores asseguram que a análise da rede de drenagem constitui um excelente guia de reconhecimento em estudos neotectônicos por ser o elemento da paisagem mais sensível a situações tectonicamente significativas.

Esse trabalho visa fazer a caracterização neotectônica da área de estudo por meio de cálculos morfométricos destinados, exclusivamente, para detecção de tectônica recente e confecção de produtos cartográficos que irão auxiliar nessa avaliação, tais como: carta de declividade, hipsométrica e modelo em 3D do terreno.

É de grande importância o estudo da rede de drenagem, pois é um dos elementos que melhor reflete a atuação da tectônica recente. Isso se dá porque a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e à elucidação de inúmeras questões geomorfológicas, visto que os cursos de água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na escultura da paisagem terrestre (Christofoletti, 1980).

Para esta análise da rede hidrográfica são utilizados diversos métodos. Na literatura brasileira, os métodos mais utilizados pelos pesquisadores para este tipo de análise são aqueles voltados à ruptura de perfis de equilíbrio, como o índice RDE (Relação Declividade/Extensão). Originalmente chamado de índice SL (*Slope-Length*) ou índice de gradiente (*Gradient-index*), o

mesmo foi proposto por Hack (1973) como forma de identificar e avaliar anomalias de drenagem ao longo dos perfis longitudinais dos rios de uma região do nordeste estadunidense.

Nesse sentido, este artigo objetiva constatar se a evolução da drenagem e do relevo da área de estudo ocorreu sob influência tectônica recente identificando trechos com possíveis anomalias de drenagem a partir da aplicação do índice RDE (Relação Declividade/Extensão) e RFAV (Razão Fundo/Altura de Vale) considerando a direção dos cursos de água e feições morfológicas desenvolvidas. Como grande parte da área de estudo encontra-se em um gráben, em que no seu interior existe uma planície aluvial e intermareal extensas, também foi feita uma análise a respeito de quais riscos geológico-geomorfológicos e quais impactos provenientes da intensa intervenção antropogênica na área.

Localização da Área de estudo

A área de estudo compreende as regiões correspondentes às áreas das cartas topográficas de Tejucupapo (SB.25-Y-C-VI-1-NO) e Goiana (SB.25-Y-C-V-2-NE) ambas em escala de 1:25.000, confeccionadas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1974) (Figura 1).

A área encontra-se inserida nos domínios da bacia hidrográfica do rio Goiana, na qual os seus principais tributários são os rios Capibaribe-Mirim, Tracunhaém e Goiana que correspondem as três sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica. Nos seus 10 km finais, o rio Goiana serve de divisa entre os estados de Pernambuco e Paraíba.

Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Elaboração própria (2016).

Caracterização Geológica

De acordo com o mapa geológico do estado de Pernambuco é encontrada na região estudada uma geologia bastante variada. Na Figura 2, a seguir, pode-se observar o mapa geológico modificado da área de estudo, extraído do mapa geológico de Pernambuco com escala de 1:500.000, e por isso a transição litológica e o traçado das zonas de falhas podem não estar precisamente localizados. Contudo, através de visitas de campo e busca na literatura mais antiga, considerou-se aceitável a sua utilização.

No contexto regional a área de estudo é composta pelas rochas Pré-cambrianas que compõem o Complexo Vertentes [Mve] (Biotita xistos, paragneisses, incluindo leucogneisses finos, quartzitos [qt], metadacitos, metamáficas, metavulcânicas intermediárias, metavulcano-clásticas, rochas calcissilicáticas e, mais raramente, metaultramáficas). Tais rochas encontram-se parcialmente expostas a noroeste da área, mais precisamente entre as nascentes dos afluentes dos rios Capibaribe-Mirim e Sirigi.

Os setores sudoeste, norte e sul da área são constituídos por sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras [Tb], unidade litoestratigráfica do Mioceno, que sustenta formas tabulares. A Formação Barreiras é a litologia predominante na área de estudo. Essa formação recobre as rochas

sedimentares do Grupo Paraíba, pertencentes à Bacia Sedimentar da Paraíba.

Já o setor centro-leste é constituído por sedimentos arenoargilosos inconsolidados do Quaternário [Qha] depositados por sistemas fluviais, principalmente oriundos de cursos de água situados na Formação Barreiras. Outro fator deposicional importante é a área sob influência das marés, definida pela extensa área de manguezais presentes na planície intermareal do rio Goiana.

Em menores proporções são identificadas a sudeste a Formação Beberibe [Kb] (arenitos friáveis médios a finos, cinzentos a cremes, mal selecionados), a Formação Gramame [Kg] a nordeste e Complexos Gnáissico Migmatíticos (ortogneisses de composição granítica a tonalítica, com presença de monzonitos, monzodioritos e dioritos) a sudoeste da área. (CPRM, 2001).

A formação do horsts e grábens é devido ao movimento combinado de faixas paralelas por ação tectônica com setores soerguidos e rebaixados por falhas normais dispostos alternadamente (Suguio, 1998). A existência do gráben do rio Goiana é uma evidência incontestável da influência neotectônica na área de estudo, porém, ainda sem os devidos estudos pormenorizados.

A geomorfologia se distingue consideravelmente em razão do substrato presente por toda a área, além dos rios estarem fortemente entalhados na Formação Barreiras quando os

mesmos possuem direção para o fundo do gráben. Além disso, os afluentes dos rios Capibaribe-Mirim e Sirigi estão inseridos em zonas de substrato cristalino (Complexo Vertentes), e apresentam-se fortemente estruturados com

inflexões e cotovelos. Essas morfologias nos canais não podem ser explicadas pela clássica geomorfologia fluvial, pois os cursos de água apresentam baixos fluxos.

Figura 2. Mapa geológico da área de estudo. Modificado de CPRM (2001). Fonte: Elaboração própria (2016).

Material e métodos

Para a realização deste trabalho fez-se necessário a pesquisa e o levantamento de dados sobre a área de estudo em fontes bibliográficas e cartográficas, análise de imagens de orbitais, além da pesquisa e observação de campo, utilização de técnicas de geoprocessamento para geração dos produtos cartográficos e aplicação de cálculos morfométricos destinados à verificação de tectônica recente.

Elaboração das cartas temáticas: Hipsometria e Clinográfica

O método utilizado neste trabalho apoiou-se na elaboração de produtos cartográficos digitais, desenvolvidos a partir da vetorização das cartas topográficas de Goiana (SB.25-Y-C-V-2-NE) e Tejucupapo (SB.25-Y-C-VI-1-NO), na escala de 1:25.000, com equidistância entre as curvas de nível de 10 m. Posteriormente as duas cartas foram unidas e, logo após, as cartas hipsométrica e clinográfica foram elaboradas utilizando o

software Spring 5.3 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) disponibilizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) de forma gratuita.

A partir das curvas de nível vetorizadas foram geradas as grades regular e irregular da área, resultando em redes que apresentam, respectivamente, as altitudes contidas no local e uma superfície com fâcies triangulares interligadas. Por meio dessas redes e da imagem MNT (Modelo Numérico do Terreno) foi criada na opção "modelo de dados" no Spring, dentro da "categoria temática" o plano de informação correspondente à altimetria. Em seguida as classes altimétricas foram criadas com a atribuição de suas devidas cores, indo de 0 a 160 metros (cota mínima e cota máxima, respectivamente).

Para a elaboração da carta clinográfica (de declividade) gerou-se uma *Triangular Irregular Network* (TIN) e o seu fatiamento, em seguida foi criado o plano de informação correspondente à declividade, e posteriormente as classes temáticas

que compõem a carta variando de <3% a >75% com a atribuição de suas respectivas cores.

Após a definição desses parâmetros, foram elaboradas as devidas cartas temáticas (hipsométrica e clinográfica) e a geração do seu *layout* no Scarta, que é uma das interfaces do Spring responsável por adicionar os elementos finais nas cartas, como as coordenadas, a escala, legenda, norte etc.

A definição das classes de declividades usadas neste trabalho foi baseada na qualificação das condições de declividade da EMBRAPA (2006). Essas classes foram explicitadas da seguinte forma:

- Plano (< 3%): superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
- Suave ondulado (3 – 8%): superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m, respectivamente), apresentando declives suaves.
- Ondulado (8 – 20%): superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados.
- Forte ondulado (20 - 45%): superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes.
- Montanhoso (45 - 75%): superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes.
- Escarpado (> 75%): áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito

íngremes e escarpamentos, tais como: aparados, itaimbés, frentes de *cuestas*, falésias, vertentes de declives muito fortes.

RFAV (Razão Fundo/Altura de Vale)

Um dos índices morfométricos utilizado neste trabalho foi o da Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV), também descrito por alguns autores como índice *VF* (*Valley Floor*). No entanto, na literatura brasileira há poucos registros de sua utilização na detecção de intensidade neotectônica, principalmente no nordeste brasileiro.

Segundo Andrades Filho (2010), os valores altos de RFAV são atribuídos, geralmente, a vales em forma de “U” ou vales abertos e os baixos referem-se a vales em forma de “V” ou vales encaixados, sendo utilizados para quantificar a morfologia do canal. O cálculo de RFAV, segundo Silva *et al.*, (2003), indica que os valores menores que um ($RFAV < 1$) podem ser considerados indicadores de neotectonismo, enquanto que os valores maiores que um ($RFAV > 1$) correspondem às áreas de estabilidade tectônica.

Essa técnica é balizada, exclusivamente, para áreas fluviais e consiste na medição da altura dos divisores de água do vale. As medições se fazem pela medida da Ade (Altura do divisor esquerdo do vale) e Add (Altura do divisor direito do vale), da Lfv (Largura do fundo do vale) e da Efv (Elevação do fundo do vale) (Figura 3).

Foram selecionados para esse cálculo nove perfis transversais aos rios inseridos na área de estudo. Esses perfis foram delimitados por dois divisores de água, tendo como referência os valores das curvas de nível e pontos cotados das cartas topográficas (Figura 7). Em seguida, determina-se a Lfv (Largura do Fundo de Vale) que é obtida através da medição da distância entre as duas últimas curvas de nível de cada lado do canal fluvial. Posteriormente obtêm-se o Efv (Elevação do fundo de vale) que é o valor da curva de nível mais próxima ao canal. E por fim encontram-se os resultados do RFAV inserindo os valores encontrados na expressão matemática utilizada para este cálculo.

Figura 3. Expressão matemática e procedimento de medida para se encontrar o índice morfométrico RFAV (Wells *et al.*, 1988).

Índice RDE

O índice de gradiente de canal (*stream gradient index*) que foi proposto por Hack (1973) é denominado por variados nomes, como por exemplo, Índice de Hack ou Índice SL (S de *slope* ou declive, e L de *length* ou extensão). Contudo, no Brasil esse índice foi denominado por relação declividade-extensão, ou RDE (Etchebehere *et al.*, 2004; 2006).

Segundo Andrade Filho (2010), o índice RDE é utilizado como forma de detecção de possíveis deformações neotectônicas através de parâmetros morfométricos obtidos a partir do perfil longitudinal do canal. Este índice é um indicador preciso acerca de mudanças na declividade do canal fluvial que podem estar associados às desembocaduras de tributários, às diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato rochoso e/ou à atividade tectônica.

O índice RDE pode ser calculado para toda a extensão de um rio caracterizando o

RDE_{total}, assim como para seus seguimentos caracterizando o RDE_{trecho}. Para esse cálculo são utilizadas as fórmulas que podem ser observadas na figura 4 a seguir. Onde ΔH é a diferença altimétrica entre dois pontos selecionados do curso de água, ΔL é o comprimento do trecho analisado e L corresponde à extensão total do canal da nascente até o ponto final do trecho para onde o índice RDE está sendo calculado (Martinez, 2005) (Figura 4).

Seeber e Gornitz (1983), ao aplicar o índice RDE (RDE_{tre}/RDE_{tot}) em rios do Himalaia, associou as classes de valores em limiares baseados nos resultados e estabeleceu uma ordem de categorias de anomalias, dando um significado para cada uma. Classificaram os valores de RDE entre 2 e 10 como anomalias de 2ª ordem, os valores superiores a 10 como anomalias de 1ª ordem. Valores inferiores a 2 não eram considerados anômalos.

Figura 4. Parâmetros utilizados no cálculo do índice RDE. Fonte: Martinez (2005).

Resultados e discussão

Caracterização qualitativa da rede de drenagem

Nessa pesquisa, a análise qualitativa da rede de drenagem foi dividida em dois momentos, no primeiro momento foram analisadas as características das bacias hidrográficas, e em segundo plano foram analisados os principais

fatores que estão ligados às redes de drenagem (Figura 5). As redes de drenagem são influenciadas, principalmente, pela geologia e geomorfologia. Já as bacias hidrográficas por serem muito sensíveis às mudanças em fatores internos e externos (como clima, morfoestrutura e a ação antrópica) guardam evidências de eventos geológicos ocorrido na área em que está assentada.

Figura 5. Visualização em 3D do Terreno com textura hipsométrica. Fonte: Elaboração própria (2016).

Como na área há uma homogeneidade litológica e climática os fatores que ajustam o padrão e a morfologia destas bacias são mais atrelados à tectônica recente. Não há possibilidade de essas morfologias serem desencadeadas excluindo o fator tectônico. Ao analisar a rede de drenagem da área de estudo como um todo, pode-se observar forte controle tectônico de suas drenagens. Apresentando fortes inflexões, por exemplo, como é o caso do médio curso do afluente do rio Capibaribe-Mirim e o rio Barra de Goiana, onde o primeiro faz uma inflexão de aproximadamente 90°, mudando seu sentido de leste para sul. (Figura 6).

O riacho Farias, localizado no setor noroeste da área estudada, entalha fortemente a Formação Barreiras, formando um vale fortemente encaixado, retilíneo e perpendicular ao rio Goiana e à linha de falha que confina o gráben. As declividades de suas vertentes são superiores a 20%, o que atesta uma forte incisão erosiva atual

colaborando para que esse rio esteja ajustado a uma linha de falha.

Já no alto curso da bacia do rio Tracunhaém, onde delimita a cidade de Condado é nítido a presença de inflexões e retilinidade em seu curso, na primeira inflexão a drenagem muda bruscamente sua direção de nordeste para sudeste formando um cotovelo de aproximadamente 90°, logo após há 2 km aproximadamente, apresenta outra inflexão, voltando para o seu sentido inicial a nordeste. Como a área está assentada em um resquício de um tabuleiro da Formação Barreiras, torna-se difícil ignorar a ação neotectônica no local.

Como uma das mais nítidas influências antrópicas temos a criação do canal do rio Goiana (CRG), que segundo Szabó (2010) a canalização e a construção de canais foram as primeiras intervenções humanas na evolução geomorfológica fluvial. A origem deste canal é do conhecimento de poucos na cidade e as obras foram inauguradas em 1870, essa construção levou muito tempo, partindo

da confluência dos rios Japomim e Capibaribe-Mirim até Goiana em linha reta (Nascimento, 1996). Esse canal foi muito importante para a economia, era através dele que Goiana escoava os

seus produtos agrícolas. Hoje, ainda se observa às suas margens um guindaste responsável por erguer as cargas de mercadorias que dali saíam e chegavam ao oceano através do rio Goiana.

Figura 6. Anomalias da rede de drenagem da área de estudo. Fonte: Elaboração própria (2016).

Hipsometria e Declividade

Kazimirski (2009) relata que a formação da maioria dos aglomerados urbanos deu-se com falta de planejamento. Em muitos casos a ocupação é feita de forma a não se pensar nos riscos que determinada área pode oferecer, como a ocupação das planícies fluviais estando, dessa forma, a população sujeita às inundações frequentes de magnitudes diversas. É o que acontece com a área urbana da cidade de Goiana inserida no Gráben do Rio Goiana e em suas proximidades. Com isso, foi

avaliado mediante a elaboração das cartas temáticas de hipsometria e declividade quais são os riscos provenientes da ocupação e ação antropogênica em uma região de gráben.

A carta de hipsometria indica os níveis de altitude de determinada área, unindo os pontos de altitude semelhante, transformando a representação do terreno original em faixas de classes temáticas (Barbosa, 2013). Então, a elaboração da carta hipsométrica permitiu algumas análises acerca do relevo da área de estudo (Figura 7).

Figura 7. Hipsometria das Cartas Goiana e Tejucupapo com os perfis traçados representando as áreas onde foram extraídas as informações para a realização do RFAV. Fonte: Elaboração própria (2016).

Através da análise dos dados altimétricos gerados, pode-se avaliar a porcentagem de área que cada classe altimétrica abrange na área de estudo. O resultado obtido é sintetizado na Tabela 1, no qual se pode notar que a classe de maior abrangência corresponde às cotas de 0 – 10 m, que caracteriza bem as planícies de inundação dos rios, as áreas de mangue, que têm essa média de altitude, e a região do Gráben de Goiana. Esta classe abarca 110,72 km² correspondente a 28,7% da área. A planície fluvial responsável por essa maior abrangência das cotas de 0 – 10 m na carta é a do Rio Goiana, rio de característica sinuosa, que é formado a partir da confluência dos rios Capibaribe – Mirim e Tracunhaém, com uma extensão de 19 km até a sua foz (Oceano Atlântico). É a classe de maior interesse para esse estudo, pois é onde a Sede

do Município de Goiana está inserida, na qual sua parte leste está localizada no gráben de Goiana.

As cotas com maiores níveis de altitude são as menos representativas, pois as classes correspondentes possuem as menores extensões geográficas. As cotas de 140 – 160 m (maiores altitudes) ocupam apenas 0,03% e as cotas de 120 – 140 m 1,86% da área. Essas áreas fazem parte dos Baixos Planaltos Costeiros sustentados pela Formação Barreiras. É nítida a diferença altimétrica entre os tabuleiros localizados ao norte (mais elevados) e os tabuleiros localizados ao sul. Esta diferença encontrada é mais uma forte evidência de tectônica pós-miocênica, pois os tabuleiros estão sustentados pela mesma litologia, os sedimentos da Formação Barreiras.

Tabela 1. Medida de área das classes temáticas de hipsometria das Cartas Goiana e Tejucupapo

Classes (m)	Área (km²)	Área (%)
140 - 160	0,12	0,03
120 - 140	7,17	1,86
100 - 120	17,15	4,44
80 - 100	34,05	8,82
60 - 80	62,20	16,11
40 - 60	55,26	14,32
20 - 40	60,89	15,77
10 - 20	38,43	9,95
0 - 10	110,72	28,7
Área total das classes:	385,99	100

Fonte: Elaboração própria (2016).

A carta de declividade ou clinográfica aponta a porcentagem da inclinação dos terrenos em determinada área (Barbosa, 2013). Com essa carta é possível identificar ocupações ou usos irregulares em declividades inapropriadas que podem vir a expor a população a situações de risco (Figura 8).

Através da análise dos dados gerados a partir da carta clinográfica, também se pode quantificar a porcentagem de área que cada classe de declividade abrange na área. O resultado obtido é sintetizado na Tabela 2, onde se pode observar que a classe de maior abrangência corresponde a de < 3%, que ocupa 200,20 km² e 53,80% da área estudada, que caracteriza bem as formas de relevo bastante planas, na qual a área da sede municipal de Goiana nas proximidades do CRG está inserida.

A segunda classe mais abrangente é a de 8 – 20 %, caracterizada por declives bem moderados, ocupando 76,74km² e 20,62% da área e em seguida a classe que varia de 20 – 45% compreendendo 14,03% da área total, que caracteriza declives fortes, bem nítida na região oeste da área estudada que corresponde principalmente às nascentes dos rios e riachos que compreendem a área.

A classe de declividade que possui menor representação geográfica é a > 75%, que ocupa 0,63 km² correspondente a 0,17% da área que corresponde às vertentes de declives muito fortes com maiores evidências também no setor oeste da área de estudo. Essa classe de declividade é bastante verificada nas vertentes voltadas para o gráben, o que reforça sua origem tectônica.

Figura 8. Mapa Clinográfico das Cartas Goiana e Tejucupapo. Fonte: Elaboração própria (2016).

Tabela 2. Medida de Área das classes temáticas de declividade das Cartas Goiana e Tejucupapo

Classes (%)	Área (km ²)	Área (%)
> 75	0,63	0,17
45 - 75	3,60	0,96
20 - 45	52,23	14,03
8 - 20	76,74	20,62
3 - 8	38,77	10,42
< 3	200,20	53,80
Área total das classes:	372,17	100

Fonte: Elaboração própria (2016).

A partir dos resultados obtidos com a geração dos mapas de hipsometria e declividade foi possível identificar que a sede da cidade de Goiana, onde seu setor leste está inserido no gráben de mesmo nome é uma área sujeita a inundação por ser caracterizada por baixas altitudes e topografia bastante plana. Devido a este fato, a grande expansão da área urbanizada da cidade é sentido oeste. As inundações são fatores impeditivos do crescimento da cidade para as áreas em direção a leste, norte e sul (Goiana, 2004).

Além das mudanças feitas nos cursos de água, onde alguns foram fortemente retificados por obras

de engenharia, como o CRG já mencionado, outra forte influência da ação do homem na área de estudo foi o mau uso dos recursos naturais acarretando a sua degradação e deterioração. Para Costa (2005), o crescimento desordenado das cidades nas últimas décadas se tornou uma condicionante responsável pelo aumento das concentrações antrópicas sobre áreas de interesse ambiental, como uma planície fluvial com suas matas ciliares. Durante as visitas de campo foi constatada que existem algumas ligações de esgoto diretas no CRG além do acúmulo de lixo que consequentemente aumenta o risco da população

em adquirir doenças por veiculação hídrica (Figura 9). Uma questão ainda muito importante a ser citada em relação à poluição das águas, não apenas do canal, como também de outros rios que cercam a região é a presença da intensa cultura canavieira na cidade, onde por vezes os efluentes gerados no

processo produtivo das Usinas canavieiras são destinados aos cursos dos rios. Os moradores que residem próximo ao CRG relataram a presença de um grande mau cheiro quando há a liberação desses efluentes.

Figura 9. Ligação direta de esgoto e presença de lixo no Canal do Rio Goiana. Fonte: Elaboração própria (2016).

Dados Morfométricos

Essa etapa do trabalho está baseada na medição e quantificação de feições morfológicas encontradas na área de estudo e na análise dos resultados obtidos. Os dados adquiridos podem não só evidenciar as atividades neotectônicas na bacia em questão, mas também quantificá-las.

Foi aplicado o cálculo do índice RFAV em nove perfis de rios e riachos, selecionados de forma distribuída na área de estudo, de modo a se obter resultados que abrangessem toda a área estudada. Os resultados obtidos nesse cálculo são apresentados na tabela 3 a seguir.

Avaliando os valores encontrados, pode-se constatar que o menor valor obtido foi o do Perfil 4 correspondente ao Riacho Pitanga com 0,29 de RFAV. Considerando Silva et al., (2003) que recomenda que os valores de RFAV menores que

um sejam considerados indicadores de tectônica ativa (valores em vermelho na tabela), enquanto os valores maiores que um indicam estabilidade tectônica e predomínio da erosão lateral, apenas o Perfil 3 (Riacho Ibeapeçu) não indica tectônica ativa com 1,31 de RFAV dentre todos os outros perfis analisados.

O RDE foi aplicado em sete canais de drenagem bem distribuídos na área de estudo. Todos os rios e riachos estudados foram subdivididos em três trechos para a obtenção dos resultados do RDE_{trecho} (Figura 10). Um dos critérios para a escolha das sub-bacias analisadas para a aplicação desse cálculo foi a sua total inserção na área de estudo que é um fator necessário para o cálculo do RDE_{total} .

A seguir são apresentados os dados necessários para a realização desses cálculos e os

respectivos resultados de interesse (Tabela 4). A aplicação do RDE_{trecho}/RDE_{total} que corresponde ao RDE_{real} permitiu a constatação de áreas que apresentam anomalias de 1ª ordem com valores maiores que 2 e menores que 10 em no mínimo um dos trechos nos quais foi aplicado o cálculo, não obtendo nenhum valor que corresponda a uma anomalia de 2ª ordem ($RDE_{real} > 10$). O maior valor observado foi no alto curso do Riacho da Ponte Branca (trecho 1) no qual o valor

obtido foi 6,3. Contudo, no cálculo do RDE_{total} , todas as sub-bacias selecionadas revelaram valores que indicam anomalia, com o Riacho da Ponte Branca expressando o maior valor ($RDE_{total} = 9,0$) e o Riacho Farias apresentou o valor de 4,14 representando o menor valor de RDE_{total} encontrado (Tabela 5). Portanto, presume-se que os altos valores de RDE verificados no curso dos rios estejam ligados a atividades de tectônica recente.

Tabela 3. Valores para o cálculo do índice morfométrico RFAV e o resultado obtido

Segmentos	Rios/Rch	Lfv (m)	Ade (m)	Add (m)	Efv (m)	Rfav
PERFIL 1	Riacho Farias	37	100	114	25	0,45
PERFIL 2	Rio da Guariba	37	84	76	30	0,74
PERFIL 3	Riacho Ibeapeçu	50	78	78	40	1,31
PERFIL 4	Riacho Pitanga	25	116	92	20	0,29
PERFIL 5	Riacho. Aruare	25	82	90	30	0,44
PERFIL 6	Riacho. do Boi	25	72	66	40	0,86
PERFIL 7	Riacho. Preto	25	136	80	80	0,89
PERFIL 8	Rio Capibaribe-Mirim	37,5	98	50	20	0,69
PERFIL 9	Rio Pangaú	22,5	82	50	20	0,49

Fonte: Elaboração própria (2016).

Figura 10. Localização da área dos cursos propostos para o cálculo do RDE, com destaque para os trechos escolhidos. Fonte: Elaboração própria (2016).

Tabela 4. Variáveis morfométricas da área de estudo para o cálculo do RDE Real

Bacias e sub-bacias hidrográficas	Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão Trechos (m)	RDE Trecho	RDE Real
Rch. da Ponte Branca(1)	Trecho 1	90	30	60	2206	56,7	6,3
	Trecho 2	30	20	10	4217	8,6	0,95
	Trecho 3	20	10	10	3096	7,6	0,84
Rch. do Boi (2)	Trecho 1	60	30	30	860	28,7	4,57
	Trecho 2	30	10	20	1172	16,13	2,56
	Trecho 3	10	10	0	576	0	0
Rch. Preta (3)	Trecho 1	110	70	40	1286	34,6	4,22
	Trecho 2	70	60	10	904	9,6	1,17
	Trecho 3	60	50	10	661	8,69	1,05
Afl. do Rio Capibaribe-Mirim (4)	Trecho 1	70	57	13	3498	7,73	1,25
	Trecho 2	57	45	12	811	10,06	1,63
	Trecho 3	45	17	28	1357	22,6	3,67
Rch. Farias (5)	Trecho 1	50	35	15	1922	12,3	2,97
	Trecho 2	35	32	3	1723	2,8	0,67
	Trecho 3	32	15	17	1060	16,5	3,98
Afl. do Rio Goiana (6)	Trecho 1	70	20	50	2690	43,0	5,37
	Trecho 2	20	5	15	1574	11,7	1,46
	Trecho 3	5	0	5	3622	1,87	0,23
Rio da Guariba (7)	Trecho 1	75	20	55	2284	9,7	1,11
	Trecho 2	20	10	10	1596	6,85	0,78
	Trecho 3	10	0	10	1627	41,22	4,74

Fonte: Elaboração própria (2016).

Tabela 5. Variáveis morfométricas da área de estudo para o cálculo do RDE total

Número	Bacias e sub-bacias hidrográficas	Diferença Altimétrica (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão Total (m)	RDE _{total}
1	Rch. da Ponte Branca	10	10	7239,76	9,0
2	Rch. do Boi	10	10	2871,48	6,28
3	Rch. Preta	45	45	2710,69	4,22
4	Afluente do Rio Capibaribe-Mirim	17	17	5554,27	6,16
5	Rch. Farias	15	15	4673,34	4,14
6	Afl. do Rio Goiana	0	0	6212,04	8,0
7	Rio Guariba	0	0	5551,29	8,7

Fonte: Elaboração própria (2016).

Conclusão

A principal finalidade desse estudo foi explorar evidências de neotectônica recente, através da análise morfométrica e das feições morfológicas desenvolvidas e a existência da ação antropogênica no gráben do Rio Goiana devido a sua ocupação. A caracterização morfológica e morfométrica da área possibilitam conhecer com maior nível de detalhe o relevo e a geometria dos padrões de drenagem, proporcionando a visualização de possíveis áreas de risco de ocupação do uso da terra e demais interferências

antrópicas, permitindo que se tenha um melhor diagnóstico da evolução natural da paisagem.

Ocorrem importantes modificações antropogênicas tais como retificações e canalizações de rios, o que ocasionou mudança no uso e ocupação do solo e aumento da vazão destes. Com a elaboração dos mapas de hipsometria e declividade foi possível detectar que os riscos que a comunidade que ocupa as regiões que abrangem o gráben do Rio Goiana e suas proximidades são as inundações da planície ocupada e os alagamentos das casas. Além de estarem sujeitos às doenças devido à contaminação dos cursos de água

provocadas pelos resíduos sólidos e os efluentes domésticos e industriais que são despejados

Por meio das análises morfológicas da rede de drenagem foi possível detectar evidências neotectônicas, como: recuo acentuado de cabeceiras, inflexões, canais retilíneos e direções anômalas. E através dos cálculos morfométricos realizados (RDE e RFAV), foi plausível constatar a possível presença de atividades tectônicas recentes atuantes sobre a área de estudo. Estes índices, pouco utilizados no Brasil, mostraram ser de grande importância, por possibilitar uma avaliação rápida, eficaz e de baixo custo acerca do quadro neotectônico da região.

Agradecimentos

A Deus por ter concedido força e perseverança para superar as dificuldades. E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Referências

- Andrades Filho, C. O., 2010. Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos, INPE.
- Arai, M., 2006. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geologia USP* 6, 1- 6.
- Barbosa, T. S., 2013. Aplicação de índices geomórficos para análise morfológica e neotectônica da bacia do rio Marés – PB. Monografia (Graduação). João Pessoa, UFPB.
- Christofolletti, A., 1980. *Geomorfologia*. Edgard Blücher, São Paulo.
- Costa, M. V., 2005. Uso das Técnicas de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará. XXVIII Congresso brasileiro de ciências da comunicação, 1-15.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2001. Mapa Geológico do Estado de Pernambuco. Recife.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro.
- Etchebehere, M. L.; Saad, A. R.; Santoni, g.; Casado, F. C.; Fulfaro, V. J., 2006. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, região Ocidental Paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-extensão) em segmentos de drenagem. *Geociências* 25, 271-287.
- Goiana, 2004. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Goiana.
- Hack, J. T., 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the United States Geological Survey* 1, 421-429.
- Kazimirski, V. V.; Vanz, J.; Neckel, A.; Julio, A. L.; Angra, D. C., 2009. Diagnóstico das degradações ambientais ocorridas no Rio Marau, Município de Marau – RS. *Centro Científico Conhecer - Enciclopédia biosfera* 5, 1-15.
- Lima, C. C. U., 2000. O Neotectonismo na Costa do Sudeste e do Nordeste Brasileiro. *Revista de Ciência e Tecnologia* 15, 91-102.
- Martinez, M., 2005. Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do Rio Pirapó: o perfil longitudinal. Dissertação (Mestrado). Maringá, UEM.
- Mello, C. L.; Ferrari, A. L., 2003. Neotectônica. *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Apostila do curso de Neotectônica* 9.
- Nascimento, M. R., 1996. *Crônicas Goianenses*. Carlos Eduardo, Recife.
- Pavlidis, S.B., 1989. Looking for a Definition of Neotectonics. Citação eletrônica [online]. Disponível: <http://inqua.nlh.no/>. Acesso: 10 jun. 2016.
- Seeber, L.; Gornitz, V., 1983. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics* 92, 35-367.
- Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C., Bardajm, T., 2003. Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. *Geomorphology* 250, 203-226.
- SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, 1974. Folha Tejucupapo (1:25.000) SB.25-Y-C-VI-1-NO. Recife.
- SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, 1974. Folha Goiana (1:25.000) SB.25-Y-C-V-2-NE. Recife.
- Suguio, K., 1998. *Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Suguio, K., Martin, L., 1996. The Role of Neotectonics in the Evolution of the Brazilian Coast. *Geonomos* 4, 45-53.
- Szabó, J., 2010. Water Management, in: Szabó, J.; Dávid, L.; Lóczy, D. *Anthropogenic Geomorphology: A guide to Man – Made Landforms*. Springer, Pécs, pp. 163-177.
- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, C. M., Drake, P. A., Karas, K.I., Kelson, K. I., Ritter, J. B., Wesling, J. R., 1988. Regional variations tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology*, Amsterdam, pp. 239-265.