

FATORES RELEVANTES NA ESTIMAÇÃO DO VALOR DA VAZÃO ESPECÍFICA DE RESTRIÇÃO. ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO REGINALDO EM MACEIÓ-AL.

RELEVANT FACTORS IN THE ESTIMATION OF THE VALUE OF THE SPECIFIC DISCHARGE FOR RESTRICTION. CASE STUDY: REGINALDO RIVER BASIN IN MACEIÓ-AL.

Gabriela Branquinho Antonio

Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento / Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Doutoranda em Geografia na Universidade de Brasília - UNB. (gabrielabranquinho56@gmail.com)

Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental / Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Universidade Federal de Alagoas. (marllus.neves@ctec.ufal.br)

Resumo

Uma forma de controlar a geração do escoamento superficial nas áreas urbanas é a restrição específica (q_R), que pode ser definida como a vazão máxima de saída permitida em uma área urbana ocupada por vários tipos de uso do solo, como lotes ou loteamentos residenciais e comerciais. Pode-se obter seu valor, combinando os métodos NRCS TR-55 (SCS) e Racional, usando a duração da precipitação via método cinemático. Essa forma está sujeita a diversas suposições que podem gerar incertezas, sendo necessária uma investigação. Isto foi realizado neste estudo, em um Sistema de Informação Geográfica, espacializando valores de q_R em uma bacia urbana por quatro métodos: Racional-cinemático, duração que gera precipitação efetiva, duração de uma hora e duração de quatro horas. No primeiro, todo o procedimento foi automatizado, resultando em durações muito baixas em cada célula, o que, aliadas ao tipo de solo predominante, gerou valores de q_R muito baixos. A situação melhorou para os três métodos seguintes, com automatização parcial. Tudo foi visualizado em mapas, construídos com valores de Curve Number, de q_R e outros. Para a bacia hidrográfica estudada, foi mais viável utilizar a duração igual a quatro horas.

Palavras-chave: vazão de restrição específica, drenagem urbana, sistema de informação geográfica.

Abstract

One way to control the generation of urban runoff is the specific discharge for restriction (q_R), that can be defined as the maximum allowed discharge in the urban area occupied by various types of land use, such as lots or groupings of residential and commercial lots. One can obtain its value by combining the NRCS TR-55 (SCS) and Rational methods, using the duration of the precipitation by the kinematic method. This manner is subject to several assumptions, which can generate uncertainties, making an investigation necessary. This was done in this study, in a Geographic Information System, spatializing values of q_R in the urban catchment by four methods: Rational-kinematic, duration that generates effective rainfall, duration of one hour and duration of four hours. In the first one, the whole procedure was automated, and the durations resulting in each cell of the digital terrain model were very low. This and the predominant soil type generated very low values for q_R . The situation improved for the following three methods, with partial automation. All were visualized on maps of Curve Number and q_R values and others. For the catchment studied, it was more interesting to use duration equal to four hours.

Key words: specific discharge for restriction, Urban drainage, Geographic Information System.

1-INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão e o planejamento da drenagem urbana são temas essenciais para a antecipação e mitigação de problemas causados pelo incremento do escoamento superficial, resultado da alteração das funções naturais do ciclo hidrológico (GILROY;

MCCUEN, 2009; PETIT-BOIXA *et al.*, 2015). A situação se agrava devido à adoção de um tratamento tradicional dado ao problema, via projeto e implantação de redes de galerias e canalização de riachos, comum nas cidades brasileiras. Maceió, onde se localiza a área utilizada para este estudo, também se inclui nessa realidade com seu sistema dimensionado sem a visão de longo prazo, não

atendendo satisfatoriamente ao atual cenário de urbanização da cidade (FERNANDES, 2010).

Nessa realidade, são necessários parâmetros adequados, de modo que torne possível a concepção de projetos de controle do escoamento em diversas escalas, a fim de compensar o efeito da impermeabilização do solo. Um destes é a denominada vazão de restrição, que é a vazão máxima de saída permitida em uma área ocupada (ou a ser ocupada). A ideia é restringir a geração de vazão a um nível compatível com um cenário anterior de ocupação, de tal forma que a vazão máxima gerada no escoamento superficial no cenário futuro não ultrapasse os valores do cenário anterior de ocupação.

É comum se pensar o cenário passado como o de pré-urbanização ou de pré-ocupação ou ainda de pré-desenvolvimento, quando se quer retornar aos níveis de geração de escoamento praticamente nas condições naturais. Conforme cita Peplau e Neves (2014), vários locais no Brasil e no mundo assim o fizeram, destacando-se como pioneira no Brasil a legislação da cidade de Porto Alegre, a partir dos trabalhos de Tucci (2000; 2002). Segundo o decreto Nº 15.371, de 17 de novembro de 2006 (PORTO ALEGRE, 2006), em seu Art. 1º, “toda ocupação que resulte em superfície impermeável, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de pluviais igual a 20,8 l/(s.ha)”.

Essa ideia não é nova. Na década de 1980, Urbonas e Glidden (1983) propuseram o valor de 16,8 L.s⁻¹.ha⁻¹ para a cidade de Denver, obtido a partir de uma simulação detalhada de reservatórios espalhados aleatoriamente em uma bacia de 20 km². No Brasil, alguns locais estabeleceram suas vazões de restrição específicas, seja em legislação, confecção de manual de drenagem ou estudos acadêmicos, como São Paulo-SP, Feira de Santana-BA, Curitiba-PR, Brotas-SP, Distrito Federal-DF, Santa Maria-RS e para uma situação específica na cidade de Maceió-AL. A base da determinação está no método Racional, determinando-se um coeficiente de escoamento de pré-urbanização com o auxílio do método NRCS TR-55, mais conhecido como método SCS (TUCCI, 2000; 2002; LIMA; SILVA, 2012; AMARAL; BEMFICA, 2013; PEPLAU; NEVES, 2014; ROMAN, 2015).

Outros trabalhos, no entanto, consideraram que tal metodologia, mais utilizada pelos autores citados acima, adota valores restritivos em demasia (FORGIARINI *et al.*, 2012; TASSI; VILLANUEVA, 2004; PEPLAU; NEVES, 2014). Conseguiu-se

mostrar que é possível haver valores menos restritivos de vazões de restrição específicas, a partir de condições diferentes daquelas descritas no parágrafo anterior, sendo também suficientes para evitarem alagamentos (TASSI; VILLANUEVA, 2004; PEPLAU; NEVES, 2014). Peplau e Neves (2014), por exemplo, apontaram em um exercício numérico que o valor da vazão de restrição específica pode variar muito, conforme alguns parâmetros, tais como a área contribuinte, a declividade, o tempo de concentração (que reflete na intensidade), entre outros.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo evidenciar a influência dos diversos fatores já citados na determinação da vazão de restrição específica, via espacialização da mesma em ambiente de geoprocessamento, indicando ainda a escala de trabalho como relevante na determinação dos valores da mesma. Procura-se mostrar que o método é uma alternativa, mas que precisa de melhor definição de alguns parâmetros hidrológicos, como a escala da área de drenagem.

2 - METODOLOGIA

2.1. Descrição da área em estudo

O estudo ocorreu na bacia hidrográfica do rio Reginaldo em Maceió/AL, que compreende uma área de 26,5 km², representando aproximadamente 41,6% da mancha urbana de Maceió. Dos 50 bairros de Maceió, 18 são drenados total ou parcialmente na bacia hidrográfica, conforme

Figura 1. Nela, há grandes proporções de áreas com declividades planas e suave-onduladas, entretanto, nas áreas do denominado Vale do Reginaldo e nas de grotas, as declividades são acentuadas (IBGE, 2007). A bacia apresenta os quatro tipos de solos hidrológicos considerados no método do SCS, sendo 73,16 % do grupo A, 13,81 % do grupo B, 8,94% do grupo C e 3,92 % do grupo D (USDA, 1986; SARTORI *et al.*, 2005).

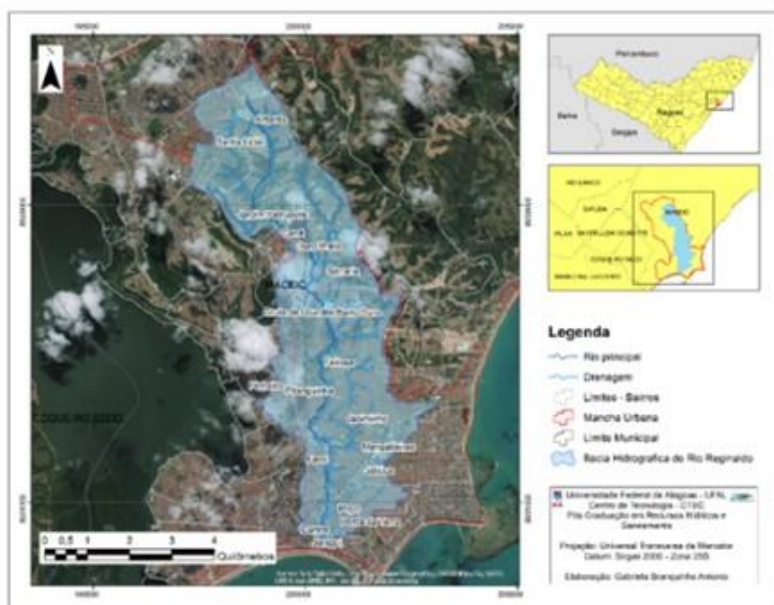
2.2. Materiais

A determinação da vazão de restrição específica precisa da definição de um cenário pretérito de uso do solo. Após uma busca por mapas mais antigos da bacia, conseguiram-se dois levantamentos, sendo um relativo a 1960 e outro a 1989. Dessa forma, foram utilizadas as cartas topográficas, cedidas pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFAL, do mapeamento realizado pela SUDENE para a elaboração do mapa de uso

da terra. Teve-se como referência o ano de 1960, quando a área urbana ainda era incipiente. Nas áreas da bacia onde o levantamento não foi realizado para 1960, assumiu-se que a cobertura era vegetação rasteira, proposição que foi auxiliada

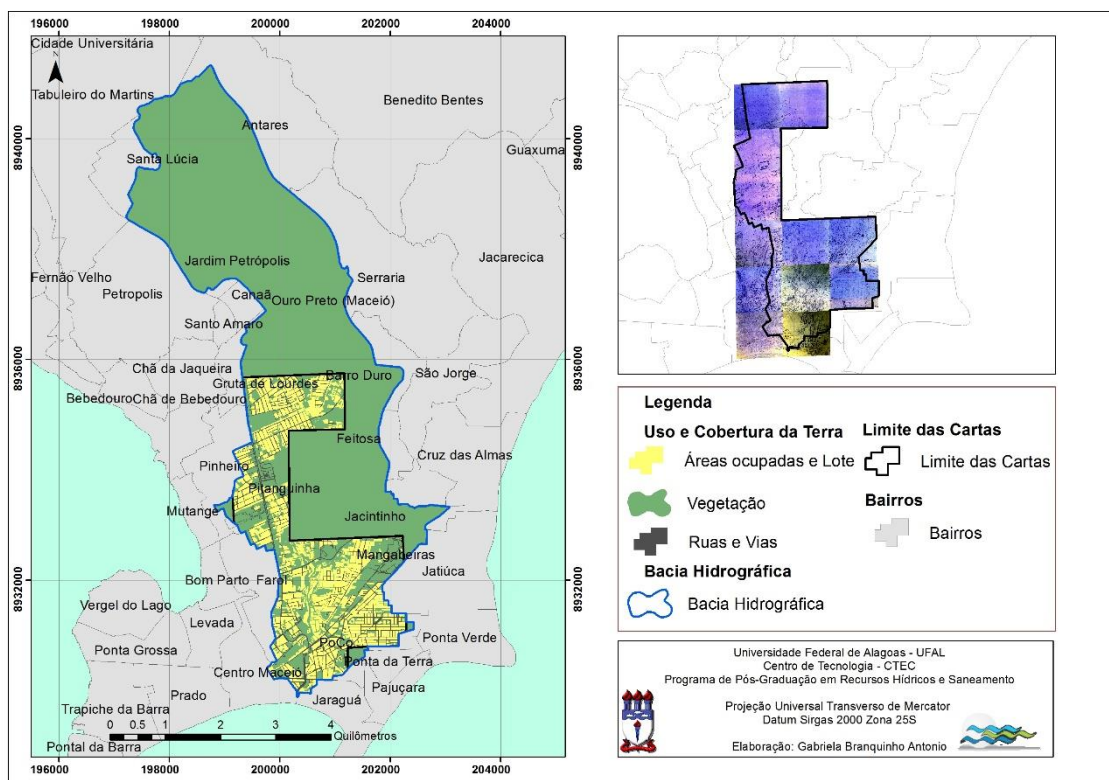
pela carta topográfica de 1989, com mapeamento utilizando ortofotos, pois nestas áreas o uso do solo se manteve semelhante no período entre 1960 e 1989.

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 2. Mapa de uso da terra para a bacia do Reginaldo



Fonte: ANTONIO (2017).

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo TOPODATA, foi possível extrair declividades. Todos os dados vetoriais (uso da terra e solos pedológicos) foram colocados em formato *raster*, obtendo-se células de 30 m x 30 m, mesma resolução do MDE. Os mapas foram elaborados em escala 1:50.000, com sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e Datum Sirgas 2000 Zona 25S.

Com os dados de solo, foram gerados os grupos de solo hidrológicos (SARTORI *et al.*, 2005). A partir dos grupos de solos hidrológicos e uso do solo, geraram-se os valores do parâmetro CN (*Curve Number*), para áreas urbanizadas, utilizando os valores de referência propostos por USDA (1986). Para as áreas residenciais, foram considerados lotes menores que 500 m², isso porque foi levada em consideração a área do *pixel* (900 m²) como unidade área de análise.

O cálculo e a espacialização da vazão de restrição específica foram realizados através da criação de *scripts* por intermédio de programação, utilizando a linguagem Python, devido à sua articulação com o *software* de geoprocessamento.

2.3. Métodos

A vazão de restrição específica (q_R) foi obtida pelo método racional e calculada para cada célula (*pixel*). Inicialmente, tentou-se realizar todo o procedimento de forma automática, seguindo metodologia semelhante à dos trabalhos já citados. Esse procedimento é denominado aqui de método Racional-cinemático, pois utiliza o método racional, com o coeficiente de escoamento determinado pelo método NRCS-TR 55 e pela duração da chuva igual ao tempo de concentração, que, por sua vez, é igualado ao tempo de viagem em cada célula obtido pelo método cinemático.

O método cinemático calcula a velocidade de propagação da superfície. Como será descrito adiante, os resultados apontaram valores muito baixos de q_R por causa de valores muito baixos de tempos de viagem, e devido ao tipo de solo predominante na bacia. Valores muito baixos ou nulos de precipitação efetiva foram obtidos, gerando valores muito baixos de coeficientes de escoamento, tudo isso inspirando os métodos seguintes.

A segunda forma de cálculo de q_R tentou dirimir o problema da precipitação efetiva e é denominado aqui de método da duração que gera precipitação efetiva. Neste, a duração da chuva não foi igualada ao tempo de viagem na célula. O

terceiro e quarto métodos, que também não igualaram a duração ao tempo de viagem na célula, são denominados de método da duração igual a 1 hora e método da duração igual a 4 horas. A duração igual a 1 hora foi utilizada por diversos trabalhos no Brasil (TUCCI, 2000; TUCCI, 2002; LIMA; SILVA, 2012; AMARAL; BEMFICA, 2013; PEPLAU; NEVES, 2014; ROMAN, 2015), e o valor de 4 horas foi usado por ser próximo do tempo de concentração da bacia do rio Reginaldo, estimado por Vidal (2012).

Dessa forma, a questão de escala está representada indiretamente pelo tempo de viagem, de modo que a duração de 4 horas ocorreria hipoteticamente em uma grande célula igual ao tamanho da bacia, com o tempo de concentração dela.

Racional-cinemático

Os passos, considerados em cada célula, foram os seguintes:

(a) obtenção dos valores de CN a partir do uso do solo e dos tipos de solos hidrológicos;

(b) cálculo da velocidade do escoamento (m/s) na superfície, obtida através da declividade (%) e o coeficiente adimensional K que varia com o uso do solo, utilizando a equação 1

$$V = K \cdot S^{0,5} \quad (1)$$

(c) cálculo da duração da chuva pela expressão do tempo de viagem t_c (s) pela equação 2. O t_c dependente do comprimento L (m) e de V (m/s)

$$t_c = L/V \quad (2)$$

(d) cálculo da intensidade da chuva I (mm/h) via equação 3, que é a curva IDF de Maceió por Denardin e Freitas (1982). TR é o tempo de retorno (anos) e t_c deve ser utilizado em minutos

$$I = \frac{274,09 \cdot TR^{0,28}}{(t_c + 6)^{0,56}} \quad (3)$$

(e) Cálculo da chuva total P (mm) pela equação 4

$$P = I \cdot t_c \quad (4)$$

(f) Cálculo do armazenamento potencial do solo S (mm) pela equação 5

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (5)$$

(g) Aplicação da condição do NRCS-TR 55 para verificar se há geração de precipitação efetiva, via cálculo das perdas iniciais I_a (mm), pela equação 6. Quando $I_a > P$, a precipitação efetiva é nula

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad (6)$$

(h) Cálculo do coeficiente de escoamento de restrição C_R como a razão entre a precipitação efetiva e a precipitação total, via equação 7, adaptada do NRCS-TR 55

$$C_R = \left[\frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad (7)$$

(i) Cálculo da vazão de restrição Q_R (m^3/s) pela equação 8

$$Q_R = 0,278 \cdot C_R \cdot I \cdot A \quad (8)$$

Mais alguns esclarecimentos se fazem necessários: foram adotados dois valores de K (equação 1), sendo igual a 0,61 para áreas urbanas e igual a 0,2 para áreas de vegetação rasteira. O tempo de retorno utilizado para o cálculo da intensidade foi de 10 anos, como em outros trabalhos já mencionados (TUCCI, 2000; TUCCI, 2002; LIMA; SILVA, 2012; AMARAL; BEMFICA, 2013, PEPLAU; NEVES, 2014; ROMAN, 2015). Como cada célula tem as dimensões de 30 m x 30 m, a área de drenagem em cada uma é de 900 m^2 . O comprimento L adotado (equação 2) para este trabalho foi o tamanho da célula do *raster* de declividade em função da sua resolução espacial, ou seja, 30 m.

Duração que gera precipitação efetiva

Esta etapa não utiliza o método cinemático, pois os cálculos são realizados a partir da duração (passo d no método anterior). Ela foi primeiramente realizada fora do ambiente de geoprocessamento com os passos seguintes: (a) a partir dos valores de CN da bacia, são calculados S e I_a ; (b) estabeleceram-se durações, calculando-se a intensidade da precipitação (I) e a precipitação total (P); (c) para cada valor de CN e para cada duração, é calculada a diferença $P - I_a$; (d) para cada CN , a duração selecionada foi aquela que apresentou o primeiro valor positivo da diferença entre $P - I_a$, ou

seja, a condicional de $I_a > P$ (passo g no método anterior) inserida no contexto do cálculo da duração; (e) selecionadas as durações, calcula-se, então, o C_R e Q_R em cada célula, de forma semelhante ao caso anterior (passo d até o passo i).

Duração igual a 1 hora e duração igual a 4 horas

Foi adotada a duração igual a 1 hora, por ter sido realizada em diversos trabalhos (TUCCI, 2000; TUCCI, 2002; LIMA; SILVA, 2012; AMARAL; BEMFICA, 2013, PEPLAU; NEVES, 2014; ROMAN, 2015) e, também, foi uma forma de verificar se os resultados de C_R e Q_R estavam dentro de ordens de grandeza esperadas, sobretudo para uma parte da bacia estudada em Peplau e Neves (2014). Como já mencionado, a duração de 4 horas foi recomendada por Vidal (2012), ao realizar modelagem hidrológico-hidráulica na mesma bacia hidrográfica deste estudo. O restante desta etapa foi conduzido da mesma forma que a primeira (Racional-cinemático), descartando somente o cálculo da velocidade e do tempo de concentração.

Mapa prático de q_R

Os mapas gerados com os métodos descritos anteriormente, apesar de interessantes do ponto de vista de um panorama geral da espacialização de q_R , não são de aplicação fácil por órgãos de gestão da drenagem urbana de uma cidade. Dessa forma, foi feito um mapa prático de q_R , dividindo-se a bacia em duas partes bem características da cidade de Maceió, que são as unidades geomorfológicas de relevo: tabuleiro e depósito litorâneo. Popularmente, habitantes costumam chamar parte alta e parte baixa da cidade, respectivamente.

As vazões do mapa prático são resultado de uma média ponderada entre os valores de vazão de cada célula e do número total de células presentes em cada área definida, tabuleiro e depósitos litorâneos.

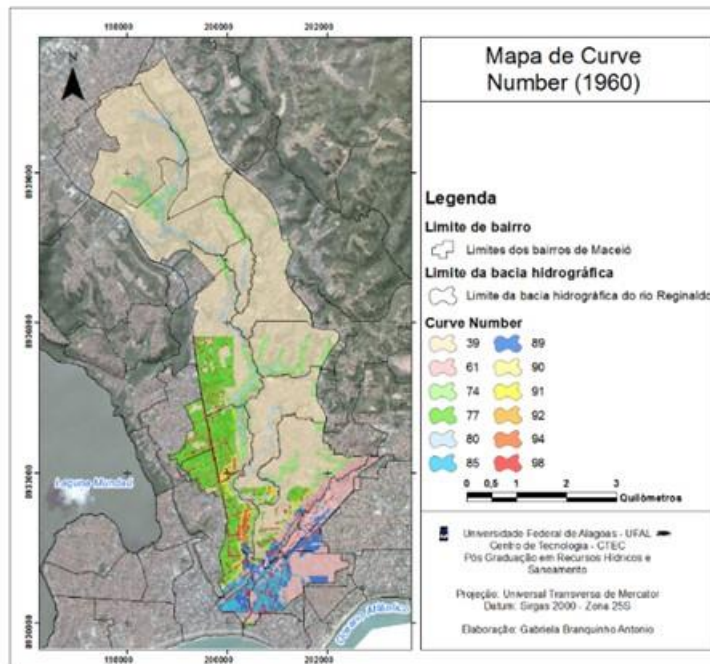
3 - RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o mapa com valores de CN para o uso do solo em 1960. Observa-se uma ocupação incipiente nas áreas do vale do Reginaldo, principalmente, na parte baixa da bacia. Ocorrem algumas áreas urbanas na porção oeste da bacia, em bairros tradicionais da cidade, como Pinheiros, Gruta de Lurdes, Pitanguinha e Farol, e

em uma parte do Centro. Conforme Figura 4, o armazenamento potencial S em 1960 apresentou valores altos devido à área de vegetação rasteira e

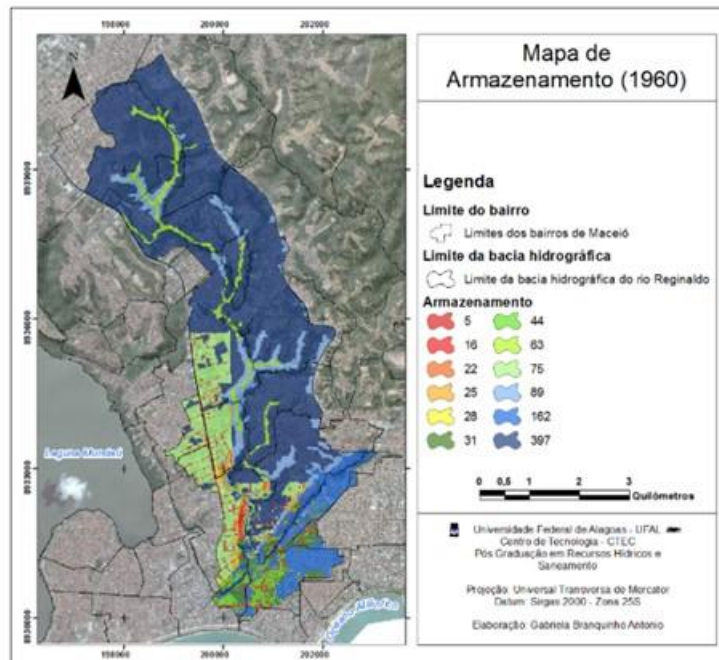
ao solo do grupo hidrológico A. Isto se reflete em grandes valores de perdas iniciais, conforme Figura 5.

Figura 3. Mapa com valores de CN para 1960



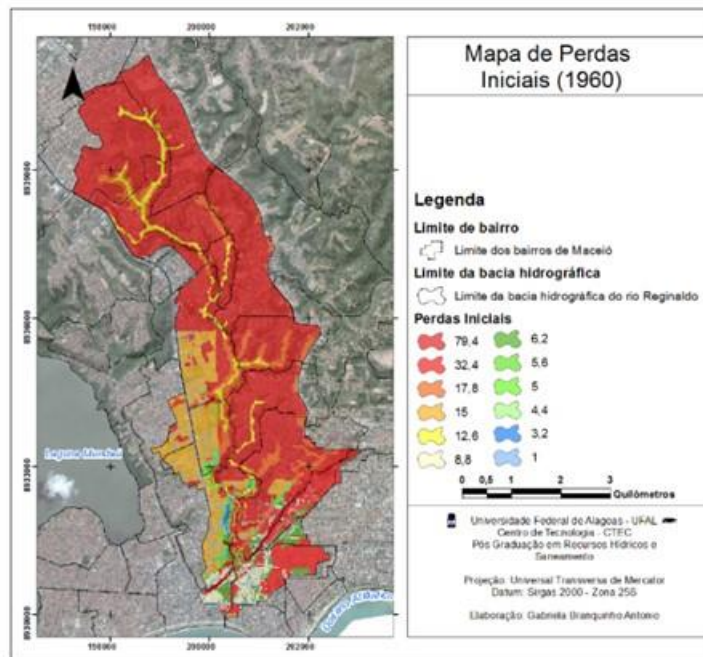
Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 4. Mapa com valores de S para 1960.



Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 5. Mapa com valores de la para 1960



Fonte: ANTONIO (2017).

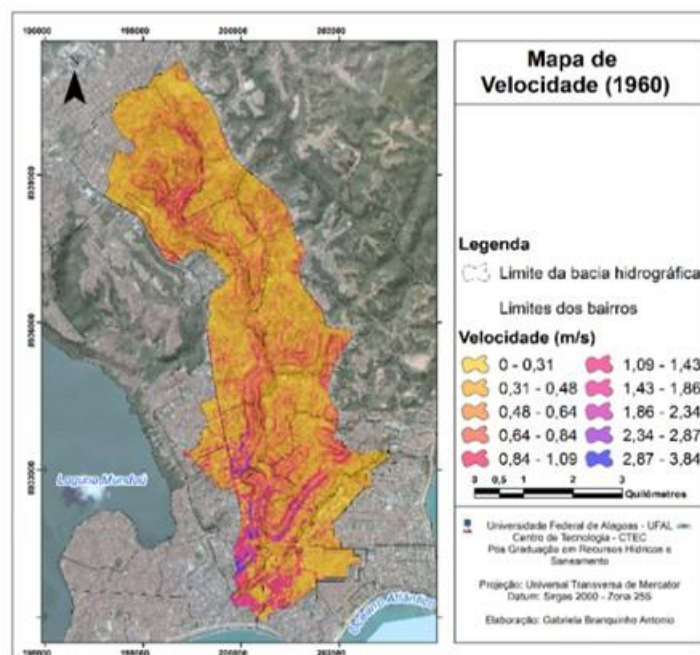
3.1. Racional-cinemático

Na Figura 6, está o mapa de velocidades e, na Figura 7, o mapa de tempo de concentração. As velocidades encontradas variam entre 0,15 m/s e 3,84 m/s com a velocidade média de 0,52 m/s. As velocidades mais altas ocorrem nas áreas de grotas e vale, devido às declividades mais acentuadas, e nas áreas urbanas em função das áreas

impermeáveis. Quanto ao tempo de concentração, o valor mínimo foi de 0,13 min, o médio de 1,20 min e o máximo de 3,25 min.

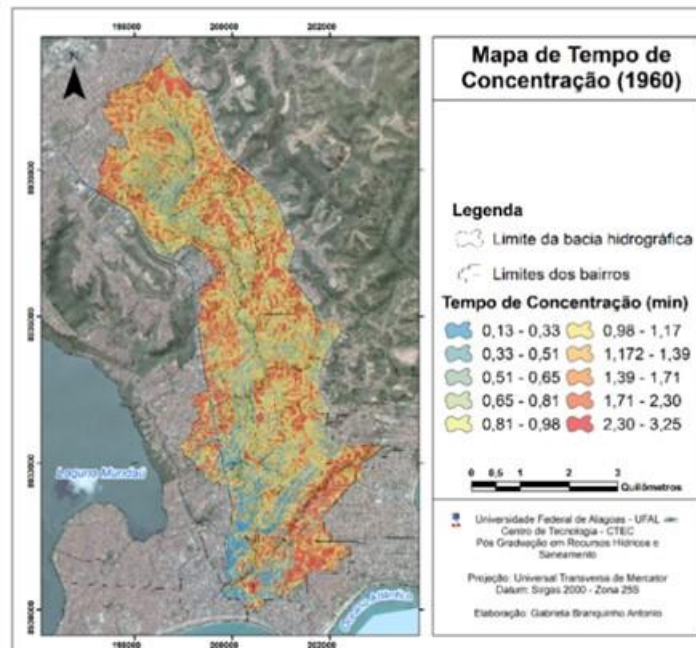
As intensidades da precipitação variaram de 190,5 mm/h a 191,4 mm/h, conforme Figura 8. Para a precipitação total, os valores foram muito baixos, principalmente nas áreas ocupadas e loteadas. Nas áreas onde a vegetação é rasteira, a precipitação total foi mais elevada, conforme Figura 9.

Figura 6. Velocidade do escoamento para o método Racional-cinemático



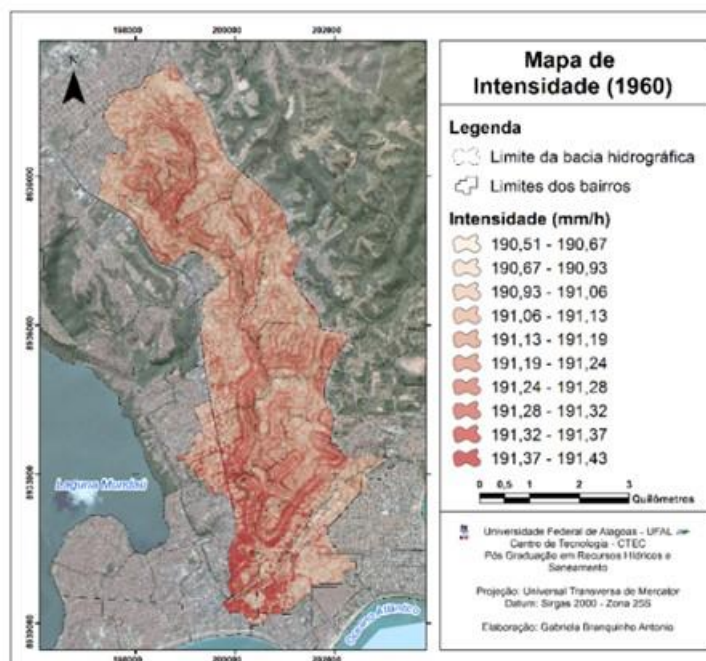
Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 7. Valores de duração para o método Racional-cinemático



Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 8. Intensidade da precipitação para o método Racional-cinemático



Fonte: ANTONIO (2017).

Com os dados de precipitação, foi realizada a condicional referente ao método NRCS TR-55. Em toda a bacia, as perdas iniciais superaram as precipitações, gerando assim valores de Q_R nulos. Isto certamente se deve aos valores muito baixos dos tempos de concentração e à predominância do solo do grupo hidrológico A. Em um exercício numérico, Peplau e Neves (2014) obtiveram valores

de C_R entre 0 (grupo hidrológico A) e 0,22 (grupo hidrológico D) para duração de 30 minutos em Maceió. Para a sub-bacia do riacho do Sapo, situada na parte leste da bacia do Reginaldo com 2,1 km² e tempo de concentração de 85 minutos, os autores encontraram valores de C_R entre 0,11 e 0,18 com método Racional-cinemático, resultando em valores de q_R entre 17,5 e 28,6 L·s⁻¹·ha⁻¹. Os

autores utilizaram uma curva IDF mais antiga que a de Dernadin e Freitas (1982) e duração de 1 hora. Na mesma sub-bacia, os autores calcularam valores de q_R que não provocariam transbordamento do canal via simulação hidrológico-hidráulica com o modelo SWMM, estando os valores na faixa 34,7-48,9 L·s⁻¹·ha⁻¹.

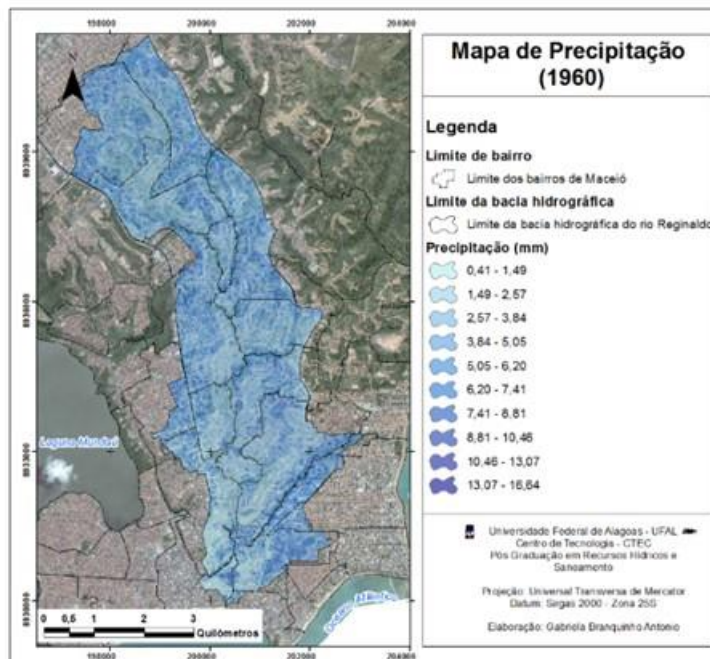
Os números deste estudo, quando comparados com os resultados de Peplau e Neves (2014), indicam que o método Racional-cinemático, com seus valores nulos, quando aplicado em cada célula 30 x 30m, não está em acordo com o mesmo método aplicado na escala da sub-bacia. A ideia de espacializar a vazão de restrição específica é interessante, mas aparentemente é muito sensível à escala. Os resultados expostos podem indicar que a espacialização de q_R , a partir de todos os cálculos realizados em uma escala de *pixel*, promova resultados como estes ou, mesmo que valores de

q_R não nulos, muito baixos. Uma possibilidade é o uso da diagonal da célula como valor do comprimento L, sendo 42,4 m para uma célula de 30 m x 30 m, ou ainda L ser determinado via algoritmo que verifique a direção preferencial em função da declividade da célula corrente em relação às declividades das células do entorno. Neste estudo, entretanto, optou-se por constatar este fato com valores maiores de duração, com os resultados apresentados em seguida.

3.2. Duração que gera precipitação efetiva

As durações encontradas estão na Figura 10, sendo o valor máximo de 160 minutos ou 2,6 horas para gerar escoamento onde o valor de CN foi igual a 39. O valor médio de P foi de 55,5 mm, conforme Figura 11.

Figura 9. Valores de precipitação para o método Racional-cinemático

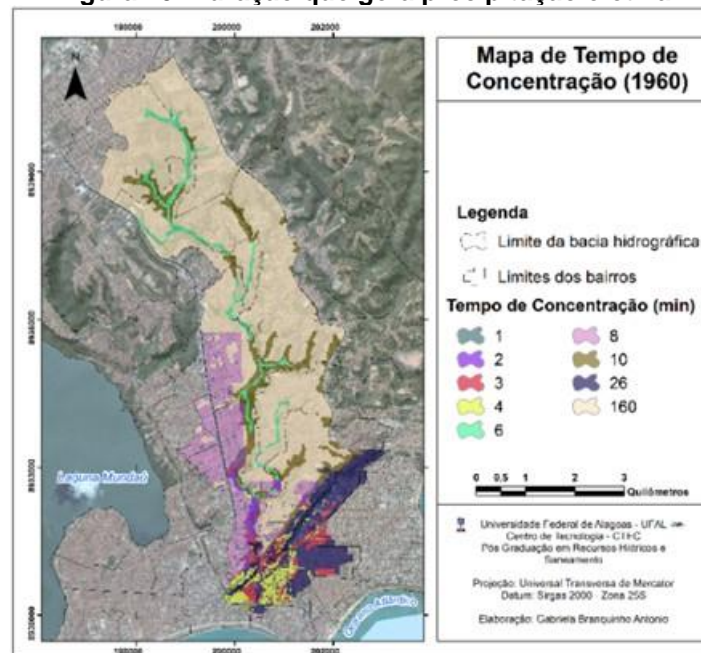


Fonte: ANTONIO (2017).

Os valores de C_R obtidos estão na Figura 12. O valor mínimo foi praticamente nulo (0,000000646) em uma área com uso e cobertura do solo predominante de mata, dando origem a vazões também muito baixas, conforme Figura 13. Os

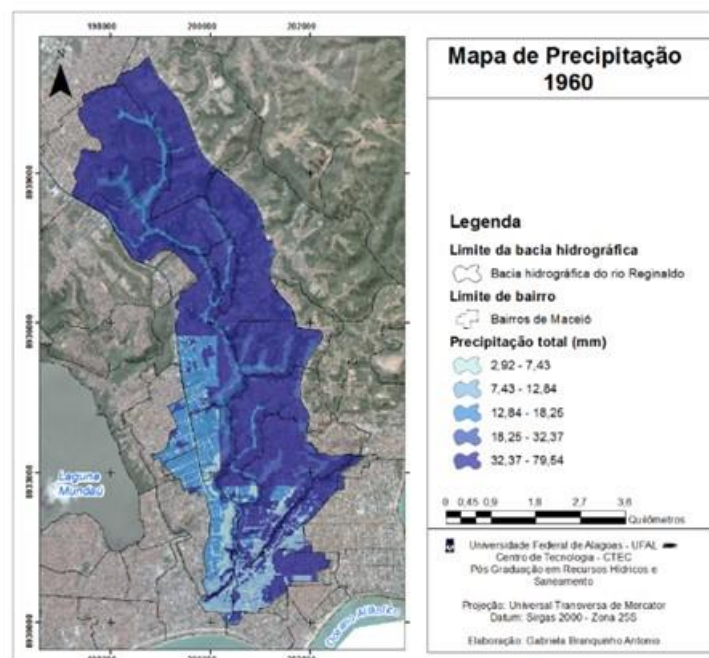
valores de q_R se encontram na faixa 0,00005 - 0,0729670 L·s⁻¹·ha⁻¹ em 81,25% da área da bacia. As vazões mais altas correspondem a 2,98 % da área da bacia. De maneira geral, as vazões mais elevadas ocorrem nas áreas de loteamentos.

Figura 10. Duração que gera precipitação efetiva



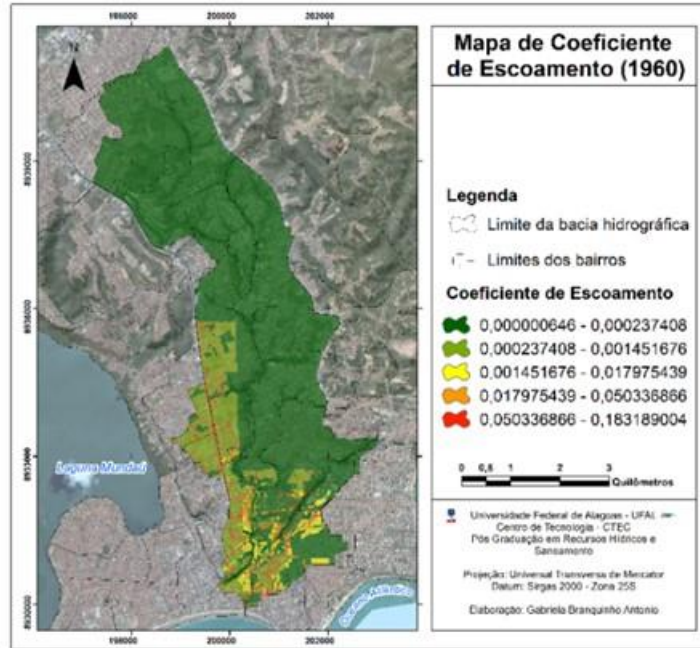
Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 11. Valores de P para a duração que gera precipitação efetiva



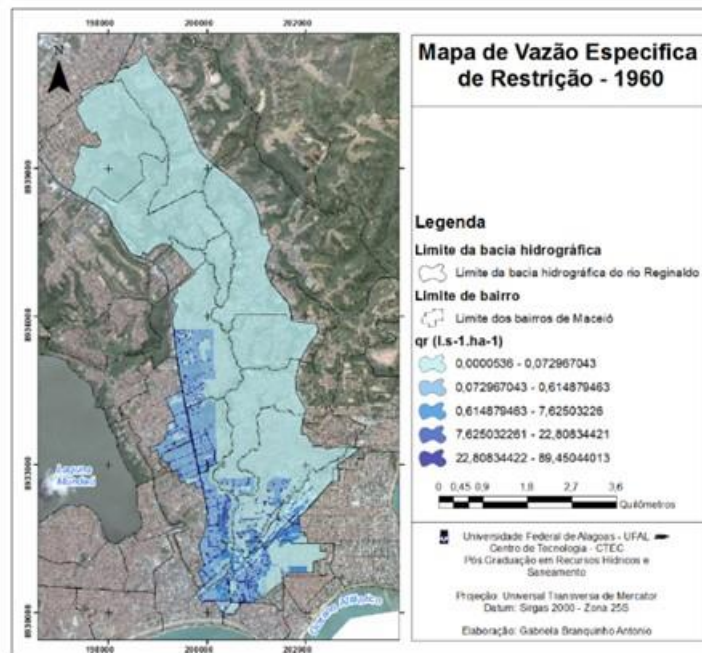
Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 12. Valores de C_R para duração que gera precipitação efetiva



Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 13. Valores de q_R para a duração que gera precipitação efetiva $L \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$



Fonte: ANTONIO (2017).

3.3. Duração igual a 1 hora

Para a duração igual a uma hora, as precipitações mostram valores mais elevados se comparado ao método cinemático, entretanto, em algumas partes da bacia, essa precipitação não supera as perdas iniciais.

A Figura 14 apresenta o resultado da aplicação da condição do método NRCS – TR 55. Apenas

38,73 % da bacia apresentaram valores de P maiores que os valores de I_a , ou seja, em 61,27 % há a anulação dos valores de C_R e, conseqüentemente, de q_R . Novamente houve a influência do solo do grupo hidrológico A com CN igual a 39, correspondente à cobertura do tipo vegetação rasteira.

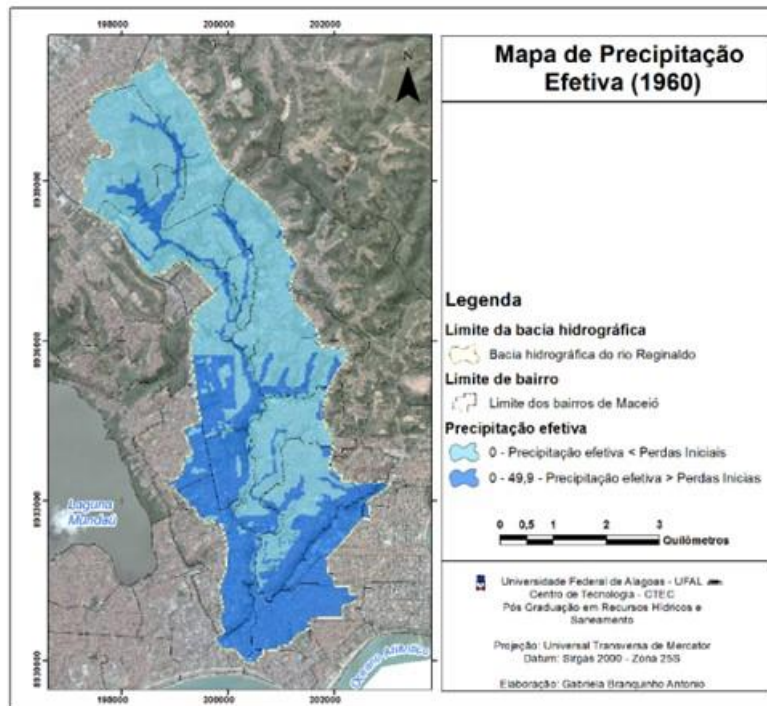
Como já mencionado, essa possibilidade tinha sido prevista no exercício numérico realizado por

Peplau e Neves (2014) para a sub-bacia do riacho do Sapo, utilizando o método Racional, com tempo de retorno de 10 anos e duração de 1 hora.

Conforme Figura 15, o valor de C_R igual a 0,22 é aquele com maior área (10,13 % da área da bacia), seguido pelo valor de 0,17 com 7,44 % da

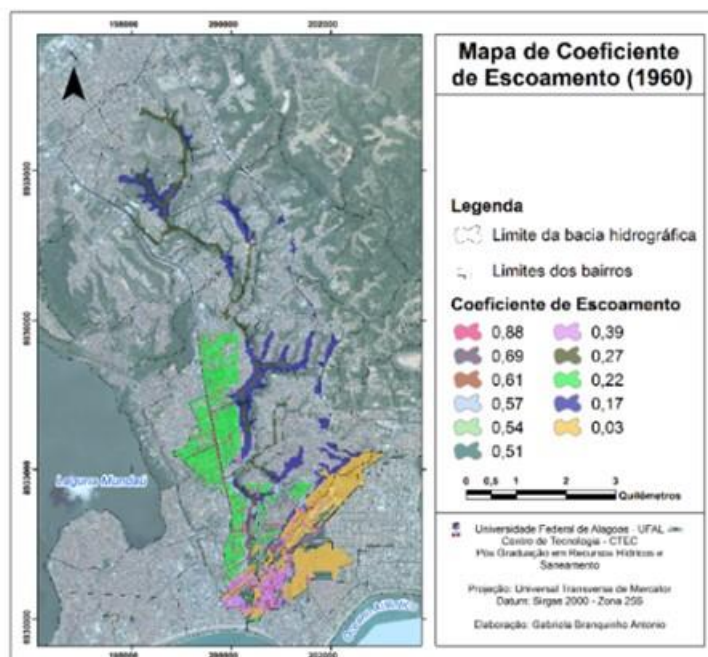
bacia e pelo valor de 0,03 (8,21 % da área da bacia). Os valores de C_R mais altos representam as ruas pavimentadas (0,88) e os valores mais baixos (0,03) são oriundos de áreas não ocupadas e do grupo hidrológico B. Na maior parte da área, em cinza, o valor de C_R é nulo.

Figura 14. Perdas iniciais para a duração de 1 hora



Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 15. Valores de C_R para a duração de 1 hora

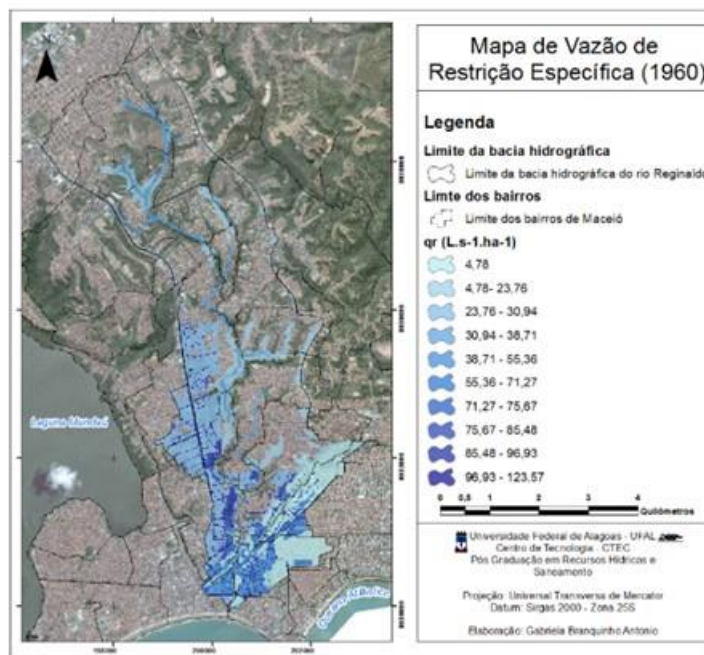


Fonte: ANTONIO (2017).

Conforme Figura 16, a maior parte dos valores das vazões de restrição específica concentra-se nos valores de $4,78 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (8,22%), $23,76 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (7,45%), $30,94 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (10,13 %) e $55,36 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (2,09%), sendo essas vazões associadas aos grupos hidrológicos B, C e D. Como no caso dos valores de C_R , na maior parte da área, em cinza, o valor de q_R é nulo.

Realizando novamente a comparação com o que foi alcançado por Peplau e Neves (2014), estes encontraram valores de q_R com ordem de grandeza diferentes dos encontrados neste trabalho, pois os mesmos foram obtidos a partir da capacidade do canal receptor do escoamento e não de um cenário anterior de ocupação, como feito aqui.

Figura 16. Valores de q_R para a duração igual a 1 hora



Fonte: ANTONIO (2017).

3.4. Duração igual a 4 horas

Seguindo a sequência de apresentação de resultados, na Figura 17 estão os valores de C_R e, na Figura 18, os valores de q_R para a duração de 4 h. Os valores atingem uma ordem de grandeza parecida com aqueles mostrados nos trabalhos que já calcularam a vazão de pré-urbanização em outras cidades no Brasil. Mesmo assim, o valor de C_R igual a 0,006 possui predominância, pois corresponde à área com grupo hidrológico A e onde não há mapeamentos para o ano de 1960.

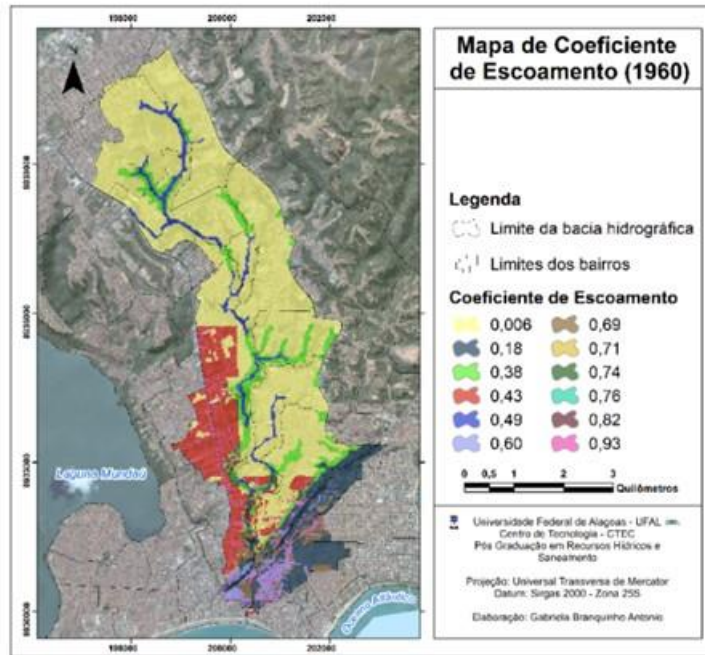
O valor médio de q_R foi de $11,91 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, a vazão de maior área (61,27 % da bacia) foi de $0,44 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, devido à sua correspondência com C_R igual a 0,06. Em seguida, tem-se q_R igual a $29,08 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ que está associado a áreas residenciais a

oeste da bacia (10,13 % da bacia). Comparando novamente com os resultados de Peplau e Neves (2014), os valores estão em uma ordem de grandeza semelhante e abaixo do valor mínimo de $17,5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ encontrado pelos autores.

3.5. Mapa prático de q_R

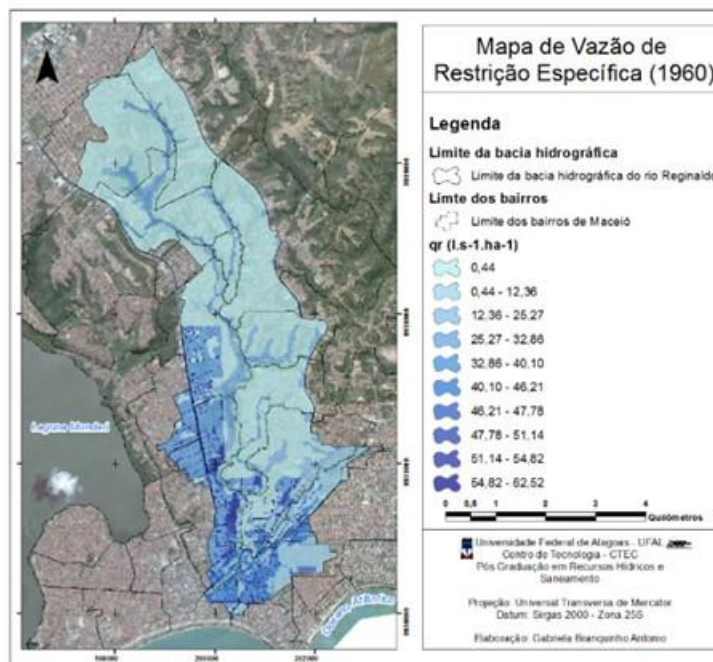
Visando à elaboração do mapa prático, foram utilizados os resultados obtidos pela duração igual a 4 horas, pois somente com essa duração é que foi possível obter para toda a bacia valores de q_R . O resultado encontra-se na Figura 19. Os valores de $27,64 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ e $10,22 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ indicam ser mais plausíveis para aplicação e entram em concordância com o fato de que a maior parte do solo da bacia é do tipo A, mais propício à infiltração.

Figura 17. Valores de C_R para a duração de 4 horas



Fonte: ANTONIO (2017).

Figura 18. Valores de q_R para a duração de 4 h



Fonte: ANTONIO (2017).

4 - CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciaram que há a influência dos diversos fatores na determinação da vazão de restrição específica. Via espacialização da mesma em ambiente de geoprocessamento, verificou-se que o método Racional aplicado com o método cinemático,

denominado método Racional-cinemático, apresentou limitações para a bacia do Reginaldo, visto que a partir dele não foi possível obter os valores de q_R devido às baixas precipitações resultantes de valores baixos dos tempos de duração das precipitações.

Um objetivo deste estudo foi mostrar que o método é uma alternativa, mas que precisa de

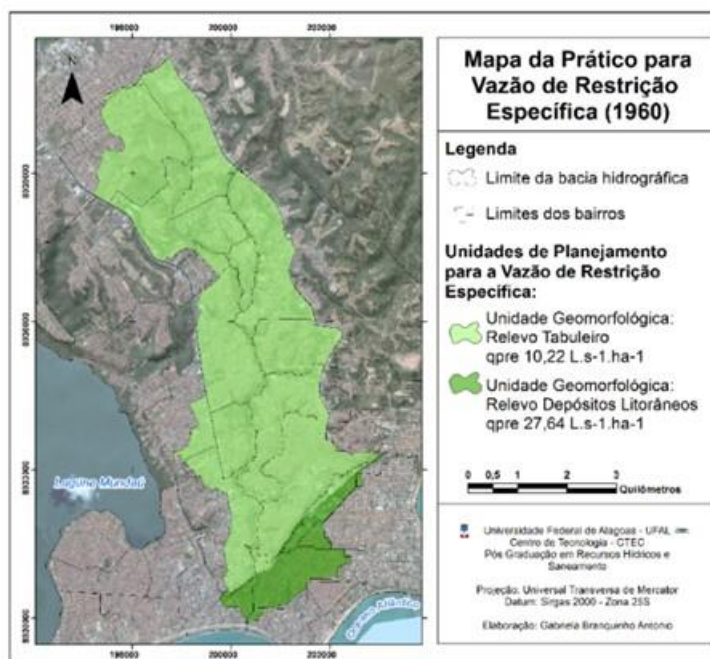
melhor definição de alguns parâmetros hidrológicos, como a escala da área de drenagem. Nesse contexto, procurou-se, então, avaliar outras formas de obter a vazão de restrição específica, alterando a duração. A primeira forma foi utilizando o tempo de concentração igual a 1 hora, o que não se mostrou suficiente para gerar escoamento superficial nas áreas da bacia que apresentam um grande potencial de infiltração (grupo hidrológico A). Apesar da duração igual a 1 hora ser aceita na literatura, para algumas bacias pode não ser o mais viável, além do fato de diversos autores adotarem um valor médio de C_R para todos os solos hidrológicos, diferente do que foi realizado para a bacia do Reginaldo no presente trabalho.

Utilizando o método da duração que gera precipitação efetiva, foi possível observar que a partir de 160 minutos já é possível obter uma precipitação efetiva, mesmo assim ainda houve muitas áreas com vazões de restrição específicas muito baixas. O estudo indica então que, para a bacia do rio Reginaldo e, provavelmente, para muitas outras bacias em diversas localidades, é mais interessante utilizar durações bem maiores

que 1 hora, gerando, inclusive, mapas práticos para gestores aptos a serem utilizados na definição da vazão de restrição específica.

O estudo também abre a perspectiva de uso de um ambiente SIG para refinar a questão da escala com novas discretizações e, também, novas formas de cálculo do tempo de viagem, como, por exemplo, adotando comprimentos de percurso do escoamento no *pixel* diferentes. Apesar de ser interessante espacializar a vazão de restrição específica em um ambiente como esse, o resultado pode se tornar impraticável para o gestor, dado que o mesmo terá dificuldade de fazer uma varredura territorial de modo a abranger as inúmeras possibilidades de valores da vazão gerada em lotes de escalas tão pequenas. Evidencia-se que o método utilizado para gerar parâmetros passíveis de serem utilizados em legislação de controle do escoamento pode fornecer resultados diversos, de modo que é necessário estabelecer um padrão de projeto ou de métodos de estimação. O monitoramento precipitação-vazão de lotes reais e de áreas urbanas preservadas pode ser um auxílio nesta questão.

Figura 19. Mapa prático de q_R por unidades de relevo



Fonte: ANTONIO (2017).

5- AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

6- REFERÊNCIAS

AMARAL, S. M. M.; BEMFICA, D. Comparação dos volumes de microrreservatórios de retenção de águas pluviais em municípios brasileiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013,

- Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves-RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.
- ANTONIO, G. B. Aplicabilidade de medidas de controle do escoamento superficial: distribuição espacial na bacia hidrográfica do Rio Reginaldo, Maceió-AL. Maceió-AL: Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, 2017. 107p.
- DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária**, v. 17, p. 1409-1416, 1982.
- FERNANDES, N. B. **Planejamento territorial e águas urbanas em Maceió**: o plano diretor e a bacia hidrográfica urbana do Riacho Reginaldo. Maceió-AL: Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado da Universidade Federal de Alagoas, 2010. 209p.
- FORGIARINI, F. R.; SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. Reflexões sobre a vazão limite para o controle do escoamento pluvial na fonte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 9., 2012, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 2012. 1 CD-ROM.
- GILROY, K. L.; MCCUEN, R., H. Spatio-temporal effects of low impact development practices. **Journal of Hydrology**, v. 367, n. 3-4, p. 228 -236, Apr. 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2a. ed. Rio de Janeiro, 2007, 316 p.
- LIMA, J. O. P.; SILVA, E. H. B. C. Equação para determinação do volume de detenção de microrreservatórios em Feira de Santana-BA. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 9., 2012, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 2012. 1 CD-ROM.
- PEPLAU, G. J. R; NEVES, M. G. F. P. Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 97-106, out./dez. 2014.
- PETIT-BOIXA, A.; SEVIGNÉ-ITOIZ, E; ROJAS-GUTIERREZ, L. A.; BARBASSA, A. P.; JOSA, A.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X. Environmental and economic assessment of a pilot stormwater infiltration system for flood prevention in Brazil. **Ecological Engineering**, v. 84, p. 194-201, 2015.
- PORTO ALEGRE. Decreto Nº 15.371, de 17 de novembro de 2006. **Diário Oficial de Porto Alegre**, Poder Executivo, Porto Alegre, RS, 17nov. 2006. Edição 2010.
- ROMAN, A. C. **Controle da drenagem na fonte e sua compatibilização ao Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria**. Santa Maria-RS: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, 2015. 151p.
- SARTORI, A.; NETO, F.L.; GENOVEZ, A.M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n.4, p. 05-18, out./dez. 2005.
- TASSI, R., VILLANUEVA, A. O. N. 2004. Análise do impacto dos microrreservatórios nos custos de uma rede de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v 9 n. 3 Jul/Set 2004. p 89 - 98.
- TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n.1, p. 61-68, jan./mar. 2000.
- _____. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.
- URBONAS, B.; GLIDDEN, M. W. Potential effectiveness of detention policies. In: SOUTHWEST STORM DRAINAGE SYMPOSIUM, 1983, Texas A & M. Disponível em: <https://udfcd.org/wp-content/uploads/uploads/resources/technical%20papers/Potential%20Effectiveness%20of%20Detention%20Policies.pdf>. Acesso em: 24/08/2018.
- USDA - U. S. Department of Agriculture. Urban Hydrology for Small Watersheds. **Technical Release 55**. 1986. 164p.
- VIDAL, D. H. F. Modelagem hidrodinâmica como suporte a avaliação e proposição de alternativas compensatórias para mitigação dos problemas de cheias urbanas na bacia do riacho Reginaldo em Maceió-AL. Rio de Janeiro-RJ: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. 247p.