



USO DA FERRAMENTA MATLAB NA AQUISIÇÃO DO ÍNDICE K_{sn} PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS BAGRES –MG

USE OF THE MATLAB TOOL IN THE ACQUISITION OF THE K_{sn} INDEX FOR THE RIO DOS BAGRES HYDROGRAPHIC BASIN –MG

USO DE LA HERRAMIENTA MATLAB EN LA ADQUISICIÓN DEL ÍNDICE K_{sn} PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO DOS BAGRES – MG

Alex de Souza¹

¹Professor Msc. Sec. Educação de MG, mestre em Geografia pela Universidade Federal de Viçosa – Ubá/MG, CEP: 36504-230 Email: alex.s@educacao.mg.gov.br, ORCID <https://orcid.org/0009-0006-0732-6144>

André Luiz Lopes de Faria²

²Prof. D.Sc. Centro de Ciências Humanas Letras e Artes, Departamento Geografia, Av. PH Rolfs s/n, Centro, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, CEP 36571-000 - e-mail: andre@ufv.br <https://orcid.org/0000-0003-0492-9725>

RESUMO

O uso de softwares é cada vez mais comum em todos os ramos de todas as ciências; na Geografia, e sobretudo na Geomorfologia, não é diferente. Para este estudo, utilizou-se a ferramenta MATLAB e sua extensão Topo ToolBox para cálculos logarítmicos complexos, a fim de se calcular o Índice K_{sn} , conhecido também como taxa de erosão. Esse índice calcula a relação da energia dos canais fluviais com as vertentes pelas quais esses canais drenam, levando em consideração a litologia e eventos tectônicos, como o soerguimento. Todos esses elementos, quando comparados com análises de campo, mostram grande eficiência, portanto sua análise é bastante valiosa quanto ao estudo da evolução da paisagem geomorfológica. Na Bacia do Rio dos Bagres, em Minas Gerais – BR, este estudo mostrou resultados bastante precisos. Os pontos de alto valor do índice K_{sn} , quando comparados com as análises de campo, mostraram os pontos em que a falha geológica que corta toda a bacia no sentido NE/SW tem papel fundamental na evolução da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio dos Bagres.

Palavras-chave: Paisagem. Bacia Hidrográfica. Rio dos Bagres. Índice K_{sn} .

ABSTRACT

The use of software is increasingly common in all branches of all sciences; in Geography, and especially in Geomorphology, it is no different. This study used the MATLAB tool and its Topo ToolBox extension for complex logarithmic calculations, in order to calculate the K_{sn} Index, also known as erosion rate. This index calculates the energy ratio of the river channels in relation to the slopes through which these channels drain, taking into account lithology and tectonic events, such as uplift. All of these elements, when compared with field analysis, show great efficiency, therefore their analysis is very valuable in the study of the evolution of geomorphological landscape. In relation to Rio dos Bagres Basin, in Minas Gerais - BR, this study showed very accurate results. The high value points of the K_{sn} index, when compared with the field analysis, showed the points where the normal geological fault that cuts across the entire basin in the NE / SW direction plays a fundamental role in the evolution of the landscape of Rio dos Bagres Hydrographic Basin.

Keywords: Landscape. Hydrographic Basin. Rio dos Bagres. K_{sn} index.



INTRODUÇÃO

Atualmente a ciência passa por transformações muito rápidas, considerando o avanço tecnológico e a utilização de técnicas e métodos que permitem não apenas a integração de dados e informações, mas também análises complexas da realidade. Um exemplo desta situação é a forte introdução de complexos cálculos nas ciências naturais e sociais.

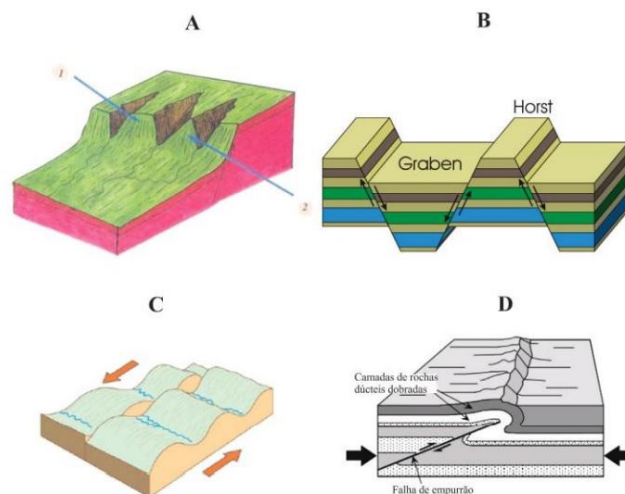
Neste estudo, foram aplicados índices métricos, que nos dão subsídios teóricos para entendimentos da evolução da paisagem. Os cálculos mostram áreas com maior incidência fluvial nas vertentes que, por sua vez, revelam suas cicatrizes litológicas e evolutivas, as quais nos ajudam a entender seu passado e, conseqüentemente, gerir melhor as formas de apropriação e uso nessas áreas.

A evolução da paisagem em margens passivas está atrelada a vários fatores como falhamentos, contatos litológicos, erosão diferencial por conta da energia utilizada em seu processo de formação, além da erosão diferencial das diferentes litologias e também relacionadas a sua rede de drenagem.

Nos estudos geológicos e geomorfológicos, os eventos tectônicos são fundamentais para as análises, pois as rupturas relacionadas a estes eventos modelam o relevo (Soares; Fiori, 1976 *apud* Bezerra, 2003), e definem como as formas de relevos são estruturados.

As falhas são exemplos de rupturas, desnivelamentos ou descontinuidades das camadas da crosta, que, por ocasião de movimentos tectônicos aliados à sua rigidez, provocam modificações no relevo, as quais podem ser de centímetros a quilômetros. Esses esforços proporcionam o aparecimento de formas de relevo, que, no caso da área de estudo, constituem uma das feições mais proeminentes da bacia, ou seja sua escarpa (Figura 1). Escarpa de falha é resultante do deslocamento vertical ou horizontal de blocos falhados ou da exumação de plano de falha anteriormente truncado pela erosão. Ocorre nas zonas de falhamentos verticais e/ou transcorrentes, em morfoestruturas constituídas de rochas rígidas e nos contatos destas com bacias sedimentares subsidentes.

Figura 1 – (A) Facetas desenvolvidas em escarpas de falha (1 - faceta trapezoidal; 2 - faceta triangular), originadas por falhamento normal. (B) Feições morfotectônicas de horsts e grabens, originadas por falhamento normal. (C) Feição morfotectônica Shutter Ridge, ao longo de uma falha strike slip. (D) Colinas anticlinais (upwarps) produzidas quando as camadas que se encontram sobre a falha são dobradas.



Fonte: (A) <http://pt.slideshare.net/Cica2010/geomorfologia-geral-e-do-brasil>. Acesso em: 18 maio 2016; (B) <http://tyhugibax.freeiz.com/what-are-horst-and-graben.php>. Acesso em: 18 maio 2016; (C) Huggett, 2011. (D) <https://gsc350.wikispaces.com/1994Northridgeearthquake>. Acesso em: 18 maio 2016.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio dos Bagres localiza-se nos municípios de Guiricema, Ervália e Guidoal, Zona da Mata de Minas Gerais, com as coordenadas geográficas: 20° 59' 04.32" S e 22° 37' 43.17" na sua nascente a 21° 05' 30.95" e 22° 47' 26.24" na sua foz, como pode ser observado no mapa de localização da bacia (Figura 2). O Rio dos Bagres é um rio de 3º ordem, com um trajeto linear de aproximadamente 15 km, além de ser uma importante área de recarga do Rio Xopotó, o qual, por sua vez, junto com o Rio Pomba, fazem parte da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul.

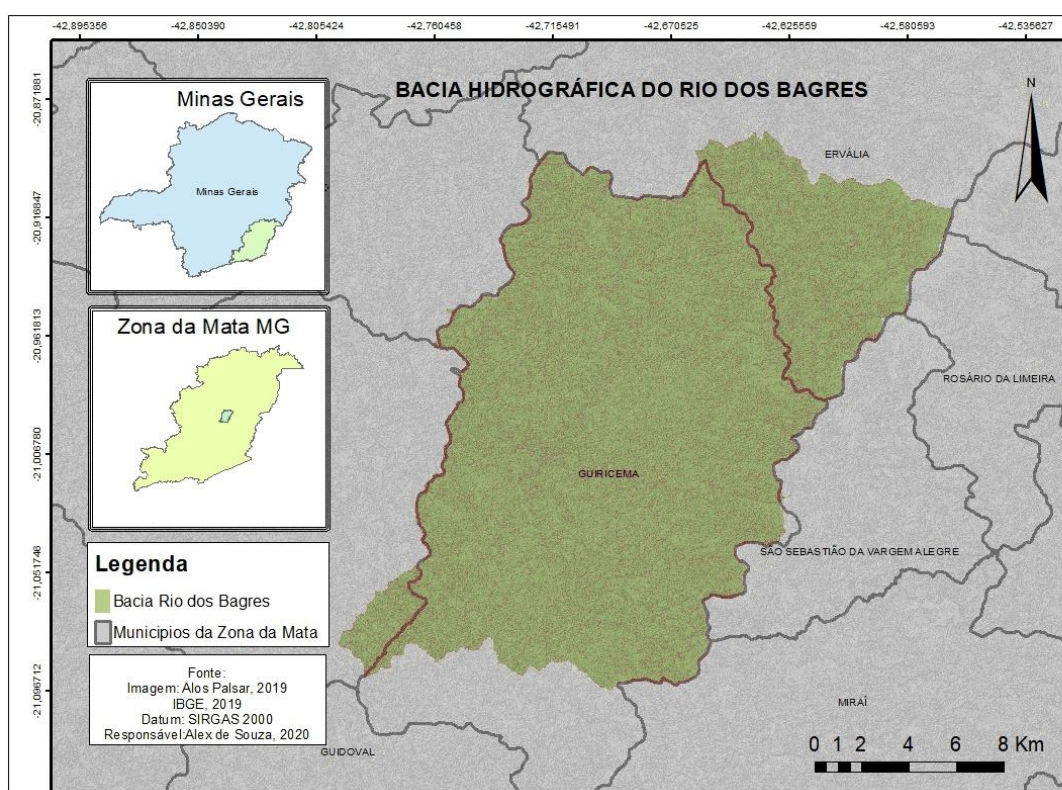


Figura 2 – Localização da Bacia do Rio dos Bagres.

Fonte: IBGE, 2019.

Pela classificação de Köppen o clima predominante na região é o Cwa Mesotérmico, com temperatura média, no mês mais quente, acima de 22 °C. A evolução geológica da área mistura eventos estruturais muito antigos que se relacionam ao evento brasileiro, na sua formação geológica; e ao mesmo tempo, suas transformações, como a compartimentação geomorfológica, relacionados a reativações de falhas e coluviais de idade quaternária, conforme Tupinambá (2013) e Oliveira (2018).

Encontram-se na área de estudo, segundo Dep. Solos UVF (2010) e EMBRAPA (2018), os seguintes tipos de solos: Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Nitossolos; além de solos Hidromórficos e afloramentos de rocha.

A área de estudo faz parte do Complexo da Serra da Mantiqueira Setentrional, porção da Serra da Mantiqueira que tem substrato litológico arqueano e proterozóica. Sua

origem tectônica remonta, portanto, à história registrada entre o pré-cambriano e o eopaleozóico, que deu origem a diversas associações migmatíticas e metamórficas, bem como a inúmeros complexos ígneos. Isso explica a ampla variedade de tipos litológicos do embasamento exposto, Almeida e Carneiro (1996).

Parte de seu relevo é característico do domínio dos Mares de Morros, onde predominam as formas mamelonares, isto é, a forma “meia laranja” (Ab Saber, 1957).

Os vales fluviais são abertos, a área é bem drenada e o entorno da bacia caracteriza-se por um relevo escarpado.

A área apresenta três compartimentos topográficos, bem definidos: estruturas escarpadas nos divisores da bacia, formas mamelonares e vales fluviais abertos (Figura 3).

MAPA 3D DA BACIA DO RIO DOS BAGRES

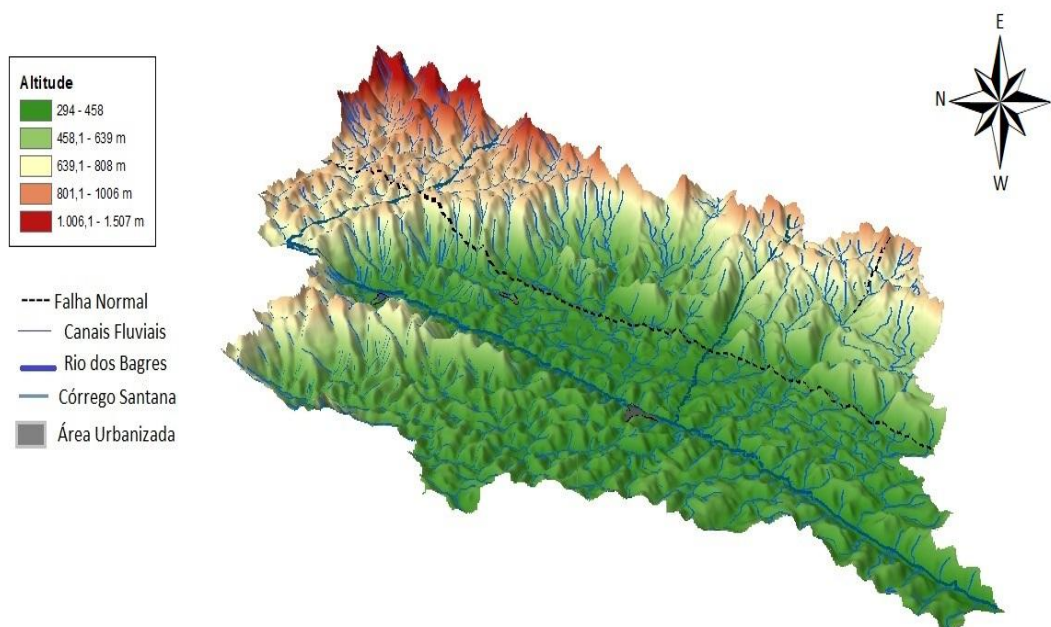


Figura 3 – Imagem 3D da Bacia do Rio dos Bagres.

Fonte: IBGE, 2019.

Localizada na Faixa da Ribeira, a Depressão do Alto Rio Pomba tem como uma de suas subdivisões a Depressão Ubá, que por sua vez é drenada pelo Rio Xopotó e seus afluentes. O Rio dos Bagres é seu principal afluente pela margem esquerda. Ambos pertencem a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

O divisor de águas da Bacia Hidrográfica do Rio dos Bagres ao norte é o Planalto de Cimeira da Mantiqueira, com altitudes entre 800 e 1500 m; a leste, a Serra do Pai Inácio; e ao sul, na foz do Rio dos Bagres, que desagua no Rio Xopotó, encontra-se a Depressão Ubá.

O Rio dos Bagres tem grande parte do seu canal em forma retilínea, em consequência de sua rede de drenagem estar encaixada entre dois complexos geológicos distintos. Segundo Davis (1954), na maioria dos casos existe uma relação entre a drenagem e a estrutura geológica, já que os canais fluviais aproveitam zonas de fraquezas, controladas em grande parte pela litologia, ou seja, fraturas, falhas, discordâncias, eixos, dobras, acamamento, foliação. Dessa forma, é de

fundamental importância o condicionamento das drenagens com a sua estrutura geológica.

A bacia tem o Complexo Juiz de Fora na sua margem direita e as rochas do Complexo Mantiqueira na esquerda. Um ponto importante a ser considerado é a assimetria da malha de canais das margens esquerda e direita do canal principal. Para Oliveira (2018), a Bacia Hidrográfica do Rio dos Bagres é do tipo dendrítica em sua margem direita, enquanto na esquerda é retangular, evidenciando uma evolução diferenciada nas duas margens, resultado das mudanças nos níveis de base na margem esquerda do canal principal, que teve seus canais realinhados por meio das reativações nas falhas, que deram origem ao escalonamento no complexo Juiz de Fora.

Encontra-se na Bacia uma escarpa de falha onde se forma uma área desnível que acompanha a bacia no sentido NE/SW. Ao longo da falha temos a formação de degraus ou patamares topográficos, onde os canais que drenam da parte mais alta para o interior da bacia, formando pontos onde os canais ganham muita força, que por sua vez promovem maior mudança nas características do relevo. Os trechos onde temos um menor atrito entre essas condições são em áreas de leitos rochosos onde a água ganha mais velocidade. Esses pontos de leito rochoso nos canais geram os *Knickpoints*, estes são secções subitamente íngremes no perfil longitudinal de um curso de água, vulgarmente, também denominado por ruptura de declive (Goudie, 2004).

Podemos perceber a compartimentação geomorfológica em três patamares distintos, a dissecação diferenciada dentro desses patamares, a baixa sinuosidade do canal principal (Rio dos Bagres), além do papel fundamental dos canais fluviais na evolução da paisagem.

Atualmente a forma estrutural da Bacia Hidrográfica do Rio dos Bagres é de um hemigrabem, quando um dos lados é definido por falha normal e o outro, por rejeitos ou flexuras em pequenas falhas (Neves, 2011).

Dentro dos estudos que relacionam a rede de drenagem e a modelagem das formas a análise dos perfis longitudinais tem destaque, já que através do mesmo se tem a relação altimétrica e espacial desses canais sobre essas vertentes, porém outros fatores interferem nessa relação e uma delas é a variabilidade de resistência das rochas dentro da mesma área, dessa forma índices como o SL (Slope x Length), ou Declividade x Extensão, proposto por Hack (1973), que originalmente serviu como método de identificação dos controles que a litologia exerce sobre a modelagem da paisagem, sobretudo nos canais anômalos, ou seja, com *Knickpoints*. Posteriormente, esse mesmo índice começou a ser usado para identificação de desequilíbrio dos canais fluviais como resultado de eventos tectônicos ou climáticos (Merritt; Vicent. 1989; Keller; Pinter, 1996; Brookfield, 1998; Etchebehere *et al.*, 2004; 2006).

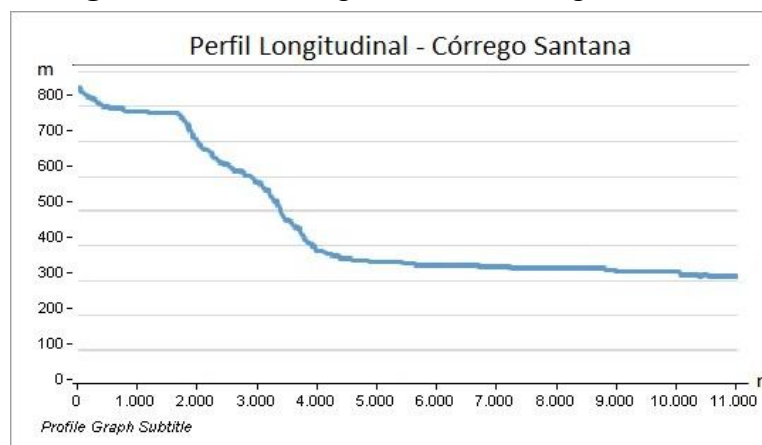
A Bacia do Rio dos Bagres por conta de reativações de falhas foram criados knickpoints (figuras 4 e 5), em áreas de falhas com alto valor energético dos canais fluviais, um exemplo é o canal principal da bacia, o Rio dos Bagres e, o córrego Santo Santana, porém hoje o Knickpoint do Córrego Santana, já se encontra mais distante da falha, caracterizando um processo de recuo.

Figura 4 – Perfil Longitudinal do Rio dos Bagres.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 – Perfil Longitudinal do Córrego Santana.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Valores baixos ou altos de SL podem estar relacionados a determinada litologia da área, que dê menor ou maior resistência aos canais fluviais (Merritt; Vicent. 1989; Keller; Pinter, 1996; Brookfield, 1998), porém não existem critérios objetivos para determinar os valores dessa variável (Goldrick; Bishop, 2007).

Várias técnicas e índices foram criados para complementar os resultados do índice de SL. Com o crescente incremento tecnológico ligado a cálculos complexos, com ferramentas de análises topográficas, não é diferente. Dados espaciais, algoritmos e cálculos podem ser trabalhados em softwares que se comunicam com ferramentas SIG como ArcGIS e QGIS (como o software MATLAB, que foi usado neste estudo com o complemento Topo Toolbox), que por sua vez retiram informações quantitativas de MDEs (Modelos Digitais de Elevação). Dessa forma, cálculos para toda a bacia hidrográfica ou mesmo em nível regional podem ser feitos de forma mais simplificada. O cálculo conhecido como *StreamProfiler* foi a primeira ferramenta de referência desenvolvida para a análise de gráficos log[S]-log[A], ou seja, cálculo logarítmico de S, que é usado para o gradiente altimétrico e A, que é usado para área, no qual pode-se fazer uma extração do índice usado neste estudo como complemento do cálculo de SL Global (Wobus *et al.*, 2006; Forte; Whipple, 2019).

Os diferentes índices matemáticos ligados à modelagem da paisagem têm como base os canais fluviais; estes, por sua vez, através do seu nível de base, determinam os

desníveis altimétricos das vertentes. Essas mudanças acontecem dentro de um determinado tempo e os perfis longitudinais dos canais se transformam em heranças de modificações climáticas e ou perturbações tectônicas como falhas e soerguimentos. Os estudos dos perfis longitudinais mostram as incisões dos canais fluviais, migrações a montante de *Knickpoints* e a evolução das paisagens erosivas ao longo do tempo (Lague, 2014). Dentro desse quadro, o modelo *stream-power* mostra que a taxa de incisão de rios de leito rochoso, erosão do leito (E) é uma função exponencial da área de drenagem (A), da declividade local dos canais fluviais (S) e de um coeficiente de erodibilidade (K) que incorpora tanto a resistência das rochas expostas frente aos processos erosivos, quanto parâmetros climáticos e hidrológicos (Whipple; Tucker, 1999); Kirby; Whipple, 2012).

$$E = KA^MS^N$$

Onde M e N são coeficientes positivos empíricos, dependentes da hidrologia da bacia, da geometria dos canais fluviais e dos processos de incisão fluvial dominantes (abrasão e arrancamento). Porém, como a área de estudo se encontra em uma área de baixa atividade sísmica, essas variáveis ficaram constantes (Whipple; Tucker, 1999); Kirby; Whipple, 2012); Lague, 2014.

A evolução topográfica de uma área ao longo do tempo, ou seja, a taxa de mudança da elevação (z) pelo tempo (t), é descrita como a diferença entre a taxa de soerguimento de rocha (U) e a taxa de incisão vertical do leito fluvial (E). Para tal cálculo, é usado:

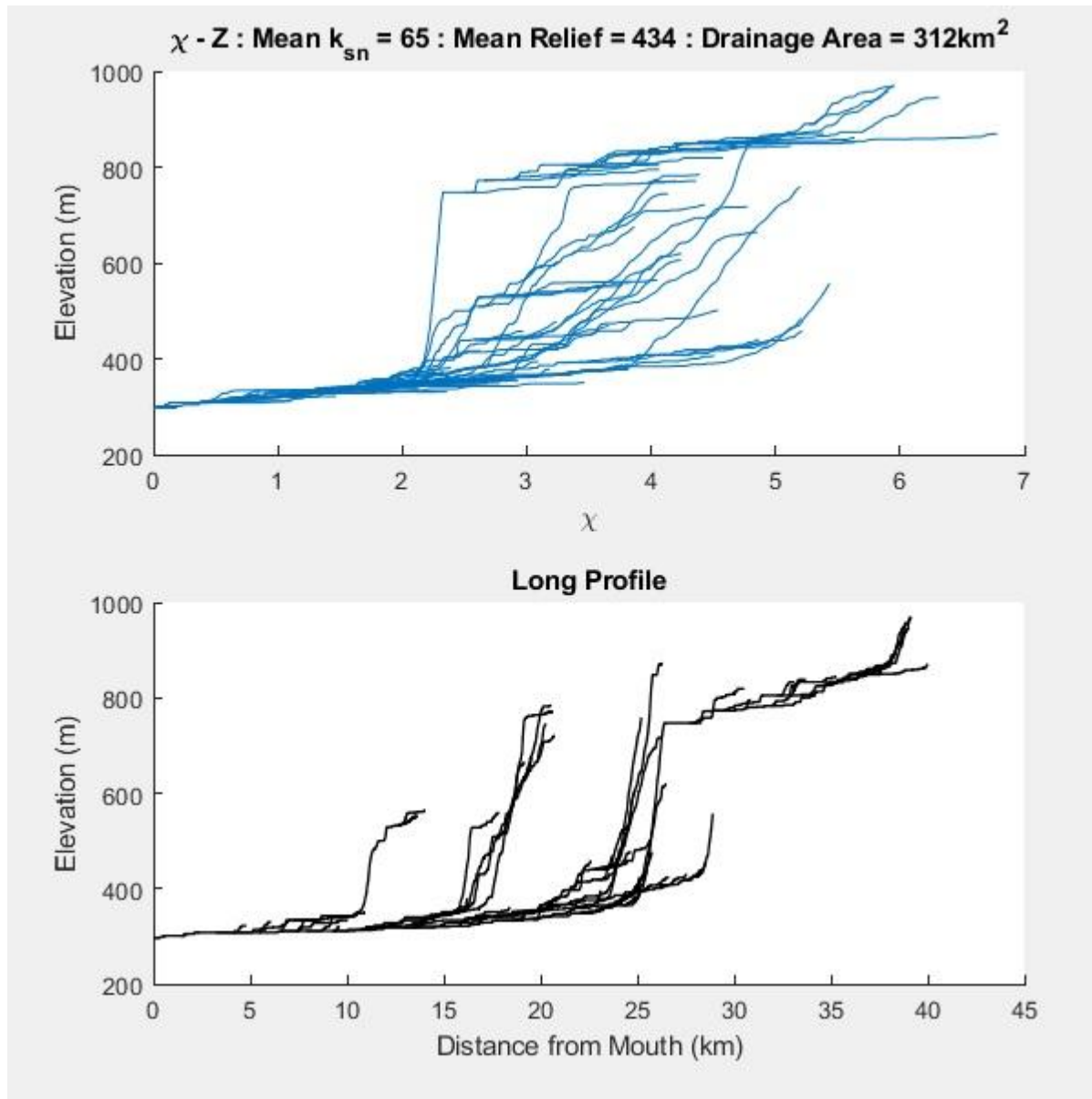
$$U = KA^MS^N$$

Vários trabalhos demonstraram uma relação positiva, porém não linear na maioria das vezes, entre taxas de denudação e valores médios de K_{sn} por bacia hidrográfica (Wobus, 2006; Ouimet, 2009; Dibiasi, 2010; Kirby & Whipple, 2012; Lague, 2014; Harel *et al.*, 2016. Ou seja, bacias caracterizadas por valores altos de K_{sn} apresentam também taxas altas de denudação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram usados nessa etapa os softwares ArcGis® e MATLAB®. O primeiro serviu para tratamento do MDE (Modelo Digital de Elevação), baixado de ASF Data Search, usando o sensor Alos Palsar, com a resolução espacial de 12,5 metros (Figura 6) e o segundo fez o cálculo da rede de drenagem com a função MakeStreams e do índice K_{sn} , através da linha de comando KSNGrid; porém, essa tarefa, no MATLAB®, só funciona com o complemento Topo ToolBox, que serve ao software para estudo de análise topográfica. O MATLAB® cria uma análise logarítmica dos canais fluviais em relação à topografia, gerando os *Knickpoints* (Figura 6) e, conseqüentemente, os pontos dentro da área de análise com maior taxa de erodibilidade (K_{sn}) em função das variáveis do índice (Wobus *et al.*, 2006); Forte & Whipple, 2019). Neste estudo, essas variáveis tiveram valores constantes iguais a 0 (zero), já que o interesse não estava em análises da mudança dessas variações e sim na taxa de erodibilidade para a bacia.

Figura 6 – Declividades dos canais e criação de *Knickpoints* da Bacia do Rio dos Bagres usando o índice K_{sn} . No primeiro gráfico estão todos os canais fluviais criados no MATLAB para a Bacia do Rio dos Bagres, calculando o valor K_{sn} médio da bacia e no segundo gráfico estão os canais e seu cálculo médio da distância dos *Knickpoints* até suas respectivas nascentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O MATLAB®, cria o mapa usando os cálculos especificados anteriormente em uma imagem RGB na extensão .TIF, o que é reconhecida pelos softwares que trabalham na plataforma GIS, como o Arcgis®. No ambiente do Arcgis foram anexados os shapfiles das falhas e lineamentos geológicos para as análises conjuntas dessas características.

O desenvolvimento e dinamização de ferramentas para análises topográficas e criação de diferentes ‘plataformas’ capazes de executar as mesmas funções incorporadas nos SIGs convencionais (e.g. ArcGIS® e QGIS®), ou mesmo da comunicação entre essas plataformas, além de subsidiar os últimos avanços teóricos em análises topográficas, fizeram com que análises topográficas ganhassem ainda mais consistência e rapidez

(Schwanghart; Kuhn, 2010; Schwanghart; Scherler, 2014; Mudd *et al.*, 2014, 2018, 2019); Forte; Whipple, 2019). Essas ferramentas consistem em um conjunto de algoritmos capazes de executar análises topográficas complexas a partir de comandos básicos, sem exigir a execução de inúmeros processos isolados (Schwanghart; Scherler, 2014; Mudd *et al.*, 2019). Assim, hoje é possível reproduzir análises topográficas executadas a partir dessas plataformas, desde que se tenha acesso ao MDE da área analisada (Mudd *et al.*, 2019).

O modelo streampower de análise geomorfológica tem grande aceitação na comunidade científica atualmente (Kirby; Whipple, 2012; Lague, 2014), o que é resultado, em grande medida, de formulações matemáticas em processos de incisão fluvial. Devem ser ressaltadas aqui algumas limitações deste estudo, já que, ao calcular a taxa de erosão ou a saída desse material do sistema, o estudo não contempla os depósitos desse material, tampouco a diferença entre maior ou menor competência dos canais fluviais em períodos de menor vazão (e.g., Sklar; Dietrich, 2001; Finnegan *et al.*, 2007; Cook *et al.*, 2013). Os cálculos que foram iniciados nos estudos de Hack (1973) e hoje são amplamente disseminados em vários outros índices quantitativos são os que dão a melhor resposta quantos aos questionamentos da modelagem das formas de relevo relacionadas aos canais fluviais.

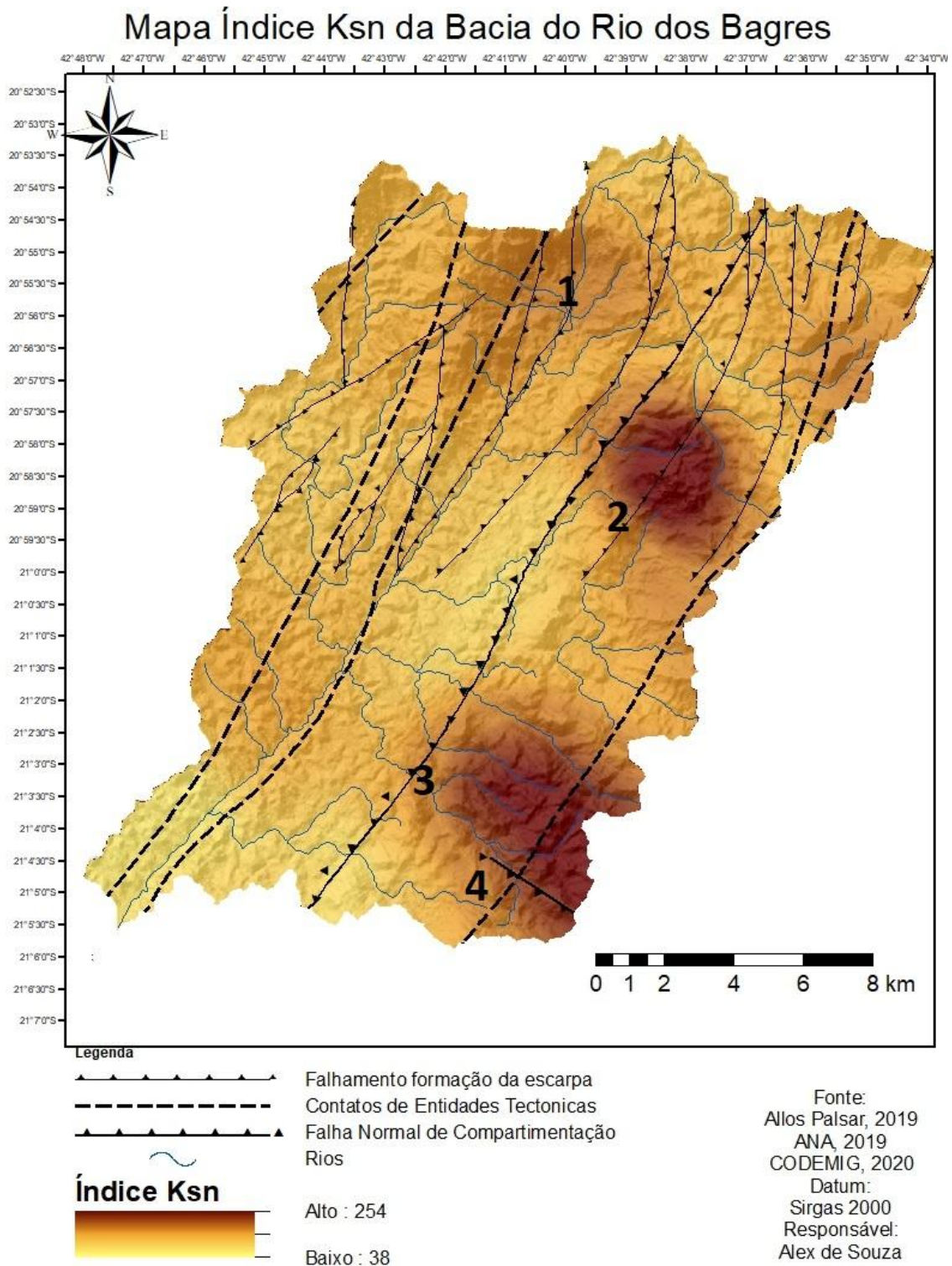
Assume-se que a métrica Ksn seja mais robusta que o índice SL (e.g. Kirby; Whipple, 2012) ou complementar a análise SL, no sentido de mostrar os exatos pontos de rupturas relacionadas ao soerguimento litológico, que combinam neste estudo com as análises de campo. (e.g., Perron; Royden, 2013; Mudd *et al.*, 2014; 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do índice Ksn através da ferramenta MATLAB, especificamente com a extensão Topo Toolbox, demonstrou ser um método de alta eficácia para a caracterização morfotectônica da Bacia do Rio dos Bagres (Figura 7). Diferente do índice SL clássico (Hack, 1973), que pode apresentar subjetividade na determinação de valores (Goldrick & Bishop, 2007), a métrica Ksn integrada usando funções como o KSNGrid permitiu uma análise mais robusta das taxas de erosão e soerguimento (Schwanghart & Kuhn, 2010; Schwanghart & Scherler, 2014). Esta abordagem automatizada conferiu rapidez e consistência ao processamento de dados do MDE Alos Palsar, permitindo identificar com precisão os pontos de ruptura (knickpoints) onde a energia dos canais é máxima (Dikau *et al.*, 2004; Perron & Royden, 2012).

O resultado do índice Ksn mostra que as maiores taxas estão relacionados a áreas onde os canais fluviais que foram realinhados após as reativações das falhas como o Rio dos Bagres e Córrego Santana, para melhor entendimento dos resultados foram feitos trabalhos em campo em que se pode comprovar esses resultados.

Figura 7 – Índice K_{sn} para a Bacia Hidrográfica do Rio dos Bagres.



Fonte: ANA, 2019.

Para um melhor entendimento cada área de maior valor de K_{sn}, foi numerada e associada a uma imagem do campo.

Área 1 – Nessa área o MATLAB identificou corretamente a escarpa de falha no Rio dos Bagres como um setor de altíssimo valor de K_{sn}. A eficácia do método é

Margarida Pentecado – Revista de Geomorfologia. v.3 n.1, julho de 2026, p.1-15

<https://doi.org/10.66049/ISSN2966-2958.v3n1.2026.017>

comprovada pela existência da PCH Ervália, por ser uma área de grande declividade e um grande potencial energético, desde os anos finais da dec. 90 foi implantada a PCH no local (figura 8); embora a interferência antrópica possa mascarar a assinatura erosiva natural, é possível notar no canto superior direito da imagem que mostra a escarpa de falha algumas cicatrizes de escorregamento. O software detectou com precisão o potencial energético derivado do knickpoint principal, o que estabelece a escarpa de falha do rio principal da Bacia.

Figura 8 – A direita área da escarpa de falha, com a queda do Rio dos Bagres e entrada da usina e a esquerda área da barragem e turbinas da PCH Ervália.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Área 2 – Na área 2 de alto índice Ksn da Bacia do Rio dos Bagres, conhecida como Santa Montanha, um local utilizado pela população local para expressar sua religiosidade, nota-se várias quedas de blocos que podem estar relacionados a eventos tectônicos na área (Figura 9), que se fazem entender ao analisarmos em conjunto esse fato e o alto valor do índice. Isso demonstra que o modelo stream-power processado no MATLAB é capaz de sinalizar áreas sob influência direta de reativações de falhas normais que cortam a bacia no sentido NE/SW (Oliveira, 2018).

Figura 9 – Área com quedas de blocos na região da Santa Montanha.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Área 3 – Nessa área encontramos um vale suspenso, com formação de colinas alongadas e vales em V, retrato do grande valor na carga de sedimentos do Córrego Santana (Figura 10).

Figura 10 – Vale suspenso do Córrego Santana.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A identificação do vale suspenso no Córrego Santana pelo software evidencia a sensibilidade do método. O alto valor de K_{sn} nesta zona reflete o desajuste do nível de base local provocado pelo degrau de falha, confirmando que a ferramenta consegue distinguir processos de recuo de knickpoints e evolução diferenciada entre as margens da bacia (Dikau et al., 2004; Oliveira, 2018).

Segundo Guerra (1993), vales suspensos ou rios de foz suspensa ganham essa forma por diversos aspectos. No caso do Córrego Santana, seu vale suspenso se deve ao degrau de falha na sua foz, que fez com que o seu nível de base ficasse bem acima do rio principal (Rio dos Bagres).

Área 4 – Área ao sul do Mapa Índice K_{sn} (Figura 7), configura a base da escarpa de falha e dessa forma é marcada por quedas de blocos, próximo a cidade de Guiricema-MG, na rodovia MG 447 (Figura 11), além pontos íngremes com corriqueira movimentação de massa e blocos ao longo da rodovia. Este evento também foi relacionado à movimentação ou reativação da falha que corta a área.

Figura 11 – Área de queda de blocos, próximo a cidade de Guiricema-MG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A eficácia metodológica deste estudo está na capacidade de transformar dados topográficos extraídos de um MDE em indicadores quantitativos que substituem com algumas vantagens como o uso de grande quantidade de dados e a rapidez dos resultados a execução de processos e manuais (Schwanghart & Scherler, 2014). Embora o modelo não contemple os depósitos sedimentares, sua precisão em apontar pontos de ruptura relacionados ao soerguimento litológico e ao controle estrutural da área de estudo torna-o indispensável para estudos de evolução de paisagens em margens passivas (Oliveira, 2018; Perron & Royden, 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia usada neste estudo usando a Ferramenta MATLAB®, com sua extensão Topo Toolbox, aliada ao software Arcgis®, para aquisição do Índice K_{sn} na Bacia Hidrográfica do Rio dos Bagres em MG, se mostrou extremamente eficiente, já que os softwares com a metodologia correta, conseguiram delimitar os pontos de maiores taxas de erosão que foram compatíveis com as análises de campo.

Este estudo mostrou como a área tem sua evolução demarcada pelas falhas normais que cortam a bacia aliada ao trabalho dos canais fluviais promovendo patamares topográficos distintos e erosões diferenciadas nesses patamares.

BIBLIOGRAFIA

AB'SÁBER, A. – O problema das conexões antigas e da separação da drenagem do Paraíba e do Tietê. *Boletim Paulista de Geografia*, 1957

ASF Data Search. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

BROOKFIELD, M. E. The evolution of the great river systems of southern Asia during the Cenozoic India-Asia collision: rivers draining southwards. *Geomorphology*, v. 22, n. 3-4, p. 285-312, 1998. DOI: 10.1016/S0169-555X(97)00082-2.

CADASTRO DE METADADOS. Disponível em:

<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=121&currTab=distribution>. Acesso em: 13 set. 2019; 22 jan. 2020.

CEMIG. Disponível em: <https://novoportal.cemig.com.br/usina/pch-ervalia>. Acesso em: 10 dez. 2020.

COOK, K. L.; TUROWSKI, J. M.; HOVIUS, N. A demonstration of the importance of bedload transport for fluvial bedrock erosion and knickpoint propagation. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 7, p. 683-695, 2013. DOI: 10.1002/esp.3313.

DIKAU, R.; RASEMANN, S.; SCHMIDT, J.; Hillslope, F. In: GOUDIE, A. Encyclopedia of geomorphology. **International Association of Geomorphologists**, v. 1, p. 516-521, 2004.

FINNEGAN, N. J.; SKLAR, L. S.; FULLER, T. K. Interplay of sediment supply, river incision, and channel morphology revealed by the transient evolution of an experimental bedrock channel. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 112, n. F3, p. 1-17, 2007. DOI: 10.1029/2006JF000569.

GEOWEB. Disponível em: <http://geowebapp.cprm.gov.br/ViewerWEB/>. Acesso em: 21 abr. 2020.

GOLDRICK, G.; BISHOP, P. Regional analysis of bedrock stream long profiles: evaluation of Hack's SL form, and formulation and assessment of an alternative (the DS form). **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, n. 5, p. 649-671, 2007. DOI: 10.1002/esp.1413.

GUERRA, Antonio Teixeira (1924-1968). **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446p.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of the United States Geological Survey**, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HAREL, M. A.; MUDD, S. M.; ATTAL, M. Global analysis of the stream power law parameters based on worldwide ¹⁰Be denudation rates. **Geomorphology**, v. 268, p. 184-196, 2016. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.05.035.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of geomorphology**. Routledge Fundamentals of Physical Geography Series. London: Routledge, 2011.

MERRITTS, D.; VINCENT, K. R. Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift, Medocino triple junction region, northern California. **Geological Society of America Bulletin**, v. 101, n. 11, p. 1373-1388, 1989. DOI:10.1130/0016-7606(1989)101<1373:GROCST>2.3.CO;2.

MUDD, S. M.; CLUBB, F. J.; GAILLETON, B.; Hurst, M. D. How concave are river channels? **Earth Surface Dynamics**, v. 6, p. 505–523, 2018. DOI: 10.5194/esurf-6-505-2018.

MUDD, S. M.; CLUBB, F. J.; GAILLETON, B.; GRIEVE, S. W. D.; VALTERS, D. A.; HURST, M. D. LSD TopoTools Documentation (Version v2.0). **Zenodo**, 2019a. DOI: 10.5281/zenodo.2560224.

OLIVEIRA, Leandro Duque de. **Reativações intraplaca no graben do rio dos Bagres, Serra da Mantiqueira Setentrional: análise integrada de morfotectônica, termocronologia (U-Th- Sm)/He e isótopos cosmogênicos**, 2018. 182 f. il.

Peifer D. et al. **Ferramentas modernas para extração de métricas de gradientes fluviais a partir de MDES: Uma revisão**. Rev. Bras. Geomorfol. (Online), São Paulo, v.21, n.1, (Jan-Mar) p.117-138, 2020

PERRON, J. T.; ROYDEN, L. An integral approach to bedrock river profile analysis. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 6, p. 570-576, 2013. DOI: 10.1002/esp.3302.

PORTAL DA GEOLOGIA. Disponível em:
<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa>. Acesso em: 31 ago. 2019.

SCHWANGHART, W.; KUHN, N. J. TopoToolbox: a set of MATLAB functions for topographic analysis. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, n. 6, p. 770-781, 2010. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.12.002.

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. TopoToolbox 2– MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. **Earth Surface Dynamics**, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2014. DOI: 10.5194/esurf-2-1 2014.

SKLAR, L. S.; DIETRICH, W. E. Sediment and rock strength controls on river incision into bedrock. **Geology**, v. 29, n. 12, p. 1087-1090, 2001. DOI: 10.1130/00917613(2001)029<1087: AS RSCO>2.0.CO;2.

SOMA BRASIL. Disponível em:
<http://mapas.cnpm.embrapa.br/somabrasil/webgis.html>. Acesso em: 27 mar. 2020.

Souza C. M. P. et al. **Machine Learning Algorithm in the Prediction of Geomorphic Indices for Appraisal the Influence of Landscape structure on fluvial systems, southeastern – Brazil**. Rev. Bras. Geomorfol. (Online), São Paulo, v.21, n.2, (Abr-Jun) p.365-380, 2020.

TEIXEIRA *et al.* Índice de dissecação do relevo da APA Serra da Piedade em Visconde do rio branco-MG. In: FUENTES, Adriano R. de La; AVELAR, Gilmar Alves de; ORLANDO, Paulo H. Kingma (Orgs.). **Geografia, meio ambiente, educação & cidadania: elementos para refletir a realidade socioambiental**. Curitiba: CRV, 2020.