

ESTUDO DO COEFICIENTE DE *RUN-OFF* NO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO, TRECHO LOCALIZADO NO BAIRRO DE FLORES, MUNICÍPIO DE MANAUS

MATEUS FERREIRA DE OLIVEIRA^{1*}; ETIANNE MONTEIRO BRAGA²

¹Acadêmico em Engenharia Civil, UEA, Manaus-AM, mfo.eng@uea.edu.br;

²MSc. em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Prof. UEA, Manaus-AM, embraga@uea.edu.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O presente trabalho tem por objetivo estudar a variação do coeficiente de *run-off* (*C*) decorrente do processo de urbanização intenso no entorno do Igarapé dos Franceses, na zona centro-sul de Manaus, no período de 2000 a 2016 e, sua repercussão no valor de vazões (*Q*), obtidas através do Método Racional (MR). Para o cálculo do *c*, da precipitação efetiva (*Pe*) e da infiltração potencial (*S*) foi utilizado o método da Curva Número (CN) do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), onde se delimitou a área de contribuição do trecho da sub-bacia do Igarapé dos Franceses, e em seguida, analisou-se, para os anos de 2000, 2008 e 2016, o tipo ocupação do solo e em qual classificação hidrológica este estava inserido. Obteve-se que, para o período de 16 anos de estudo, a classe de Alta Ocupação cresceu 47,15% e, que por conta desse crescimento urbano, *S* decresceu 33,29%, afetando diretamente *C*, que por sua vez, aumentou 16,95%. Como consequência, *Q* também aumentou, de 8,59 m³/s para 10,17 m³/s, cerca de 18,36%, no período de 2000 a 2016, comprovando o fato de que a evolução urbana é um dos principais influenciadores no escoamento superficial

PALAVRAS-CHAVE: *run-off*, urbanização, Igarapé dos Franceses.

STUDY OF THE RUN-OFF COEFFICIENT IN THE URBANIZATION PROCESS, AREA LOCALIZED IN THE FLORES NEIGHBORHOOD, MANAUS MUNICIPALITY

ABSTRACT: The objective of this work is to study the variation of the run-off coefficient (*C*) due to the intense urbanization process in the area of the Igarapé dos Franceses, in the central-south zone of Manaus, between 2000 and 2016, and its repercussion on the value of discharges (*Q*), obtained through the Rational Method. In order to calculate *C*, effective precipitation (*Pe*) and potential infiltration (*S*), the Natural Resources Conservation Service (NRCS) Curve Number (CN) method was used, where the area of contribution of the section of the sub-basin of Igarapé dos Franceses was delimited, and then analyzed, for the years 2000, 2008 and 2016, the type of land occupation and in which hydrological classification was inserted. It was obtained that, for the period of 16 years of study, the class of High Occupation grew 47,15% and, due to this urban growth, *S* decreased by 33,29%, directly affecting *C*, which in turn increased by 16,95%. As a consequence, *Q* also increased from 8,59 m³/s to 10,17 m³/s, about 18,36%, between 2000 and 2016, proving the fact that urban evolution is one of the main influents in surface run-off.

KEYWORDS: run-off, urbanization, Igarapé dos Franceses.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização intenso é um dos principais motivos que justifica a ocorrência de danos ambientais nas cidades, pois impacta significativamente sobre o meio físico e dispositivos de drenagem. Segundo o último censo do IBGE (2010), nas últimas décadas o crescimento econômico transformou o Brasil em um país essencialmente urbano (84,36%). Dentre os municípios, Manaus possui 1.802.014 habitantes, sendo 99,49% residentes da zona urbana e estimados 2.130.264 de habitantes em 2017.

Ao tornar urbanizada a área da bacia hidrográfica há uma interferência no fluxo natural da água no solo. Segundo Tucci (2000), a impermeabilização de 20% da área da bacia hidrográfica acarreta na duplicação do escoamento superficial e que em situações onde a impermeabilização da bacia chega a 80%, o volume de escoamento superficial torna-se oito vezes e meio maior.

No primeiro semestre de 2017, pelo menos duas principais vias da cidade de Manaus ficaram danificadas devido ao colapso de trechos da tubulação de drenagem, ocorrido após intensas precipitações (G1, 2017). O objeto de estudo deste trabalho foi o Igarapé dos Franceses situado na Bacia hidrográfica do São Raimundo, no bairro de Flores, Manaus/AM, onde o desenvolvimento urbano acelerado já influencia no aumento do escoamento superficial, que por sua vez, intensifica a vazão nas galerias, gerando ou não, o rompimento das mesmas.

Baseado na problemática exposta, o presente estudo teve por objetivo principal calcular C, em função das mudanças no uso e ocupação do solo, para os anos de 2000, 2008 e 2016, no trecho localizado na sub-bacia hidrográfica do Igarapé dos Franceses. Foi utilizado o método CN pelo NRCS. Calcular esses valores nos anos apontados implica em não somente analisar o processo urbano, como também comprovar que os impactos na drenagem, ocorridos na região, são decorrentes da evolução deste processo.

DESENVOLVIMENTO

Uso e Ocupação do Solo

A área de contribuição para o estudo foi delimitada dentro da sub-bacia do Igarapé dos Franceses, afluente da Bacia do São Raimundo. Sua delimitação foi determinada com auxílio de mapa hidrográfico e topográfico da cidade de Manaus via *Google Maps*, levando em consideração para o traçado do polígono as cotas mais altas, e utilizando o *software* ArcGis da Esri.

O Igarapé dos Franceses, localizado na bacia do São Raimundo, tem sua nascente nas coordenadas 3°05'27.4"S e 60°01'48.9"W, no bairro Chapada na Zona Centro-Oeste do município de Manaus. Este Igarapé percorre a cidade de Manaus no sentido Centro-Oeste – Norte, delimitando os seguintes bairros: Chapada, Alvorada, Flores, Colônia Santo Antônio e Foz no Novo Israel (3°02'03.3"S e 60°00'26.5"W). A área de contribuição foi delimitada a partir do ponto onde houve o rompimento da galeria, aqui considerado exutório (3°04'05.58"S e 60° 01'30,01"W), acompanhando o ponto mais alto do terreno, obtendo-se área, aproximada, de 8,67 km².

Realizou-se a análise da evolução urbana e da restrição das áreas verdes do Igarapé dos Franceses no bairro de Flores através de imagens aerofotogramétricas dos anos de 2000, 2008 e 2016, após a delimitação da área de estudo, classificando a ocupação das áreas, segundo Ferreira (1995), em: (i) Baixa Ocupação: áreas onde há de áreas predominância de árvores nas ruas; (ii) Média Ocupação: áreas em que não há aglomeração urbana intensificada, porém, observa-se aproximação entre as moradias e redução das áreas verdes; e (iii) Alta Ocupação: área onde as construções encontram-se encostadas umas as outras e há redução quase que total da área verde, as calçadas são estreitas e as ruas pavimentadas.

Cálculo Do Escoamento Superficial e Vazão de Drenagem

Primeiramente, sucedeu-se a classificação hidrológica dos solos com relação à capacidade de infiltração da precipitação, segundo a NRCS (2009), em: (i) Grupo A: solos que possuem menos de 10% de argila e mais de 90% de areia ou cascalho; (ii) Grupo B: solos que possuem entre 10% e 20% de argila e 50% a 90% de areia; (iii) Grupo C: solos que possuem entre 20 por cento e 40 por cento de argila e menos de 50 por cento de areia; e (iv) Grupo D: solos que possuem argila maior que 40% e menos de 50% de areia.

Para a classificação dos solos na área analisada foram utilizadas investigações realizadas por Bento (1998) e dados de sondagens obtidos através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS entre 1984 e 2015.

De acordo com o trabalho realizado por Bento (1998), tem-se que a maior ocorrência de areia e argila, em geral, concentra-se na confluência dos Igarapés, além disso, o autor ressalta que na profundidade de 2 metros, as áreas com predominância da fração areia estão situadas no bairro da Paz e oeste do bairro de Flores, locais adjacentes aos limites da sub-bacia. Estas informações foram corroboradas através dos reconhecimentos dos solos de sondagens realizadas pelo SIAGAS.

Os solos da sub-bacia do Igarapé dos Franceses são classificados nos grupos B, C e D (NRCS, 2009). O solo do grupo B foi o de maior ocorrência, correspondendo aos solos com relativa capacidade de infiltração e geralmente associados ao escoamento moderadamente baixo, porém, é importante salientar a presença dos solos tipo C e D, cujo potencial de escoamento é alto.

Os valores de CN (NRCS, 2004) foram calculados de acordo com a ocupação do solo na bacia, no decorrer dos anos de 2000, 2008 e 2016. Os valores de CN ponderados foram obtidos considerando o tipo de CN com sua respectiva área, conforme Equação 1:

$$CN_{pond} = \frac{\sum(CN_c \cdot A_c)}{A_t} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: CN_{pond} = valor do número da curva ponderado; CN_c = valor do número da curva de cada classe de uso em função da cobertura do solo da bacia; A_c = Área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia; e A_t = Área total da bacia.

Através dos valores de CN_{pond} obtidos para os diferentes anos, utilizou-se a Equação 2 para obter os valores de S e a Equação 3 para obter os valores de Pe para os anos analisados. Com os dados obtidos foi calculado C para os anos de 2000, 2008 e 2016 através da Equação 4.

A precipitação máxima (P), de 145,8 mm, foi utilizada nas Equações 3 e 4. Este valor foi registrado no dia 05 de abril de 2017, pela estação meteorológica localizada na Universidade do Estado do Amazonas (UEA), quando houve o rompimento da galeria na Avenida Torquato Tapajós.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Equação 2})$$

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad (\text{Equação 3})$$

$$C = \frac{Pe}{P} \quad (\text{Equação 4})$$

Em seguida, sucedeu-se o cálculo de Q, conforme a equação 5 ($Q = k \cdot C \cdot I \cdot A$) do MR, para os anos de 2000, 2008 e 2016. Para a equação do MR foi adotado: $k = 0,278$ conforme Tucci (2013), $I = 6,075$ mm/h e $A = 8,67$ km².

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise assistida por técnicas de geoprocessamento possibilitou avaliar o progresso do processo de urbanização no entorno do Igarapé dos Franceses nos anos de 2000, 2008 e 2016. Para os 3 anos, respectivamente, obtiveram-se os valores da área mostrados na Tabela 1:

Tabela 1. Evolução da Ocupação do Solo para os anos em estudo.

Ocupação	Ano Referência		Anos Analisados		
	2000	2008	2008	2016	2016
	Área (m ²)	Área (m ²)	Δ % (2000-2008)	Área (m ²)	Δ % (2000-2016)
Alta	1.715.317,86	1.994.014,06	16,25	2.524.077,98	47,15
Média	451.786,74	354.214,65	-21,6	261.197,58	-42,19
Baixa	224.873,45	160.285,37	-28,72	65.999,09	-70,65

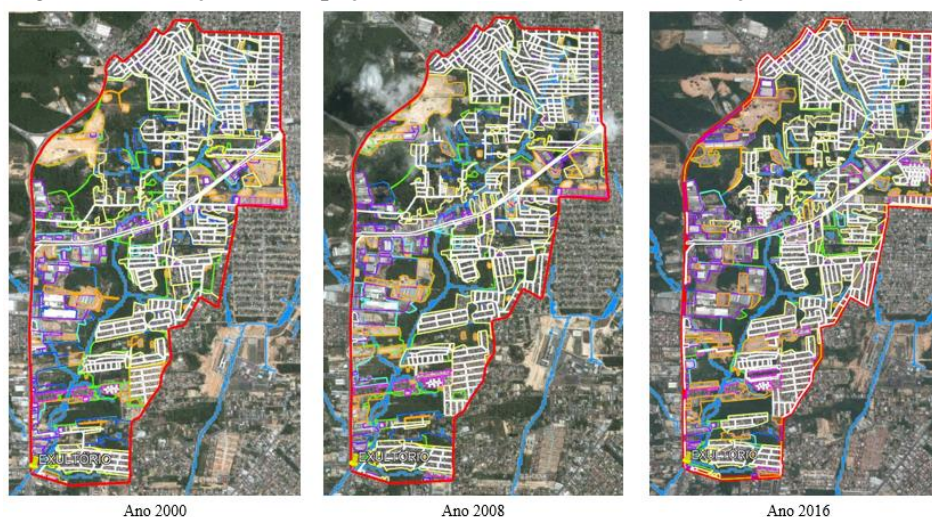
Em 2016, após 16 anos da referência inicial, com uma área de pouco mais de 2,52 km², a Alta ocupação predominava e existia apenas uma área de 0,065 km² de Baixa Ocupação. A área dita Alta Ocupação, no período em estudo, manteve-se em crescimento gradativo enquanto que as outras decresceram. No entorno da sub-bacia é possível verificar a variação da evolução da ocupação do solo para os anos em estudo. Pode-se observar que a classe Alta Ocupação, em 2008, apresentou crescimento aproximadamente 16% superior a 2000 e, para 2016, cerca de 47% superior ao ano inicial. A Média Ocupação apresentou perda de mais de 21% de área entre 2000 e 2008 e cerca de 42% no período de 2000 a 2016. Por fim, a área de Baixa Ocupação reduziu cerca de 29% entre 2000 e 2008 e, aproximadamente, 70% entre 2000 e 2016.

Na Figura 1 tem-se a relação direta do CN com os tipos de solos identificados da sub-bacia. No entanto, para exemplificação dos resultados, a Tabela 2 lista os resultados obtidos para o tipo de solo do grupo B, por ter maior representatividade de ocorrência dentro da área da sub-bacia.

Tabela 2. Evolução do CN calculado a partir da tipologia do terreno.

Tipologia do Terreno	Anos						
	2000		2008		2016		
	Área (m ²)	CN	Área (m ²)	CN	Área (m ²)	CN	
Residencial	<1/8 acre	2.355.244,38	85	2.508.783,58	85	2.851.274,65	85
	Até 1/2 acres	-	-	2.652,00	70	2.625,00	70
	Até 1 acre	-	-	-	-	8.967,81	68
	Até 2 acres	92.802,71	65	275.613,10	65	446.912,17	65
Ruas e Rodovias	Pavimentadas	527.746,19	98	542.645,35	98	740.510,87	98
	De Barro	570.817,28	82	706.908,43	82	746.843,40	82
Cobertura Vegetal	Boa Condição	2.807.632,25	61	2.455.564,18	61	2.164.825,17	61
	Média Condição	1.284.762,40	69	1.064.624,84	69	675.163,13	69
	Péssima Condição	448.347,50	79	437.173,76	79	502.410,51	79
Comercial		590.305,29	92	683.692,76	92	974.321,67	92
CN_{pond}			78,15		79,20		84,28

Figura 1. Imagens da evolução da ocupação do solo na bacia de contribuição em estudo.



Os resultados das áreas entre os anos de 2000 e 2016 apresentam grande redução da vegetação local, decorrente do crescimento da cidade em direção à Zona Norte, que segundo o último censo realizado pelo IBGE (2010), foi a região que apresentou o maior índice de aumento de residentes na última década, com 77,6%, realçando a saturação dos espaços urbanos na atualidade. Estes valores estão refletidos nos resultados obtidos para o CN_{pond}, onde em 2000, o valor encontrado foi de 78,15 e para 2016 obtido o valor de 84,28. Um crescimento de 7,84% em 16 anos de urbanização.

A Tabela 3 lista os valores obtidos para os coeficientes hídricos anteriormente mencionados e calculados conforme as Equações 2, 3, 4 e 5.

Tabela 3. Valores obtidos das Áreas e seus respectivos valores de CN.

Coeficientes Hídricos	2000	2008	Δ % (2000 -2008)	2016	Δ% (2000-2016)
Infiltração Potencial (S) (mm)	71,02	66,71	-6,07	47,38	-33,29
Precipitação efetiva (Pe) (mm)	85,47	92,19	7,86	101,17	18,37
Run-off	0,59	0,61	3,39	0,69	16,95
Vazão de projeto (m³/s)	8,59	9,27	7,86	10,17	18,36

Por meio da Tabela 3, observa-se que a partir do instante que a bacia foi sofrendo urbanização, entre 2000 e 2008, houve diminuição de 6,07% no S. Verificou-se que o processo foi mais intenso entre 2008 e 2016 e, com isso, o C tendeu a aumentar com o passar dos anos: de 0,59 em 2000, para 0,69 em 2016, o que representa um crescimento de cerca de 17%. Da mesma maneira, Pe também aumentou, 18,37%, no decorrer dos 16 anos, mostrando que, de fato, houve a impermeabilização do solo na sub-bacia hidrográfica. Por consequência, os valores de vazões para os diferentes anos, comprovam as variações dos valores dos outros coeficientes, aumentando em 7,86% entre 2000 e 2008 e, 18,36% entre 2000 e 2016.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos dos coeficientes de escoamento superficial para os anos de 2000, 2008 e 2016 na sub-bacia do Igarapé dos Franceses, em Manaus, comprovou que houve, no período de 16 anos: (i) redução de mais de 600 mil m² de área verde em boa condição e de área verde em média condição; (ii) decréscimo de 70,65% da classe da Baixa de Ocupação; (iii) e 47,15% de aumento da classe de Alta Ocupação. Estes resultados confirmam o impacto da urbanização sobre o escoamento superficial de uma região.

A utilização do método da Curva Número permitiu avaliar de maneira precisa a variação do uso e ocupação do solo na sub-bacia e seu impacto direto nos coeficientes hídricos da bacia. Sendo assim, as classes de solo que apresentaram maior CN, tiveram a precipitação efetiva elevada e, por conseguinte, menor infiltração potencial.

A infiltração potencial reduziu 33,29% no período de 2000 a 2016 e com isso a precipitação efetiva aumentou, resultando em valores de 85,47; 92,19 e 101,17mm, respectivamente, para os 3 anos. Os coeficientes de *run-off* variaram para a sub-bacia nos valores de 0,59; 0,61 e 0,69, respectivamente, para os anos de 2000, 2008 e 2016, em função do crescimento da urbanização.

Dessa forma, a ampliação da área urbana incidiu diretamente na elevação das vazões de drenagem. Em 2000, o resultado obtido foi de 8,59 m³/s e ao longo dos 16 anos aumentou em 18,36%. Ou seja, resultou em uma vazão de 10,17 m³/s em 2016. Esses valores são reflexos da impermeabilização da bacia no período, indicados pela expansão da Alta Ocupação.

REFERÊNCIAS

- Bento, H. A. Mapeamento Geotécnico da Área Urbana de Manaus – AM Volume I. 201f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Centro de Ciências do Ambiente. Universidade do Amazonas. Manaus, 1998.
- Ferreira, C. F. Produção do espaço urbano e degradação ambiental: um estudo de caso sobre a várzea do Igarapé do Tucunduba Belém-Pará. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Universidade de São Paulo: São Paulo, 1995.
- G1 Amazonas. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/obras-em-cratera-na-av-torquato-tapajos-terminam-nesta-sexta-6-em-manaus.ghtml>. Acesso em: 15 de abril de 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=29&uf=13>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.
- SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php. Acesso em: 16 de maio de 2018.
- Tucci, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima das bacias urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.1, p.61-68, 2000.
- Tucci, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2013.
- United States. Department of Agriculture. NRCS - Natural Resources Conservation Service. Hydrologic Soil-Cover Complexes. In: National engineering handbook hydrology chapters. Washington, DC, Cap 9, 2004.
- United States. Department of Agriculture. NRCS - Natural Resources Conservation Service. Hydrologic Soil Groups. In: National engineering handbook hydrology chapters. Washington, DC, Cap 7, 2009.