

POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL POR MEIO DO *CURVER-NUMBER*: UM ESTUDO DE CASO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SANTO ANTÔNIO, ILHA DO MARANHÃO¹

Weslem Jhony de Oliveira Rodrigues²

Walefe Lopes da Cruz³

Ricardo Gonçalves Santana⁴

Ysllany Ellen Soares Sampaio⁵

Wadrian de Sousa Santos Barros⁶

Daiany Cristiny Araújo Lopes⁷

Marly Silva de Moraes⁸

Isabel Silva da Silva⁹

Quésia Duarte da Silva¹⁰

INTRODUÇÃO

A ocupação do meio natural pelo ser humano proporciona uma série de alterações nas características do ambiente. Isto tem origem, principalmente, no aumento da população urbana, que interfere diretamente no uso e cobertura da terra. O maior crescimento de áreas urbanas no Brasil aconteceu no final dos anos 1960 até o final dos anos 1990, em decorrência do êxodo rural, quando a população urbana saltou de 55% a 76%, o que agravou os problemas com inundações devido a impermeabilização e canalização (Tucci, 2003).

¹ Resultado de projeto de pesquisa de Iniciação Científica financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

² Graduando do Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, weslemrodrigues.uema@gmail.com;

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará – PPGeo/Ufpa, walefe.lopecruz@gmail.com;

⁴ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão – PPGeo/UEMA, ricardogsantana19@hotmail.com;

⁵ Graduanda do Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, ysllany13@gmail.com;

⁶ Graduando do Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, wadrian.santos.11@gmail.com;

⁷ Graduanda do Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, dailopesgeo@gmail.com;

⁸ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas – PPGeo/UNICAMP, marlymoraes22@hotmail.com;

⁹ Graduanda do Curso de Geografia Licenciatura da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, isabelsilvageo@gmail.com;

¹⁰ Professora do Departamento do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão – DEGeo/UEMA, quesiasilva@professor.uema.br.

Na Ilha do Maranhão, a expansão urbana teve um grande salto na década de 1970, onde os municípios da ilha sofreram um processo de homogeneização devido ao estabelecimento de atividades econômicas desenvolvidas na capital São Luís e a construção de residenciais (Burnett, 2012). Estas ocorrências provocaram a intensificação de ocupações irregulares, promovendo uma expansão urbana não direcionada sobre as formas de relevo, interferindo diretamente na dinâmica hidrogeomorfológica e modificando a dinâmica das bacias hidrográficas da ilha.

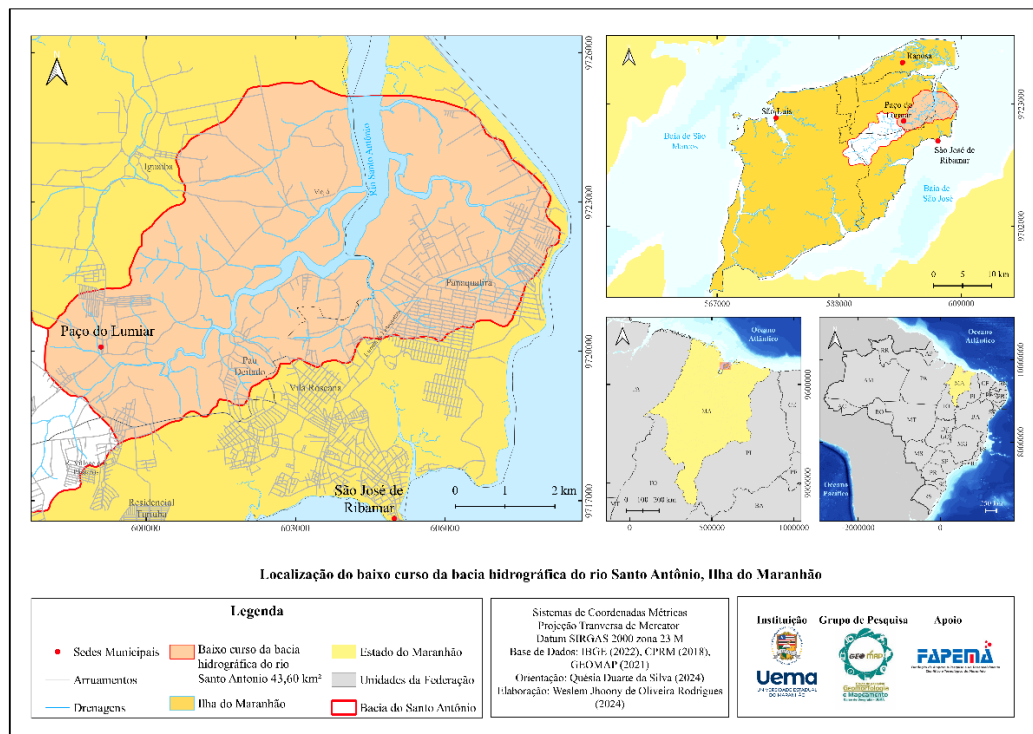
Segundo Siqueira *et al.* (2022), o crescimento urbano sobre as bacias hidrográficas infere modificações nas condições do ciclo hidrológico natural, potencializando enchentes e inundações devido ao grau de impermeabilização.

Nesse sentido, o grau de ocupação da terra configura o nível de impermeabilidade de determinada área. Em bacias hidrográficas (BH) urbanas, a impermeabilização é consideravelmente maior do que em uma bacia hidrográfica rural, devido à presença de estradas asfaltadas, calçadas de concreto, telhados, estruturas de contenção e sistema de drenagem ineficientes para o escoamento das águas. De acordo com Tucci (2007), em uma BH rural, o fluxo de água é retido pela vegetação, infiltra no subsolo e o excedente escoar pela superfície de forma gradual.

Deste modo, à medida que o processo de urbanização avança e a ocupação da terra se consolida, ocorre um aumento da impermeabilização do solo, resultando em maior escoamento superficial. Esse aumento do escoamento direciona um volume maior de água, em um curto período de tempo, para os canais fluviais, o que intensifica a ocorrência de enchentes, inundações e enxurradas nas áreas urbanas.

Atualmente, isso também tem sido comum no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio em seus 43,60 km², localizada a nordeste da Ilha do Maranhão (Mapa 1), onde pode-se observar o aumento da impermeabilização do solo, tendo em vista a expansão urbana em curso e a implantação de infraestrutura (capeamento asfáltico, retirada da vegetação, alterações na morfologia dos canais fluviais).

Mapa 1 – Baixo curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Nesse contexto, o presente estudo tem o objetivo de avaliar o potencial de escoamento superficial no baixo curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, com base no uso e cobertura da terra e nos tipos de solos que geram o valor *Curver-Number*.

METODOLOGIA

O presente trabalho teve como processo metodológico as seguintes etapas: Pesquisa em gabinete e trabalho de campo com elaboração de material cartográfico e aplicação da técnica do *Curver Number*.

Os dados cartográficos foram estruturados por meio da utilização do programa de *software* livre *Qgis for Desktop*, versão 3.28.10 e *Arc Gis* versão 10.5¹¹. O mapa de uso e cobertura da terra foi elaborado a partir de classificação supervisionada por SCP (*Semi-Automatic Classification – Plugin*) do *software* livre *Qgis*, na escala de 1:60.000. Para a elaboração deste mapa, foram utilizadas imagens de satélite *sentinel 2*, resolução de 10 m do sistema *Copernicus Browser* obtidas no dia de agosto de 2021.

O processamento das imagens se iniciou com a reprojeção das coordenadas para EPSG:32723 – SIRGAS 2000 UTM/23 M. Em seguida, as imagens das bandas 02 (*blue*), 03

¹¹ ArcGis for Desktop Advanced, versão 10.5, licença EFL999703439, do Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento da Universidade Estadual do Maranhão (GEOMAP/UEMA).

(*green*) e 04 (*red*) foram mescladas, aplicando-se a técnica do plugin SCP, onde foram criados polígonos com classes distintas para a identificação da cobertura da superfície.

Posteriormente, o resultado obtido foi direcionado para a poligonização do *raster* gerado com o objetivo de separar e quantificar as áreas de cada classe. A base poligonizada foi dissolvida (agregou-se recursos com base em atributos especificados) para unificar os polígonos de cada classe. Após a dissolução, a base *shapefile* foi categorizada nas 4 classes definidas com base em Barros e Bandeira (2020).

Vale ressaltar que cada classe abarcou um grupo de usos semelhantes, ou seja, subcategorias que não puderam ser identificadas no mapa de uso e cobertura da terra considerando a resolução da imagem de satélite disponível para utilização e a escala de trabalho adotada, isto é, 1: 60. 000.

Nesse conjunto, as 4 classes a que se refere o parágrafo anterior foram representadas como: classe 1 sendo área construída urbano/rural; classe 2 sendo área de vegetação fragmentada e culturas agrícolas; classe 3 sendo área de solo exposto e classe 4, área vegetada nativa e secundária (Quadro 1).

As classes de uso e cobertura da terra foram fundidas com a técnica CN proposta pelo Sistema de Conservação do Solos dos Estados Unidos (SCS-USA, 1971) amplamente utilizada para estimar o escoamento superficial. Assim sendo, os resultados tiveram por base os valores de permeabilidade e impermeabilidade da técnica curva-número considerando as classes de uso e o tipo hidrológico dos solos.

A técnica Curva-Número (CN) tem sido utilizada em diversas pesquisas, cita-se aqui Zhan e Huang (2004), Santos e Lollo (2016) e Cruz (2022), Além disso, com base em Tucci (2001) se pode construir uma tabela específica dos valores de CN considerando os principais tipos de usos identificados no mapa de uso e cobertura da terra da bacia.

Quadro 1 – Classes de uso da terra

Classes	1 - Área Construída urbano/rural	2 – Vegetação fragmentada e culturas agrícolas	3 – Solo Exposto	4 – Área vegetada nativa/secundária
Tipo de uso	Construções residenciais, comerciais, administrativas, estradas asfaltadas, praças e zonas residenciais loteadas.	Floresta altamente fragmentada, mangueiras, coqueiros, mandioca, milho e demais cultivos agrícolas e campos de pastagem.	Solos lavrados, pastagens, áreas desflorestadas e loteadas.	Floresta secundária, vegetação nativa de manguezal.
Imagem				

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

De acordo com Zhan e Huang (2004), a técnica *Curver-Number* é usada para estimar a quantidade de chuva que infiltra no solo ou no aquífero e a quantidade que escoar pela superfície, de acordo com o tipo de uso e cobertura da terra e dos tipos hidrológicos dos solos.

Conforme Tucci (2001), as classes definidas representam as condições de uso e cobertura numa escala de permeabilidade de 0 a 100, de acordo com o tipo hidrológico do solo. Desta forma, quanto mais próximo de 100 mais impermeável será a classe.

O mapa de *Curver-Number* foi obtido a partir da mesclagem dos polígonos de uso e cobertura com os polígonos dos tipos de solos da bacia. A base de solos utilizada foi atribuída do sistema de informação geográfica da CPRM (2018) sobre a Ilha do Maranhão. O mapa demonstra o potencial de escoamento superficial em função do valor de *Curver-Number*, com o intuito de identificar as áreas mais impermeáveis, já que superfícies impermeáveis tendem a gerar altas taxas de escoamento das águas. Em virtude do objetivo deste trabalho, não será exposto o comportamento do escoamento superficial, pois haveria que se considerar a precipitação total da área e as condições de umidade antecedente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O baixo curso da bacia hidrográfica está localizado na porção nordeste da Ilha do Maranhão com área de 43,60 km². A área está inserida entre os limites municipais da cidade de São José de Ribamar e Paço do Lumiar.

O estudo em questão envolveu a identificação e mapeamento de diferentes tipos de uso da terra no baixo do curso da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio. Foram consideradas quatro classes principais. A classe de área urbana e rural correspondem a locais com ocupação humana, onde foram observados grandes condomínios, residências, escolas, igrejas, estabelecimentos comerciais, prédios públicos municipais, praças, edificações e áreas pavimentadas (asfalto).

A classe de vegetação foi associada à presença de massa arbórea de origem nativa e secundária na área. Essa classe engloba áreas vegetadas preservadas por lei, como é caso dos manguezais e as áreas com matas em estágio ecológico de recuperação avançada (Barros e Bandeira, 2020).

A classe de vegetação fragmentada e culturas agrícolas representam a vegetação fragmentada e dispersa em manchas de vegetação secundária, árvores plantadas de mangueiras, coqueiros, cultivos variáveis da agricultura de subsistência e áreas de pastagens (Barros e Bandeira, 2020).

Por fim, a classe de solo exposto engloba áreas onde o solo está visível, como nas áreas de implantação de cultura agrícola onde a vegetação herbácea foi degradada, ou onde o solo foi manejado para ocupação humana. Isso inclui áreas desprovidas de vegetação como construção de residências, loteamentos de condomínios e estradas não pavimentadas. Nesse contexto, os dados de uso e cobertura da terra classificados com base em classificação supervisionada identificaram os valores como consta na tabela 1.

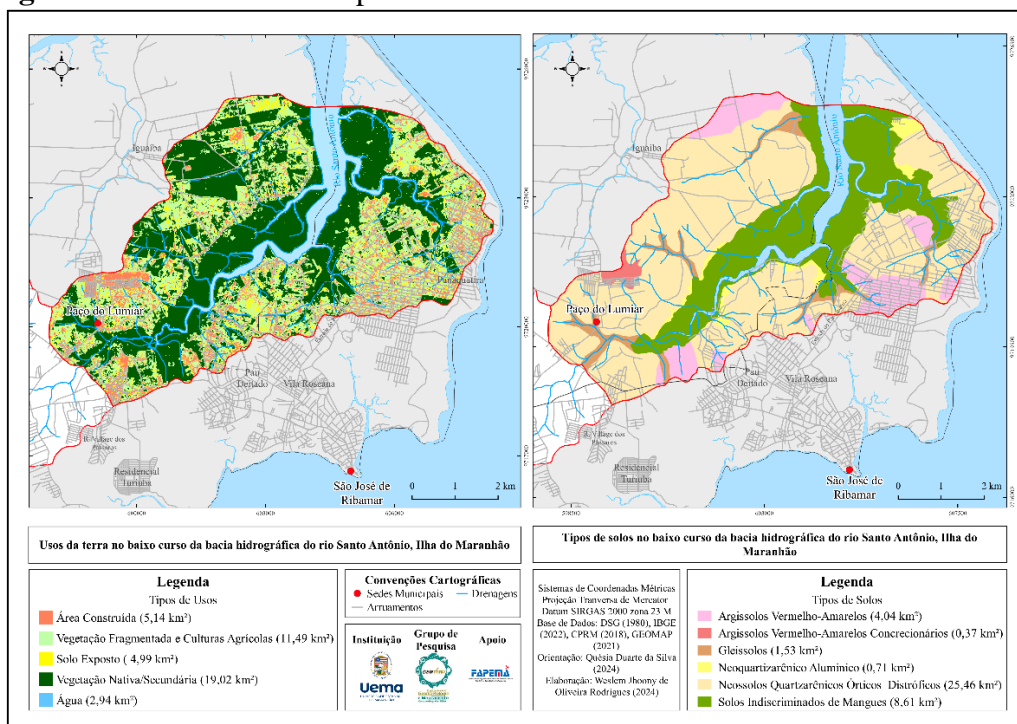
Tabela 1 – Classes de uso e cobertura da terra na área do baixo curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio

Classes	Área em km ²	Área em %
Área Construída	5,15	11,83
Vegetação fragmentada e culturas agrícolas	11,49	26,36
Solo Exposto	4,99	11,44
Vegetação Nativa e Secundária	19,02	43,64
Corpo Hídrico	2,94	6,75
TOTAL	43,60 km ²	100%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando os valores da tabela 1, pode-se perceber que as áreas de vegetação nativa/secundária e vegetação fragmentada/culturas agrícolas ocupam a maior parte da bacia, ao passo que as áreas construídas e áreas de solos expostos são as menores respectivamente. Com isso, conclui-se que cerca de 43,64 % da bacia está completamente vegetada, seja por mangue ou por vegetação secundária (Figura 1).

Figura 1 – Usos da terra e tipo de solos no baixo curso da bacia do Santo Antônio



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A identificação do uso e cobertura da terra e a relação com o *curver-number* possibilitou realizar a análise da área quanto a estes parâmetros. Identificou-se que quanto maior o valor *curver-number*, maior é a impermeabilização e o potencial de escoamento superficial da área (Tucci, 2001; Santos e Lollo 2016) (Quadro 2).

Quadro 2 - Usos da terra e os valores de curva-número atribuídos

Tipo de Solo	Tipo Hidrológico	Tipo de Uso e Cobertura	Valor CN segundo tipo hidrológico
Neossolos Quartzarênicos Órticos	A	1	77
		2	72
		3	68
		4	25
Neoquartzarênios Aluminicos	B	1	85
		2	81
		3	79
		4	55
Argissolos Vermelhos Amarelos Concrecionários	C	1	90
		2	88
		3	86
		4	70
Argissolos Vermelhos –Amarelos	D	1	92
		2	91
		3	89
		4	77
Gleissolos	D	1	92
		2	91
		3	89
		4	77
Solos Indiscriminados de Mangue	D	1	92
		2	91
		3	89
		4	77

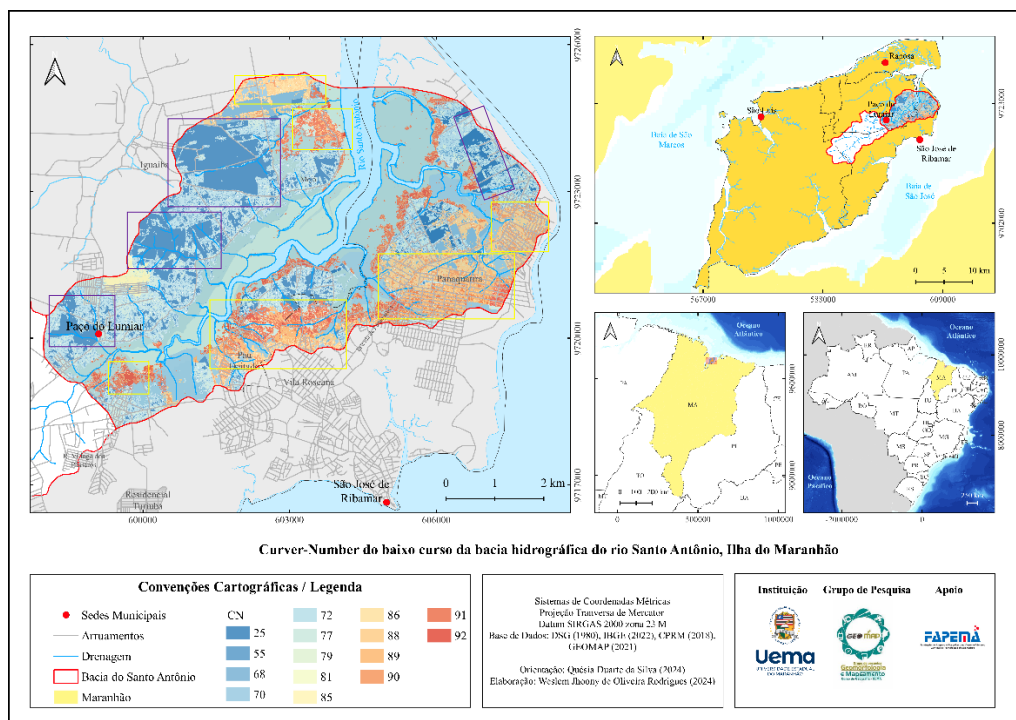
Fonte: Tucci (2001), adaptado de Rodrigues (2022).

Nesse contexto, as áreas com os maiores valores de CN foram para áreas construídas em todos os tipos hidrológicos de solos, chegando ao CN 92 no tipo hidrológico D. Os solos

expostos nos tipos hidrológicos B, C e D apresentam CN entre 79 e 89. Em áreas com vegetação fragmentada e culturas agrícolas obteve-se CN entre 72 a 91 nos quatro tipos hidrológicos. Por fim, em área vegetação nativa/secundária o CN é 25 em tipo hidrológico A, e varia entre 55 a 77 nos tipos hidrológicos B, C e D (Mapa 2).

O mapa de CN revela o nível de compactação do solo com base nas construções sobre a superfície da bacia, demonstrando as áreas que exigem mais atenção no controle do escoamento superficial e dos fenômenos de enchentes, enxurradas e alagamentos.

Mapa 2 – Classes de CN no baixo curso da bacia do Santo Antônio



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Nesse contexto, o CN revela que as áreas mais impermeáveis e propensas a altas de escoamento são observadas nas porções Noroeste, Leste e Sul da bacia, destacadas no mapa 3 nos polígonos de contorno amarelo, considerando os usos e tipos de solos. Concomitantemente, as áreas menos propensas estão localizadas na porção oeste, sudoeste e nordeste da bacia, onde é possível observar grande parte da vegetação nativa/secundária remanescente na bacia e com polígonos bem delimitados na cor lilás.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O baixo curso da bacia do Santo Antônio ainda possui áreas de vegetação arbórea propícias a infiltração. No entanto, o avanço da ocupação humana, sobretudo nas áreas mais

próximas às praias, promove a maior compactação do solo, aumenta a impermeabilização da superfície e condiciona altas taxa o escoamento superficial das águas pluviais.

Neste estudo observa-se que a ocupação humana sobre a porção direita da bacia (vide mapa 3) apresenta uma grande área impermeável que potencializa o escoamento das águas, como perceptível nas áreas de cor gradual do amarelo para o vermelho. A partir disso, os dados obtidos contribuem para o entendimento do escoamento das águas em períodos chuvosos e são de suma importância para o planejamento de ações mitigadoras por parte dos órgãos públicos, evitando impactos gerados por fenômenos dessa natureza.

Palavras-chave: CN, Impermeabilização, Uso e cobertura da terra, Ilha do Maranhão.

REFERÊNCIAS

BARROS, J. S.; BANDEIRA, I. C. N. **Geodiversidade da Ilha do Maranhão, Nota explicativa Escala 1:50.000.** CPRM, 2020. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20597>. Acesso em: 28 mai. 2024.

BURNETT, F. L. Metropolização e gestão urbana na Ilha do Maranhão: efeitos socioambientais da produção imobiliária de baixa renda. **Revista de Políticas Públicas** 2012, 353-361. ISSN: Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321131651038> Acesso em: 20.mai.2024.

CRUZ, W. L. **Análise do Escoamento Superficial no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Anil em São Luís - Maranhão.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2022. Disponível em: https://sis.sig.uema.br/sigaa/public/programa/noticias_desc.jsf?lc=pt_BR&id=940¬icia=14754647 Acesso em 17 Set. 2022.

SIQUEIRA, G. I. S.; SILVA, F.F.; ALBERTIN, R. M.; PACHECO, B.; FONSECA, D. F. **Bacia hidrográfica do rio Belém, na cidade de Curitiba (PR): uma visão geral da impermeabilização excessiva.** Curitiba, 2022.

SANTOS, F. M.; LOLLO, J. A.; Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 663-675, 2016.

TUCCI, C, E, M. Escoamento superficial. In: Tucci, C. E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2 a edição. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001, p. 391-441.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana. Gestão das águas:** ciência e cultura. São Paulo, vol 55, n. 04, out./dez. 2003.

ZHAN, X.; HUANG, M. L. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. **Environmental Modeling & Software** 19 (10) 875-879, 2004.