

APLICAÇÃO DO INDICE “RELAÇÃO DECLIVIDADE E EXTENSÃO - RDE” NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CARIÚS – CEARÁ

João Victor Mariano da Silva ¹
Sinara Gomes de Sousa ²
Frederico de Holanda Bastos ³

INTRODUÇÃO

Devido à alta sensibilidade que os rios apresentam a alterações nos seus terrenos, eles são importantes elementos na identificação e análise do controle litoestrutural de uma região, de morfoestruturas e anomalias existentes nas drenagens (Firmino; Filho, 2017) que podem ser observadas ao longo de todo seu perfil longitudinal (Souza; Arruda, 2014).

Nessa perspectiva, a aplicação de índices morfométricos nos canais de drenagem tem sido uma ferramenta que, a priori, além de explorar esses atributos dos canais, apresenta potencial para identificação dessas deformações e anomalias nos segmentos do rio (Etchebehere *et al.*, 2004), permitindo ainda observar aspectos referentes à evolução geomorfológica da bacia de drenagem (Silva; Paes, 2018).

A Bacia Hidrográfica do Rio Cariús (BHRC) integra o sistema fluvial da Sub-bacia do Alto Jaguaribe e localiza-se na porção sul do estado do Ceará. Com uma dimensão territorial de 2.262 km², a bacia apresenta uma expressiva variedade litológica de rochas sedimentares e cristalinas, além de um complexo controle estrutural com falhas e diversas deformações de sentido E-W, relacionados à Zona de Cisalhamento de Patos, tratando-se de uma bacia hidrográfica muito suscetível a controle litoestruturais.

Assim, este trabalho tem como objetivo a identificar anomalias de drenagem na Bacia Hidrográfica do Rio Cariús, especificamente em seu canal principal associadas

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará (PROP GEO/UECE), jvictor.silva@aluno.uece.br;

² Doutora em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGeo/UFPE), sinara.sousa@ufpe.br;

³ Professor Doutor do Curso de Graduação em Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE, fred.holanda@uece.br;

aos aspectos litoestruturais, a partir da aplicação do parâmetro morfométrico Relação Declividade e Extensão (RDE) ou índice de Hack (1973).

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A primeira etapa da metodologia baseou-se na seleção da drenagem para aplicação do índice RDE e extração das cotas altimétricas do canal, utilizando como base a drenagem do canal principal da bacia do Rio Cariri disponibilizada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Píneo *et al.*, 2020), optando-se por essa, devido sua acessibilidade e compatibilidade. Foi elaborado o Perfil logitudinal do canal e extração das cotas (da nascente à foz) como uso da imagem raster *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) no *software* QGis versão 3.28.11 com a ferramenta *Terrain Profile*.

Em seguida, selecionou-se as cotas altimétricas da cabeceira e da foz do canal principal para se obter a diferença altimétrica do rio e aplicação do RDE_{total} e após isso, compartimentou-se o mesmo canal em trechos/segmentos com cerca de 1km de distância de uma cota para outra para aplicação do RDE_{trecho} .

Assim, realizou-se a aplicação do RDE, com base nas seguintes formulas:

$$RDE(total): \frac{\Delta H}{\Delta long L} \quad RDE(trecho): \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \times L$$

Onde, no RDE_{total} , ΔH refere-se à diferença altimétrica entre a nascente e a foz e $\Delta long L$ trata-se da extensão total do canal. Já no RDE_{trecho} , o ΔH refere-se à diferença altimétrica entre duas cotas situadas nos extremos de um trecho do canal; ΔL trata-se da extensão do seguimento/trecho, enquanto o L representa o comprimento total do curso d'água da cabeceira a isoípsa a jusante do trecho analisado (Etchebehere *et al.*, 2004; Santos; Ladeira; Batezelli, 2019).

Posteriormente os dados foram exportados para o *software* Excel onde usou-se as seguintes médias de análises: valores <2 representam a ausência de anomalias; entre 2 e 10 significam anomalias de 2º ordem (terrenos íngremes) e aquelas acima de 10 são anomalias de 1º ordem (trechos muito íngremes no canal) (Souza; Arruda, 2014).

Para a discussão dos dados, foram analisados os dados geológicos disponíveis nos mapeamentos da geologia do Ceará da CPRM (Píneo *et al.*, 2020). Identificou-se

neste os seguimentos do canal que haviam sido diagnosticados com anomalias na drenagem e para compilar e discutir os resultados, foram utilizadas imagens satélites raster de sombreamento.

REFERENCIAL TEÓRICO

Parâmetros morfométricos e a identificação de anomalias

Movimentações no interior das massas continentais apresentam um elevado grau de dificuldade na sua identificação e reconhecimento, sobretudo em margens “passivas”. Assim, os registros geomórficos apresentados nos rios são fortes indicadores dos processos atuantes na origem das paisagens, por serem elementos sensíveis a quaisquer mudanças ambientais, climáticas e/ou estruturais (Santos; Ladeira; Batezelli, 2019).

Nesse contexto, os parâmetros morfométricos desenvolvidos a partir de 1960 vieram a se tornar importantes ferramentas metodológicas na análise de redes de drenagens das bacias hidrográficas, fornecendo informações sobre processos evolutivos, controle estrutural e respostas dos sistemas fluviais (Silva; Paes, 2018).

O seu uso, além de prático e eficaz na geomorfologia, tem contribuído para o fornecimento de dados referente à origem e compartimentação litoestratigráfica de bacias, controle estrutural nos sistemas fluviais, no estudo de anomalias, alterações de níveis de base e rupturas topográficas, além de servir para o delineamento de feições morfoestruturais no terreno (Acklas; Etchebehere; Casado, 2003; Etchebehere *et al.*, 2004; Souza; Arruda, 2014).

Existem diversos parâmetros que contribuem na identificação desses controles morfoestruturais, tais como o Relação Declividade-Extensão de Curso D'água (RDE), chamado também de Índice de Hack, proposto metodologicamente por J. Hack (1973).

O RDE se trata de uma métrica de identificação e análise de anomalias nos perfis longitudinais da drenagem, obtendo resultados em valores numéricos passíveis de classificação (Souza; Arruda, 2014). Segundo Fujita *et al.*, (2011), quando aplicado, quer seja em toda extensão da bacia (toda rede de canais) ou em trechos, o RDE poderá determinar a linha de ajuste do canal, apresentando os setores/trechos com deformações morfoestruturais, sendo de soerguimento e ascendência ou áreas de subsidência.

A identificação das anomalias na drenagem é feita de forma quantitativa, com apoio de *softwares*, e em conjunto com os perfis longitudinais dos canais. Segundo Acklas Etchebehere e Casado (2003), neste perfil longitudinal, essas deformidades tendem a deixar a linha com rugosidades, onde podem ser afastamentos positivos ou negativos condicionados por algum desequilíbrio de ordem estrutural.

As anomalias podem ser conceituadas de forma geral como desvios locais dentro do canal de drenagem, onde o padrão que o rio apresenta se difere do padrão regional. Estas deformidades surgem a partir do condicionamento estrutural do terreno que resulta em mudanças diretas no sistema fluvial, tanto no padrão, quanto no equilíbrio (Horward, 1967).

Embora a literatura científica indique que trechos anômalos estejam associados a partir de deformidades neotectônicas, ressalta-se que elas também refletem os controles exercidos por determinados materiais rochosos (Souza; Arruda, 2014).

Desse modo, quando identificadas a partir de técnicas morfométricas, elas podem ser interpretadas e sintetizadas a partir da elaboração de materiais cartográficos. Neste caso, Silva e Paes (2018) citam que os resultados da aplicação do RDE que mostram as anomalias em dados quantitativos chamados de “RDEtrecho/total” podendo ser plotados em gráficos, mapas e tabelas, contribuindo para análise dos sistemas fluviais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características litoestruturais da BHRC

A bacia hidrográfica do Rio Cariús abrange uma área de 2263,8km². Seu canal principal possui 132,9 km de comprimento nascendo nas encostas da chapada do Araripe no município de Santana do Cariri/CE, com sua nascente localizada na cota 585,42 m, e sua foz na cota 210,58 m, no município de Cariús/CE, onde deságua no alto curso do Rio Jaguaribe, havendo uma diferença hipsométrica de 374,84m.

No alto curso da bacia localiza-se as rochas derivadas da bacia sedimentar do Araripe que se dispõem em camadas sedimentares sobrepostas, organizadas em discordância ao embasamento pré-cambriano, que tiveram sua deposição no início do Paleozóico, e apresentam espessuras, litologias e idades distintas (Guerra, 2020). Aqui, afloram as camadas das Formações Exu (que capeia a chapada do Araripe), Crato, Ipubi

e Romualdo, do Grupo Santana, na depressão periférica há o afloramento da Formação Brejo e Cariri em contato do embasamento pré-cambriano (Píneo, *et al.*, 2020).

No médio e baixo curso se dispõem o embasamento cristalino pré-cambriano, com rochas metamórficas e ígneas que sustentam a depressão sertaneja e maciços residuais na bacia. As mais antigas são as rochas plutônicas e ortoderivadas do complexo Granjeiro que datam do paleoneoarqueano, com Ortognaisses, Tonalitos e Granodioritos. O embasamento é formado por um conjunto de litotipos metamorfizados pelos eventos de plutonismo félsico e máfico que deram origem aos Complexos Arábia (PP1ara), Caicó (PP2cai) e Jaguaretama (PP2j) (Píneo, *et al.*, 2020).

Seguindo a sequência cronolitoestratigráfica pré-cambriana, têm-se os registros de eventos plutônicos dos tipos félsico, durante o Neoproterozóico, responsáveis pela gênese dos Granitos, Granodioritos e Dioritos da Suíte Intrusiva Itaporanga (NP3 γ 2it) e pela intrusão granítica da unidade dos Granitóides (NP3 γ i), e máfico, responsáveis pela gênese de Dioritos, Gabros e Quartzos da Suíte Intrusiva São João do Sabugi (NP3 δ 2s).

Associados aos eventos de deposição Plio-Pleistocênicos, têm-se os depósitos colúvio-eluviais nas encostas e cimeira de setores do Maciço do Quincuncá, que representam coberturas lateríticas que registram condições paleoclimáticas associadas à temperatura e umidade elevadas (Cordeiro; Bastos; Maia, 2018). Há também, os depósitos aluvionares mais recentes, recobrando as litologias mais antigas. Embora no mapa geológico apareça somente nos setores de alto e baixo curso do canal principal, estes ocorrem também no longo do médio curso. Tal fato se dá pela capacidade de transporte e deposição de sedimentos do Rio Cariús e pela existência de espaços de acomodação produzidos por falhas geológicas, formando planícies fluviais extensas.

Dada essa condição litológica, manifesta-se em quase toda sua extensão, com exceção do setor sul onde foram inumadas pelos sedimentos da Bacia do Araripe, as falhas, fraturas e zonas de cisalhamento (ZCs) neoproterozóicas no embasamento, assim como os lineamentos, responsáveis pelo controle e direcionamento da drenagem.

Anomalias na drenagem do rio Cariús

Devido essa variedade litológica o RDEtotal teve um resultado de 0,000281993, e quando aplicado aos segmentos do canal principal resultou na identificação de 7 (sete) trechos com anomalias de 2º ordem, em setores variados do canal principal (**Tabela 1**).

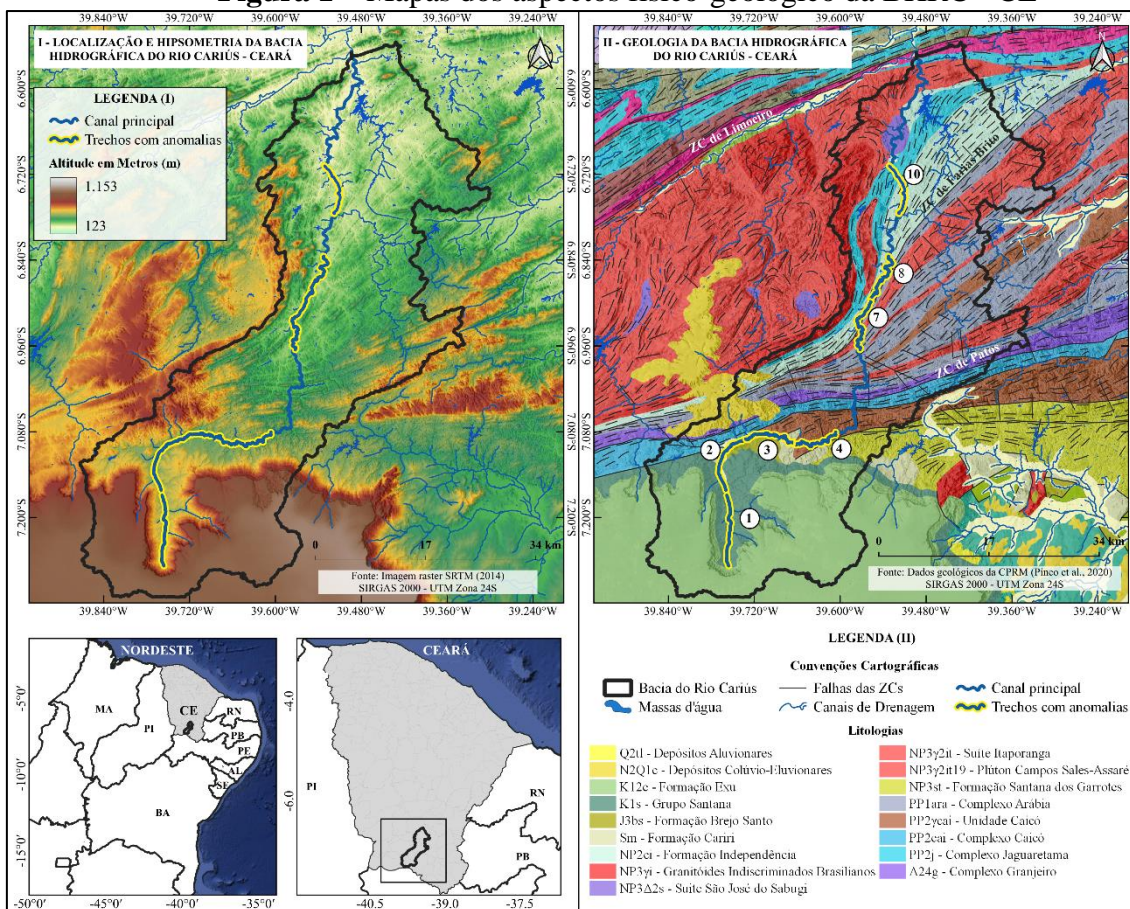
Tabela 1 – Dados usados do canal principal da BRHC e anomalias identificadas

Trechos	Cota (máx.)	Cota (mín.)	Extensão do trecho (Km.)	Ext. do Trecho em relação a cabeceira	RDE/Trecho	RDE Trecho/Total	Anomalias
1	558	493	99,946259	99,946259	65	4,33836	2º Ordem
2	491	452	100,043228	200,291508	78,07993573	3,61151	2º Ordem
3	448	427	100,024582	300,876347	63,16850479	4,46415	2º Ordem
4	426	394	99,721659	400,915946	128,651191	2,19193	2º Ordem
5	390	347	99,817039	501,131073	215,88134	1,30625	Nenhuma anomalia
6	346	318	100,022015	601,553486	168,3979033	1,67457	Nenhuma anomalia
7	319	303	100,493649	702,390891	111,8304925	2,52162	2º Ordem
8	303	293	100,206118	803,174681	80,15225987	3,51823	2º Ordem
9	292	274	99,303206	902,867458	163,6564911	1,72309	Nenhuma anomalia
10	275	264	97,874422	1001,285927	112,533438	2,50587	2º Ordem
11	265	249	99,99483	1101,619054	176,2681617	1,59989	Nenhuma anomalia
12	249	235	101,7417438	1101,02248	151,50433	1,86121	Nenhuma anomalia

Fonte: Dados extraídos do MDE. Elaboração: Autores (2024).

Associando a litoestrutural, apenas uma anomalia se localiza no ambiente sedimentar da bacia sedimentar do Araripe, enquanto as outras 6 são condicionadas pelas características do embasamento cristalino, sobretudo devido há três aspectos principais, que podem ser observados no mapa a seguir: declividade do canal, resistência litológica e presença de falhas e fraturas derivadas das ZCs (**Figura 1**).

Figura 1 – Mapas dos aspectos físico-geológico da BHRC - CE



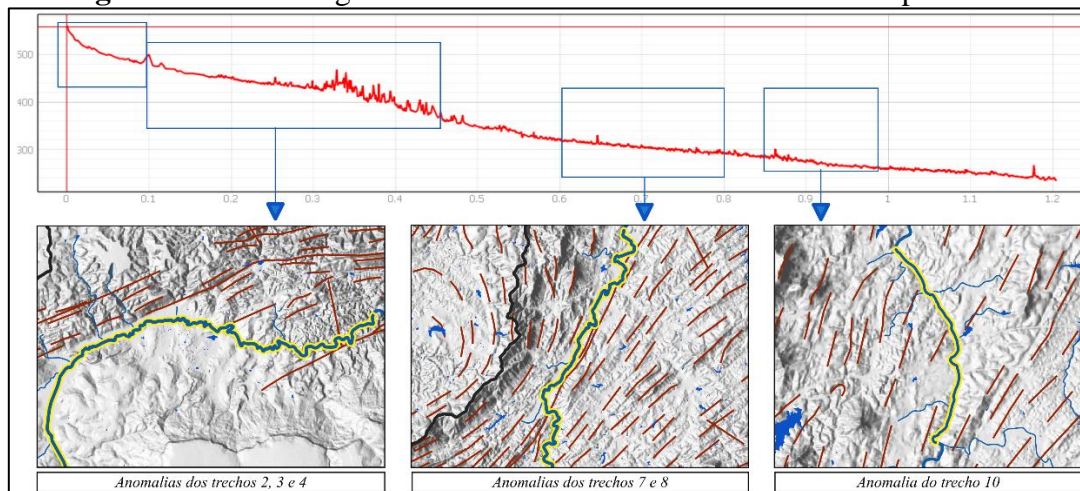
Por serem falhas e lineamentos derivadas de ZCs regional, elas impõe nas bacias hidrográficas um direcionamento estrutural, onde os canais tendem a seguir o *trend* das falhas, dissecando o relevo neste mesmo sentido (Maia, 2020), aspecto que pode ser observado na disposição do canal principal da BHRC e de suas anomalias.

O trecho 1 das anomalias com RDE de 4,33836, é o único onde não há presença de falhas visíveis. Porém, seu canal se organiza em um padrão de retinidade que pode estar associada a falta de resistência das camadas sedimentares da bacia do Araripe, conjunto a inclinação do terreno, uma vez, que trata-se de área de encosta.

Já os trechos 2 (dois), 3 (três) e 4 (quatro), se apresentam identificados como uma única anomalia em sequência, onde observa-se, que o canal possui dois redirecionamentos modificando suas direções tendendo a acompanhar a litologia, as falhas e os lineamentos do terreno. Primeiro se dá no sentido SW-NE e posteriormente com outra curva abrupta canal no sentido SW-ENE. Isso ocorre devido a disposição de falhas nesta extada direção. Além da resitência do material, que também forma em alguns treços do rio Cariús sinuosidades em seu leito (**Figura 2**).

As anomalias 7 (sete) e 8 (oito) também se dão em sequência. É um setor que acomoda os mesmos aspectos de sinuosidade e dobras abruptas, mas que mesmo nessas condições o direcionamento do fluxo do rio tende a seguir *o trend* de falhas da ZC de Patos, onde ele “sobe” no sentido NE. Enquanto o trecho 10, mostra o canal seguindo outro direcionamento de fluxo, no sentido NNW, cortando possíveis cristas residuais contrapondo a direção das falhas as sustentam, o que podem ser visto como uma possível superimposição fluvial.

Figura 2 – Perfil longitudinal da bacia e anomalias identificadas pelo RDE



Fonte: Imagem raster e sombreamento SRTM. **Organização:** Autores (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O RDE se mostrou eficiente dentro do objetivo proposto por este trabalho, possibilitando a identificação de anomalias importantes que podem atuar como fatores de desequilíbrio no funcionamento do sistema fluvial da BHRC. Contudo, conclui-se que, embora a eficiência desse índice morfométrico tenha sido comprovada, é indispensável a realização de atividades de campo para validação dos resultados.

Observou-se que o RDE não detectou muitas anomalias nos setores de embasamento sedimentar da bacia hidrográfica, apenas no embasamento cristalino. Entretanto, trechos retilíneos foram percebidos através MDE, denotando, mesmo que sutilmente, a presença de um controle estrutural da drenagem exercido pela litologia.

Assim, ressalta-se a importância da aplicação do RDE com apoio de dados geológicos da área. Embora neste trabalho tenha-se se realizado a identificação das anomalias nos terrenos, enfatizamos que a associação com os aspectos litológicos ainda se deu de forma breve, necessitando de aprofundamento em trabalhos futuros para entender melhor a gênese, evolução e dinâmica das anomalias na BHRC.

Palavras-chave: Índice Relação Declividade-Extensão; Anomalias; Controle Estrutural; Drenagem.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará (ProPgeo/UECE); à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor; à CAPES, pela concessão de bolsa de doutorado à segunda autora (processo de número 88887.610061/2021-00).

REFERÊNCIAS

ACKLAS JR, R.; ETCHEBEHERE, M. L. CASADO, F. C. Análise de perfis longitudinais de drenagens do município de Guarulhos para a detecção de deformações neotectônicas. São Paulo: **Geociências**, v. 8, n. 6, p. 64-78, 2003.

CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. H.; MAIA, R. P. Formações concrecionárias e aspectos geomorfológicos do Maciço do Quincuncá, Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia (Recife)*. Especial XII SINAGEO, v. 35, n. 4, p. 68-82, 2018.

ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. de J. Aplicação do índice “Relação Declividade-Extensão – RDE” na bacia do rio do Peixe (SP) para Detecção de Deformações Neotectônicas. São Paulo: **Revista do Instituto de Geociências – USP**, v. 4, n. 2, p.43-56, 2004.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journ. Research of the U. S. Geol. Survey**, v. 1, n. 4, p: 421-429, 1973.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation, **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, 1967.

FIRMINO, I. G.; SOUZA-FILHO, E. E. Análise de padrões e de anomalia de drenagem na porção média da bacia do rio Tibagi (PR). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n. 1, p. 37-49, 2017.

FUJITA, R. H., *et al.* Perfil longitudinal e a aplicação do índice de gradiente (RDE) no rio dos Patos, bacia hidrográfica do rio Ivaí, PR. **Revista Brasileira de Geociências**, ed. 41, n. 4, p. 597-603, 2011.

GUERRA, M. D. F. **Veredas da chapada do Araripe**: contexto ecogeográfico de subespaços de exceção no Semiárido do estado do Ceará, Brasil (Tese de doutorado em Geografia) Universidade Estadual do Ceará, 2020, p. 46 – 101.

MAIA, R. P. Aspectos morfoestruturais do Nordeste setentrional Brasileiro. Sobral – CE: William Morris Davis - *Revista de Geomorfologia*, v. 1, n. 2, p. 36-44, 2020.

PINÉO, T. R. G. *et al.* Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Ceará. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Ceará – Brasil, 2020.

SANTOS, M.; LADEIRA, F. S. B.; BATEZELLI, A. Indicadores geomórficos aplicados à investigação de deformações tectônica: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, p. 287-316, 2019.

SILVA, T. M.; PAES, T. V. Parâmetros morfométricos aplicados a análise tectono-erosiva em bacias de drenagem. Rio de Janeiro: **Geo UERJ**, N. 33, e, 37684, p. 1-26, 2018.

SOUZA, A. O.; ARRUDA, E. M. Análise da rede de drenagem na Bacia do Ribeirão dos Rodrigues: anomalias, índice RDE e Perfil Longitudinal. Pernambuco: **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 3, p. 442-457, 2014.