



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

RISCOS DE INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA, BRASIL: ANÁLISE A PARTIR DO MODELO HAND

Kaique Brito Silva ^(a), Raul Reis Amorim ^(b)

^(a) Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. kaiquesilva@ige.unicamp.br

^(b) Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. raulreis@unicamp.br

Eixo: RISCOS E DESASTRES NATURAIS

Resumo

Cidades inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira, região Sul da Bahia, são constantemente atingidas por inundações devido a configurações que vão desde o clima tropical, feições de relevo, chegando até a falta de governança de riscos e desastres. O objetivo do trabalho foi identificar através do modelo geográfico HAND, quais são as áreas que realmente detêm de suscetibilidade a inundações ao longo da bacia hidrográfica. No total, a classe que representa “suscetibilidade alta” detém cerca de 2.000 hectares, sobretudo as margens dos rios Salgado, Colônia e Cachoeira. Esta mesma classe representa 70% das áreas urbanas mapeadas. Os resultados contribuem para atestar cartograficamente o contexto ambiental das inundações, que ocorrem periodicamente nas cidades de Itabuna, Itapé, Ibicaraí, Floresta Azul e Itororó.

Palavras chave: Inundações; suscetibilidade, Sul da Bahia, modelo hidrológico.

1. Introdução

Eventos de enchentes e posteriores inundações podem ser atualmente compreendidos a partir uma escala de paisagem, isto é, vistos e compreendidos “de cima” devido ao melhoramento do mapeamento de áreas com determinada suscetibilidade (SILVA et al., 2015; AMORIM, et al., 2017). Nas duas primeiras décadas do século XXI, as principais publicações científicas sobre riscos e desastres a partir de inundações trazem consigo diversas formas de mapeamento do relevo



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

que são traduzidas como indicadores de cenários de risco iminente. Exemplos dessa diversidade são os trabalhos da chamada “cartografia das enchentes e inundações”, que destacadamente têm estudos de caso em localidades de clima chuvoso ao longo do ano (COSTA et al., 2018). Como indicativo dessa linha de pesquisa, observa-se o trabalho Amorim et al. (2017), que analisou as condições de bacias hidrográficas no Rio de Janeiro e identificou locais suscetíveis segundo o cruzamento de atributos socioambientais; Já Colombo et al. (2018) e Fontão et al., (2018) estudaram bacias hidrográficas nos estados de Minas Gerais e no Espírito Santo considerando, sobretudo, o mapeamento de estruturas urbanas sobre cenários de instabilidade geológica (encostas).

Atualmente é possível realizar mapeamento de riscos de inundações com auxílios de modelos hidrológicos, como é o caso do HAND (Height Above the Nearest Drainage ou Altura Acima da Drenagem mais Próxima). Através do cruzamento de dados topográficos e hidrológicos em sistemas de informações geográficas, o mesmo disponibiliza detalhadamente os contornos geográficos de áreas com alta, média ou baixa suscetibilidade de inundações. O grande destaque desse modelo são as posteriores análises ambientais que colhem dados gerados e relacionam com o uso da terra de determinada bacia hidrográfica. Isso permite, em níveis detalhados, entender o comportamento do acúmulo de água em períodos de chuva forte, e tomar decisões para gerir essas áreas e antever desastres. A principal pesquisa sobre o HAND e suas funções e desenvolvimento é de Nobre et. Al. (2016), que possibilitou a prefeitura de Blumenau – SC utilizar representações espaciais detalhadas das áreas com alto risco de inundações.

Nesse contexto, o objetivo central dessa pesquisa foi aplicar o modelo HAND para a Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira, Nordeste do Brasil. Inserida em clima tropical, historicamente apresenta problemas relacionados a inundações nas cidades ao longo das margens dos rios principais. Existe uma demanda bibliográfica que revele os contornos de inundações na área.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

2. Metodologia

2.1 Contexto da BHRC

A bacia hidrográfica do rio Cachoeira localiza-se no sul do estado da Bahia, Nordeste do Brasil. Tem centróide nas coordenadas 15°2'S e 39°30' W (Figura 1) e drena uma área de 4.222 km². Seus principais rios são Colônia, Salgado e Cachoeira. Essa bacia hidrográfica fornece água para o abastecimento público de cerca de 500.000 habitantes distribuídos nas cidades de Itororó, Itajú do Colônia, Ibicaraí, Floresta Azul, Itapé, Ilhéus e Itabuna, tendo a última a maior população, estimada em 220.300 habitantes (IBGE, 2015). Segundo Silva et al. (2018b), prevalece na área os tipos climáticos Af e Aw, classificados como Tropical Úmido de Floresta e Subúmido, respectivamente, e ambos sem estação seca definida. Segundo Thornthwaite (1948), Alvares, Stape e Sentelhas (2013) e Silva et al. (2016), esse clima caracteriza-se também pelas métricas de temperatura média de 24°C, e precipitação anual acima de 2.000 mm. Ainda segundo os autores, os valores de chuva indicam que essa região é um domínio com níveis pluviométricos similares ao clima Amazônico.

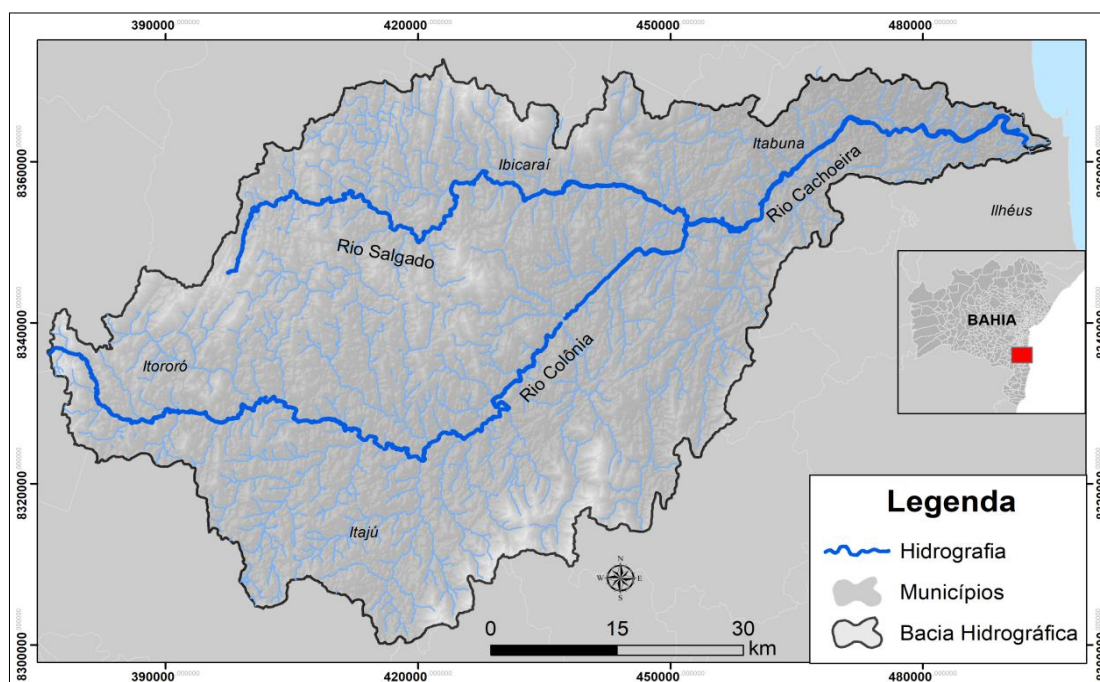


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Os rios da bacia hidrográfica do rio Cachoeira drenam uma litologia constituída predominantemente de rochas ígneas intrusivas, da família do Ortognaisse (Maçios Cristalinos Pré-Crambianos). Segundo Silva e Amorim (2018) e Silva *et al.*, (2018), compõem basicamente dois grandes grupos: o cinturão Itabuna\Itapetinga e o Complexo Ibicuí, que afloram como ocorrências de Tonalitos, Charnockitos, Sienitos, Quartizitos e Basaltos. Esse litotipo condiciona uma hidrologia fissural e molda em aproximadamente 80 % a hidrografia para o tipo Dentrítica.

2.1 Aplicação do Modelo HAND

A aplicação do HAND é dada em dois momentos, sendo o primeiro a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE), e por fim a classificação dos limites com suscetibilidade a inundações. Foram utilizadas as cartas topográficas da Bahia de escala 1:100:00, especificamente as folhas Camacan (SD-24-Y-D-III), Itabuna (SD-24-Y-B-VI) (SUDENE, 1977b), Ibicaraí (SD-24-Y-B-V) (SUDENE, 1977c), Itapetinga (SD-24-Y-D-I) (SUDENE, 1977d), Itaju do Colônia (SD-24-Y-D-II), que compreende os limites da área em estudo. Dessas cartas, selecionaram-se os vetores “pontos cotados”, “curvas de nível” e “rede de drenagem”. Gerou-se um MDE através da ferramenta *Topo To Raster* no Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 10.5.1.

No SIG *TerraHidro*, foi discretizado o MDE gerado em parâmetros para alimentar o HAND. Os parâmetros que o modelo requer são: Fill (Preenchimento de Depressões); Flow Direction (Direção de Fluxo); Flow Accumulation (área Acumulada); e Stream Definition (Definição da Rede de Drenagem Raster). Os parâmetros são arquivos raster que, processados juntos, geram a representação final do modelo. Posteriormente, esse raster foi classificado com objetivo de representar, por gradação de cores, os intervalos que indicam o potencial de inundação em cada polígono gerado. O arquivo final desse geoprocessamento é no formato *.tif*. De volta ao ArcGIS 10.5.1, a imagem raster do modelo foi reclassificada, agrupando em cores diferentes as respectivas classes de Alta, Média e Baixa suscetibilidade a inundações. Por fim, com a ferramenta *Reclass* (reclassificação em Análise Espacial), a imagem raster foi convertida para o formato vetorial, onde se calculou a área em hectares de cada classe de suscetibilidade.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

3. Resultados e Discussões

3.1 Níveis de Suscetibilidade da BHRC

Os resultados estimados pelo modelo demonstram que aproximadamente 30% da bacia hidrográfica do rio Cachoeira se enquadram na classe definida como “alta suscetibilidade”. Em números geográficos, isso significa que 123.251,52 hectares pertencem ao contexto de elevados riscos de enchentes, e posteriores inundações. Observando a Figura 2, é possível compreender que o comportamento dessas ocorrências é um padrão que relaciona a presença de rios a partir da 2ª ordem hierárquica com fundos de vale. Isso ocorre em todos os cursos da área em estudo. Dessa forma, tanto as áreas de vale encaixado no alto e médio curso da bacia, quanto às planícies mais próximas ao exutório, detêm de áreas com elevada suscetibilidade apontadas pelo HAND.

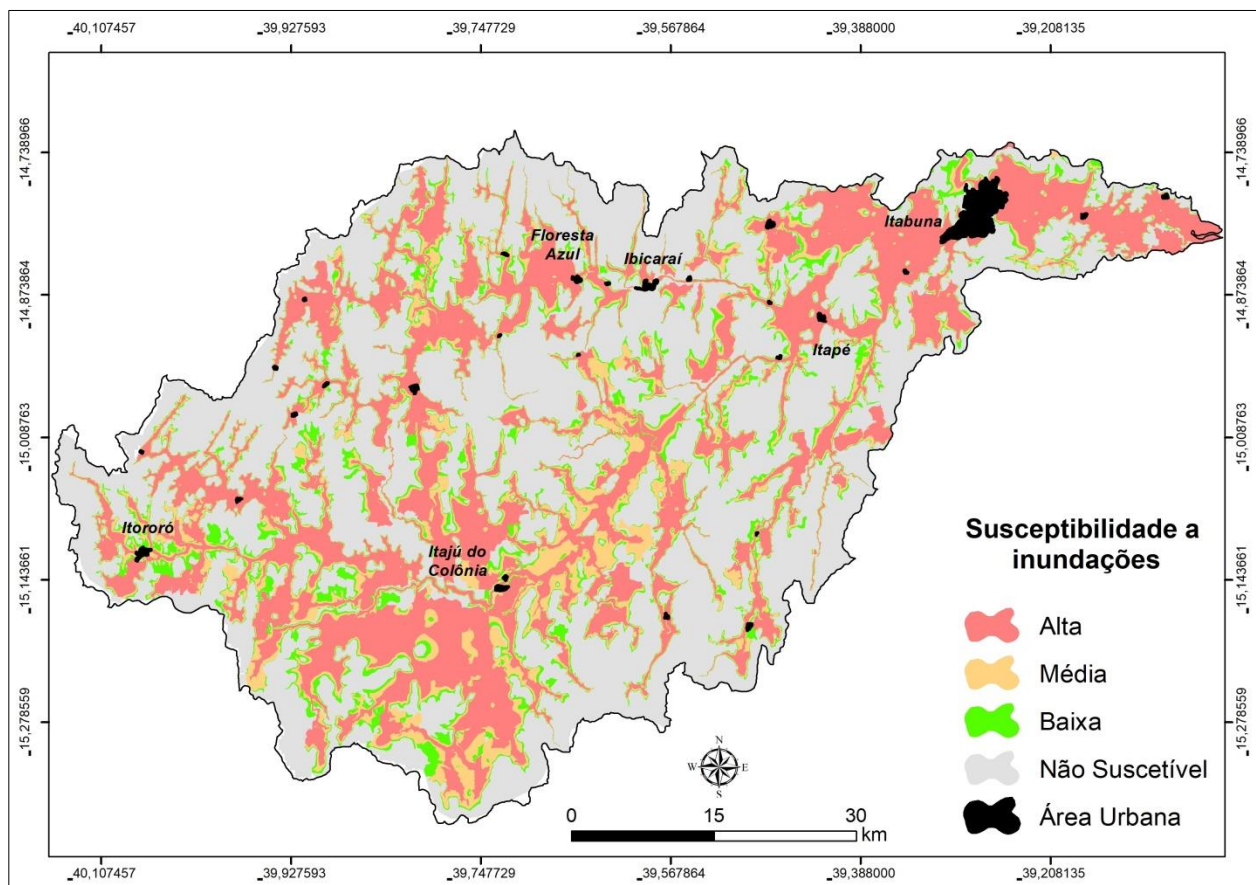


Figura 2 – Suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio Cachoeira.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

As classes de “média” e “Baixa” suscetibilidade compõem cerca de 20% do total das classes mapeadas (Tabela 1): áreas com suscetibilidade mediana se localizam nos perímetros das áreas com elevados riscos de enchentes, e de baixo risco são zonas a montante das cidades. Basicamente, as classes de “média” suscetibilidade são contornos topográficos que dividem as áreas de alto e baixo risco, tendo seus nuances diretamente ligados às formas de relevo. Isso significa geograficamente, segundo o modelo, que essas áreas serão inundadas em eventos extremos de precipitação, bem como as zonas de baixa suscetibilidade. Segundo Silva et al., (2016) e Silva et al., (2018b), chuvas intensas na região são aquelas que apresentam valores acima de 300 mm em um período de dez (10) dias. Observando os dados topográficos inseridos no processamento do HAND, nota-se que as encostas de morros até 20° são sinônimos dessas áreas. A grande exceção são as áreas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira identificadas como brejos, que são partes rebaixadas da paisagem não conectadas com a rede hidrográfica, ou seja, são sistemas lenticos. Isso significa novamente que a suscetibilidade estará ligada a períodos de precipitações intensas.

Tabela I – Métricas das classes de suscetibilidade

Classe	Área (ha)	Percentual (%)
Alta	123.251,52	29,07
Média	48.424,46	11,42
Baixa	30.753,73	7,25
Não susceptível	221.571,41	52,26

A classe “não susceptível” predomina em toda a bacia hidrográfica do rio Cachoeira (dimensão dobrada em relação à soma das classes de risco). Isso é traduz um contexto geomorfológico composto majoritariamente por morros e serras, conforme as publicações de Mattos et al. (2018) e Silva et al. (2018b). Considerando somente as áreas identificadas como suscetíveis, a classe “alta” representa 61% por cento do total, enquanto as classes “média” e “baixa” 24% e 15% respectivamente. Segundo Amorim et al., (2017) essa volume acima de 50%



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

de áreas com elevada suscetibilidade a inundações são números que indicam uma considerável vulnerabilidade a inundações em uma bacia hidrográfica.

3.2 Implicações nas áreas urbanas

O que os resultados do HAND possibilitam para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira é uma constatação sistematizada dos eventos de inundações que observamos ao longo de décadas na região, que afetam cerca de 500.000 pessoas em períodos de chuvas intensas. Por se tratar de uma região que predomina um clima tropical úmido (SILVA et al. 2018b), é comum uma retratação de perdas (humanos e materiais) nas cidades de Itabuna, Itapé, Ibicaraí e Floresta Azul em função do repentino aumento nos níveis de vazão dos rios que perpassam essas cidades. Dessa forma, as populações ribeirinhas sempre são condicionadas a situações de riscos iminentes. O único trabalho bibliográfico acerca de inundações e enchentes na bacia hidrográfica do rio Cachoeira trata apenas de um trecho urbano na cidade de Itabuna, realizado por Hora e Gomes (2009). Ao longo do rio Cachoeira, os autores identificaram de forma analógica (através de cartas topográficas impressas) as cotas de altura do relevo e inferiram eventuais áreas de riscos para os ribeirinhos.



Figura 2 – A) Danos em Itapé (2016); B) Situação de inundação em Itabuna (2018)

Em termos de dimensões, a sobreposição entre as áreas urbanas e as áreas classificadas como alta suscetibilidade mostram um percentual de 71.6 %. A tradução desse valor indica uma altíssima



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

urbanização sobre áreas de várzea, ribeirinhas. A clássica necessidade de acesso à água em núcleos urbanos, a ausência de sistemas de abastecimentos eficazes e sobretudo a ausência de planos diretores de crescimento nessas cidades, são os principais fatores que contribuem para esse cenário de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Cachoeira. No total, a toda a bacia hidrográfica em estudo detém de 1926,59 hectares de cidades sobre áreas de riscos identificados.

Tabela I – Área urbana sobre áreas de alta suscetibilidade

Área Urbana Susceptível	Área (ha)	Percentual (%)
Alta	1.926,59	71,6
Média	230,11	8,3
Baixa	531,91	20,1
Total	2.688,61	100

Em trabalhos de campo nas cidades da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, além do cenário apresentado na Figura 3, é possível identificar na paisagem elementos que indicam a ocorrência de inundações que ocorrem de forma cíclica ao longo de um período, no mínimo, bianual. Considerando a metodologia apresentada por Amorim et al., (2017), dentre os elementos identificados nos trabalhos de campo elencam-se: (1) marcas das inundações anteriores nas edificações habitadas e/ou utilizadas como estabelecimentos comerciais; (2) áreas destruídas e não reconstruídas; (3) problemas ambientais decorrentes da falta de infraestruturas que agravam o efeito das inundações; (4) intervenção no canal para o extrativismo mineral; e (5) realização de obras para mitigar efeito das inundações. A exceção nesse apunhado está na cidade de Itabuna, onde o item 5 não foi observado.

Também são perceptíveis alguns problemas ambientais oriundos da falta de infraestruturas que agravam o efeito das inundações: o destaque, em todas as cidades, é a ausência de um completo saneamento básico, o que leva ao lançamento dos efluentes domésticos diretamente nos principais rios da bacia hidrográfica do rio Cachoeira. Como observado nas cidades de Floresta Azul e Ibicaí, é um padrão em bairros ribeirinhos o lançamento de águas servidas (esgoto doméstico e



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

rede pluvial) no rio Salgado. Como consequência, a presença de esgoto não tratado e do lixo no ambiente hidrográfico podem ocasionar doenças a população durante os episódios de cheias.

3. Conclusões

O modelo HAND demonstrou eficácia no mapeamento de áreas com eventuais riscos de enchentes e inundações. Aplicabilidade do modelo, dessa forma, é reconhecida como suficiente para mapeamento de áreas de risco a inundações em qualquer bacia hidrográfica que detenha de informações geográficas.

Para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira, observamos que o contexto geográfico acentuam os eventuais riscos a inundações em todos os cursos da bacia hidrográfica. A posição das cidades de forma ribeira também é um destaque dessa análise. Com exceção de Itabuna, os demais municípios são considerados pequenos, e as ausências de receitas não possibilitam por si custear as obras de mitigação das inundações e as obras de prevenção a novos desastres. Itabuna, que conta com um PIB maior em relação às outras cidades, infelizmente também não lança mão de medidas de prevenção e gestão de desastres a partir das inundações. Existe uma tendência de continuidade de inundações a partir desse cenário de estado ambiental, que infelizmente é oriundo de décadas passadas.

4. Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº. 2018/09401-1 pelo auxílio à pesquisa.

5. Referências Bibliográficas



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

AMORIM, R. R. REIS, C. H. FERREIRA, C. Mapeamento dos geossistemas e dos sistemas antrópicos como subsídio ao estudo de áreas com riscos a inundações no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Muriaé (Rio de Janeiro–Brasil). **Territorium**, n. 24, p. 89-114, 2017.

COLOMBO, D. H. COVIZZI, F. VANZELA, L. S. Analysis morphometry and disponibility the water in watershed in ribeirão reserva, triangulo mineiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, vol. 12(1), p. 22-49. 2018

COSTA, A. CONCEIÇÃO, R. AMANTE, F. The floods and urban growth of Rio de Janeiro city: studies toward an cartography of urban floods. **Geo UERJ**, vol. 32, p. 25-85. 2018.

FONTÃO, P. A. B. ZAVATTINI, J. A. SHERIDAN, S. C. ARMOND, N. B. Gênese das chuvas em são paulo (sp): estudo comparativo entre a “spatial synoptic classification” e a “análise rítmica em climatologia”. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 23. 2018.

HORA, S. B. GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 2, 2009.

MATTOS, J. B., SILVA, K. B., DA SILVA, R. J. Natural factors or environmental neglect? Understanding the dilemma of a water crisis in a scenario of water plenty. **Land Use Policy**, vol. 82, 509-517. 2019.

NOBRE, A. D. Luz Adriana Cuartas, Marcos Rodrigo Momo, Dirceu Luís Severo, Adilson Pinheiro, Carlos Afonso Nobre. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. **Hydrological Processes**, vol.30, p. 320–333. 2016.

SILVA, K. B. AMORIM, R. R. REGO, N. A. C. A representação dos geossistemas com ênfase no estudo dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do rio Bacheira, Brasil. **Revista Caminhos de Geografia** vol. 19, n. 67, p. 53–67. 2018 (b).

SILVA, K. B. AMORIM, R. R. Representação de Geossistêmas em Estudos de Arqueologia da Paisagem: Ambientes Ancestrais em Ilhéus, Nordeste do Brasil. **Revista Do Departamento De Geografia**, vol. 36, p. 91-103, 2018.

SILVA, K. B. AMORIM, R. R., MATTOS, J. B. Aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do rio Salitre: uma contribuição para estudos de Geossistemas. **Acta Geográfica**, vol. 12(29), p. 33-45. 2018 (a).

SILVA, K. B. GOMES, R.L. REGO, N.A.C. Social And Environmental Hydrographics Implications Of The Land Use In The Plain And Coastal Boards Between Ilhéus And Olivença – Ba. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**. vol. 5, p. 13-26. 2015



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

SILVA, K. B. REGO, N. A. C. SANTOS, J. W. B. COSTA, P. A. Identification of urban heat islands as a subsidy for creation of green areas. **Gaia Scientia**, vol. 10(4), p. 209-222. 2016.