

IX-041 – VAZÃO DE PROJETO DE OBRAS DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA NO MUNICÍPIO DE IRANDUBA, NOVO AIRÃO E MANACAPURU - AM

Guilherme Freire Vieiralves ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Amazonas, Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília.

Elias Simão Assayag

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Amazonas, Mestre em Engenharia Ciências do Ambiente pela Universidade Federal do Amazonas, Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas.

Maria de Nazaré Alves da Silva

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará, Mestra em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará, Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará, Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas.

Elem Cristiane Morais de Sousa Contente

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará, Mestra em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará, Doutoranda em Sociedade e Cultura na Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas, Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas.

Endereço⁽¹⁾: Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Prédio SG-12, 1º andar, Campus Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, CEP 70910-900, Brasília - DF, Brasil. Tel: +55(92) 984234494- e-mail: gvieiralves@gmail.com

RESUMO

Os municípios de Iranduba, Novo Airão e Manacapuru, integrantes da Região Metropolitana de Manaus (RMM), por terem tido os seus acessos facilitados através da ponte sobre o Rio Negro e pela proximidade de Manaus, estão recebendo diversos empreendimentos habitacionais e empresariais. Contudo, devido à falta de um planejamento do uso e da ocupação do solo é comum encontrar nesses municípios e em todo interior do Estado do Amazonas áreas desprovidas de sistemas de saneamento básico acarretando na contaminação dos corpos hídricos e em uma série de problemas de saúde. Como consequência da carência de infraestrutura, esses municípios possuem um sistema ineficaz de drenagem urbana, o qual consiste em um conjunto de medidas que tenham como objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuindo os prejuízos causados por inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo elaborar e formular tabelas, gráficos e equações para determinar de forma rápida a relação vazão/área (Q/A), denominada de vazão específica para projetos de drenagem urbana, utilizando o Método Racional. O objetivo foi alcançado com sucesso e as tabelas, gráficos e equações estão disponíveis para serem utilizadas como ferramenta de auxílio aos engenheiros projetistas de sistemas de drenagem urbana para calcular a vazão de projeto para os municípios estudados, a fim de evitar erros que possam potencializar custos elevados das obras de drenagem ou dimensionamento aquém do necessário para suportar as vazões provocadas pelas chuvas.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem Urbana, Região Metropolitana de Manaus, Método Racional Aplicado.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização brasileira, a partir de meados do século XX, ocorreu de forma intensa e desordenada. Como consequência mais da metade da população brasileira reside em áreas urbanas, tendo um aumento de mais de 50% em relação aos censos de 1940 e de 2000 segundo levantamentos feitos pelo IBGE. Segundo IPEA (apud ROMANELLI; ABIKO, 2011) a partir da década de 50 do século XX o Brasil vem sofrendo um processo de metropolização, o qual consiste em um movimento de integração de território a partir de uma cidade-núcleo, configurando um território ampliado em que se compartilha um conjunto de funções de interesse comum, caracterizando-se assim a conurbação.

Diferentemente, a partir da constituição de 1988, houve a possibilidade da criação de regiões metropolitanas que não estivessem desenvolvendo de forma efetiva um processo de conurbação a fim de obter mais incentivos do Governo Federal. Conforme Domingos (2010, p. 06) “[...]findou o modelo centralizador e autoritário, delegando maior autonomia aos estados no tocante ao planejamento regional. O texto institucional atribui aos estados a autonomia em instituir regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões [...]”. Caso este em que se enquadra a Região Metropolitana de Manaus (RMM).

A RMM criada pela lei Complementar 052/2007 do governo do Estado do Amazonas e aprovada no mês de abril do mesmo ano é constituída por oito municípios: Manaus, Iranduba, Novo Airão, Manacapuru, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, Itacoatiara e Careiro da Várzea, a qual possui uma população de 2.106.272 habitantes, distribuídos numa área de 101.475,124 km² segundo informações do IBGE (2014), as quais são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Características do município da Região Metropolitana de Manaus

Município	Área (km ²)	População (2014)	IDHM (2010)
Manaus	11.401,092	1.802.014	0,737
Iranduba	2.251,214	40.781	0,613
Manacapuru	7.730,075	85.141	0,614
Novo Airão	37.771,378	14.723	0,570
Presidente Figueiredo	25.422,333	27.125	0,647
Rio Preto da Eva	5.813,225	25.719	0,611
Itacoatiara	8.892,038	86.839	0,644
Careiro da Várzea	2.631,144	23.930	0,568
Σ/ IDHM RMM	101.912,499	2.106.272	0,720

Fonte: IBGE, 2014 e IPEA, 2014

Segundo Lima (2010), a criação da RMM estabeleceu uma nova forma de concepção do meio ambiente por não apresentar um processo de conurbação como as regiões metropolitanas clássicas, deixando, dessa forma, lacunas e questionamentos no que se refere a fatores como expansão imobiliária, conversão de terra urbana, incorporação de áreas de florestas em áreas urbanizadas, ocupação das margens dos rios Negro e Amazonas, além dos inúmeros cursos d’água menores, enfim, questões que constituem desafio à tendência que visa ao estabelecimento de uma nova geografia, surgida em função de uma decisão política.

Atualmente, percebe-se que os municípios de Iranduba, Novo Airão e Manacapuru, integrantes da RMM, pela proximidade de Manaus e por terem tido os seus acessos facilitados através da ponte sobre o Rio Negro, estão recebendo diversos empreendimentos habitacionais e empresariais como, por exemplo: o programa “Minha Casa, Minha Vida” e a construção da cidade universitária da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), com uma expectativa de ampliação da área urbanizada, quer seja por conta dos novos empreendimentos ou por conta das obras já existentes e desprovidas do serviço público de saneamento.

A urbanização acarreta alterações do escoamento superficial direto, onde verificam-se variações extremas de picos da cheia em uma bacia completamente urbanizada em relação aos valores desta mesma bacia em condições naturais.

As causas dessas mudanças significativas, segundo Tucci et al (2012), estão relacionadas a problemas que envolvem o uso e ocupação do solo, tais como: a impermeabilização, redes de drenagem, acúmulo de resíduos sólidos, redes de esgoto deficientes, desmatamento, desenvolvimento indisciplinado e ocupação de áreas de várzea. Os quais acarretam em maiores picos de vazões, degradação da qualidade da água, entupimento dos bueiros e galerias, erosão, assoreamento, inundações e maiores custos dos serviços de utilidade pública.

Especificamente em relação ao saneamento, no Brasil, a Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento. No Art. 3º, Inciso I, define o saneamento básico como sendo: a) abastecimento de água potável; b) esgotamento sanitário; c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e d) drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Drenagem urbana pode ser entendida como o conjunto de medidas que tenham como objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, dessa forma, diminuindo os prejuízos causados por inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (TUCCI et al, 2012).

O dimensionamento das obras de drenagem se faz a partir da vazão de projeto. Uma vazão de projeto muito baixa reduz os custos das obras, mas aumenta o risco da mesma não ser suficiente para funcionar bem. Por outro lado, uma vazão de projeto elevada aumenta a segurança do bom funcionamento da obra, contudo aumentam significativamente os custos. A definição dessa vazão é fundamental para encontrar o equilíbrio entre custo x segurança de bom funcionamento.

Na área urbana, em geral, a vazão de projeto é definida com o emprego do método racional, que admite bacias de contribuição de até 2km². Com alguns ajustes o método racional também pode ser empregado para bacias maiores que 2 km². Para determinar a vazão de projeto pelo método racional o engenheiro deve levantar em planta e/ou em campo as características físicas da bacia de contribuição e, assim, determinar a área de contribuição, o coeficiente de escoamento superficial, também denominado de coeficiente de deflúvio (chamado também na literatura técnica de “run off”), e o tempo de concentração.

Definida a área de contribuição, o coeficiente de escoamento superficial e o tempo de concentração, será necessário conhecer (ou determinar se não forem conhecidas) as curvas IDF, curvas intensidade duração frequência, as quais consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que preveem a intensidade precipitada por meio da duração e a distribuição temporal, que são utilizadas para determinar a chuva de projeto.

A definição da chuva de projeto envolve um processo de cálculos complexos, e se faz com base em séries históricas de precipitações máximas anuais, as quais são medidas em pluviógrafos. Nas cidades do interior do Amazonas esses dados são praticamente inexistentes. Isso tudo faz com os projetistas estimem grosseiramente as vazões de projeto para as obras de drenagem, muitas vezes resultando em obras inadequadas para suportar as vazões provocadas pelas chuvas, outras vezes em obras com custos extremamente elevados.

Com base na problemática descrita, o presente estudo teve por objetivo elaborar e formular tabelas, gráficos e equações sendo de fácil aplicação e que determinem a relação vazão/área (Q/A), a qual é denominada no presente trabalho de vazão específica para projetos de drenagem urbana, sendo função do tempo de concentração da bacia e dos diferentes valores do escoamento superficial e do tempo de retorno, para os municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, localizados na Região Metropolitana de Manaus. E, dessa forma, determinar as vazões de projeto para obras de drenagem pluvial urbana para os municípios estudados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Construção das séries de máximas anuais

Para a construção das séries de máximas anuais, foram identificadas as estações presentes em cada município através do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) por meio do sítio do HidroWeb, disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Com as estações identificadas, foram levantadas as alturas das precipitações máximas anuais de um dia (dados de pluviômetro) e construída a série anual de observações pluviométricas máximas (série parcial).

Análise estatística

As séries de precipitações máximas anuais foram ordenadas de forma decrescente. As probabilidades empíricas foram calculadas para cada altura pluviométrica em função do período de retorno atribuído a cada altura (eqs. 1 e 2), os quais são calculados por meio das equações a seguir.

$$T_R = N / n$$

equação (1)

$$P = 1 / T_R$$

equação (2)

Onde, N corresponde a quantidade total de dados da série, n a ordem correspondente de cada altura na mesma e P a probabilidade empírica. Para o último elemento da série o tempo de retorno deve ser calculado pela seguinte equação (eq. 3), visto que a probabilidade em eventos hidrológicos nunca chega a 100% de ocorrência.

$$T_R = (N - 1) / n$$

equação (3)

Foi utilizada duas metodologias de inferência estatística para determinar qual distribuição de probabilidade que o evento hidrológico em cada município se ajusta melhor. Utilizou-se, inicialmente, o teste de Kolmogorov Smirnov (KS) com o nível de significância (α) igual a 5% para determinar se a série se ajustava as distribuições Normal (Gauss), Log-Normal e Gumbel. O teste consiste na avaliação da amplitude em módulo entre as probabilidades empíricas (P_{emp}) e a probabilidades calculadas (P_{calc}) em função da distribuição adotada. O critério de aceitação da hipótese está relacionado com o enquadramento da amplitude ao limite máximo de diferença entre as probabilidades, o qual varia de acordo com o nível de significância (α) adotado. Para o caso de $\alpha = 5\%$, a amplitude máxima corresponde a:

$$\max |P_{calc} - P_{emp}| \leq \frac{1,3581}{\sqrt{n}} \quad \text{equação 4}$$

Contudo, o teste KS não quantifica o ajuste, dessa forma, pode-se ter situações em que a série ajusta-se a duas distribuições ou a todas. Portanto, há a necessidade de verificar qual das distribuições avaliadas pelo KS que se ajusta melhor. Dessa forma, foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2), o qual é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como a regressão linear. O R^2 varia de 0 a 1 e quanto mais alto o seu valor significa que a variável dependente (probabilidade em função da distribuição) ajusta-se melhor a variável independente (probabilidade empírica). A determinação do R^2 foi obtida com auxílio do software Microsoft Excel por meio da regressão linear, construindo um gráfico onde nas abscissas foram plotadas as variáveis independentes e nas ordinárias as variáveis dependentes.

Determinação das alturas máximas prováveis

Definido o modelo probabilístico ao qual a série de precipitações máximas anuais ajusta-se melhor, determina-se as alturas máximas prováveis para 1 dia, aplicando tempos de retorno (T_R) de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Como as séries de máximas anuais são obtidas com dados de pluviômetros, há a necessidade de utilizar as razões constantes entre precipitações máximas anuais de um dia (dados de pluviômetro) e precipitações de 24 horas e outras durações (dados de pluviógrafos), mostradas na tabela 2, dessa forma estimando as alturas máximas prováveis (h) para as durações (t) de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e ainda para 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas.

Tabela2: Relações entre durações

Relação	Brasil
5 min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1h	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24h	0,85
24h/1dia	1,14

Adaptado de CETESB (apud TUCCI et al, 2012)

Determinação das intensidades máximas prováveis

Com as alturas máximas prováveis (h) para as durações (t) de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas, foram calculadas as intensidades máximas prováveis (i), para as mesmas durações (t) de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas, dadas por:

$$i_{\text{máxima provável}} = \frac{h_{\text{máxima}}}{t} \quad \text{equação 5}$$

Onde, a intensidade máxima provável é dada em mm/min, a altura máxima provável em mm e a duração em min.

Estimação dos parâmetros da curva IDF

Para o cálculo dos parâmetros K, m, to e n foi utilizado a ferramenta Solver do software Microsoft Excell, com a finalidade obter o menor desvio máximo possível entre os valores da intensidade máxima provável e a intensidade máxima calcula através da eq.(1.57), sendo empregado os seguintes parâmetros:

Tempo Máximo = 100 segundos
 Interação = 100
 Precisão = 0,000001
 Tolerância = 5%
 Convergência = 0,0001

Com os resultados obtidos, foram formuladas as curvas IDF para a região urbana de cada município da área do estudo.

Tabelamento das vazões específicas, determinação das equações da vazão específica e determinação da vazão de projeto

Com os parâmetros das curvas IDF determinados pode-se calcular as intensidades das chuvas intensas para diferentes tempos de retorno e dessa forma aplicar o método racional para a obtenção de vazões de projeto para bacias pequenas e onde há predominância de chuvas convectivas. O método racional demonstrado na eq. (6), pode ser representado na seguinte expressão:

$$\frac{Q}{A} = 16,67Ci \quad \text{equação 6}$$

Onde, a razão Q/A corresponde a vazão específica para micro e macrodrenagem dada em $m^3/(s.km^2)$, C corresponde ao escoamento superficial e i a intensidade da chuva em mm/min .

Como no método racional a duração da chuva é igual ao tempo de concentração, os dados foram tabelados relacionando os diversos valores do escoamento superficial presentes na tabela 1.8 e o tempo de concentração em minutos para obter as vazões específicas para tempos de retorno igual a 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Como consequência do tabelamento das vazões específicas, foram elaborados gráficos, os quais são constituídos por curvas que relacionam o tempo de concentração (abscissas) e a vazão específica (ordenada) para os diferentes tempos de retorno e escoamentos superficiais. A partir das curvas da vazão específica, foram desenvolvidas as equações da vazão específica utilizando o software Microsoft Excel a fim de possibilitar extrapolação de valores.

Para os tempos de retorno menor ou igual a 10 anos, a razão entre $CT/C10$ foi adotada como sendo igual a 1, dessa forma, os valores atribuídos para o escoamento superficial nas tabelas e gráficos são os mesmos que estão presentes na literatura técnica. Contudo, para os tempos de retorno maior que 10 anos os valores presentes nas tabelas e gráficos já estão corrigidos, de acordo com os parâmetros presentes na tabela 3.

Tabela 3: Relação $CT/C10$

Período de Retorno	Relação $CT/C10$
2	0,86
5	0,94
10	1,00
20	1,08
25	1,10
50	1,18
100	1,27

Fonte: Tomaz (2011)

A vazão de projeto é determinada ao se multiplicar a vazão específica obtida pelo tabelamento, ou pela equação de vazão específica, pela área de contribuição da bacia.

RESULTADOS

Banco de dados pluviométricos

Para o caso dos municípios de Manacapuru e Novo Airão, as séries parciais foram obtidas das estações que se encontram na região urbana (Tabela 4). Para o município de Iranduba, a estação pluviométrica que se encontra em ambiente urbano não está em operação e não apresenta nenhum dado disponível, contudo foi identificado duas estações que estão localizadas a uma distância de 3 km de distância uma da outra e possuem dados que se completam, dessa forma, os mesmos foram unidos e trabalhados como se fossem uma única série.

Tabela 4: Dados das estações pluviométricas

Município	Estação	Localização		Período da Séries	Operador
		Latitude	Longitude		
Iranduba	260005/ 260008	2° 54' 29,88" S	60° 40' 21" W	1983 a 2013	ANA/ CPRM
		2° 53' 47,04" S	60° 41' 17,88" W		
Manacapuru	360001	3° 18' 29,88" S	60° 36' 33,84" W	1973 a 2013	CPRM
Novo Airão	260006	2° 37' 12" S	60° 56' 52,08" W	1982 a 2013	CPRM

Séries de alturas máximas anuais

O município de Iranduba possui uma série de 30 dados, Manacapuru possui uma série de 38 dados e Novo Airão possui uma série de 32 dados. As séries parciais das alturas de precipitação máximas anuais foram organizadas na tabela 5 abaixo.

Tabela 5: Alturas de Precipitação de Máximas Anuais (mm)

Tabela 5: Alvaras de Recuperação de Manilhas (mm)		
Manacapuru	Novo Airão	Iranduba
Estação: 360001	Estação: 260006	Estação: 260005/ 260008
Período: 1973 a 2013	Período: 1982 a 2013	Período: 1983 a 2013
228,70	145,1999969	218,1999969
176,00	142,8999939	193,3000031
164,00	132,5	131,8000031
153,20	126,9000015	124
150,60	120,1999969	114
142,80	116,6999969	113,1999969
140,10	112,8000031	104,0999985
136,80	109,0999985	103
127,30	109	97,59999847
126,20	100,9000015	96,80000305
126,00	100	96,40000153
125,20	97	92,40000153
125,00	93,80000305	91,40000153
112,00	93,19999695	90,80000305
110,70	91,80000305	90
107,30	90,40000153	87,80000305
107,00	87,40000153	83
105,90	85,59999847	78,80000305
105,40	84,90000153	77
95,20	82,69999695	76,19999695
95,00	81,90000153	73,30000305
94,80	81,5	70
94,00	80,09999847	67,59999847
93,00	78,5	66,80000305
93,00	75,40000153	66,19999695
92,00	73	64,90000153
90,00	71,30000305	58,59999847
90,00	70,09999847	52,70000076
88,00	68,59999847	41,09999847
88,00	57,40000153	38,20000076
86,70	52,29999924	
83,60	48,79999924	
75,60		
72,40		
68,80		
64,20		
62,00		
57,00		

Análise estatística

- Resultado do teste de Kolmogorov Smirnov (KS)

Considerando a série de Alturas Máximas Anuais que constam da tabela 4 acima, para cada altura de precipitação foi atribuída um períodos de retorno (TR) e as probabilidades de recorrência (P). Com isso se foi aplicado o teste de Kolmogorov Smirnov (KS).

O teste Kolmogorov Smirnov consistiu na verificação se uma distribuição de probabilidade ajustava-se ou não à variável hidrológica (altura de precipitação máxima), o qual foi aplicado para verificar se a distribuição Normal, Log-Normal e Gumbel ajustavam-se às séries estudadas. Ao analisar os parâmetros e os resultados obtidos, observou-se que, para os municípios de Iranduba e Novo Airão, a única distribuição que se ajusta é a distribuição Normal, contudo para o município de Manacapuru verifica-se que as três distribuições ajustam-se perfeitamente. Portanto há a necessidade de verificar qual das distribuições apresenta o melhor ajuste.

- Determinação do coeficiente de determinação (R^2)

Ao analisar os resultados, percebeu-se que todas as distribuições tiveram valores de R^2 maior que 0,95, ou seja, todos as probabilidades em função de distribuição probabilística tiveram mais que 95% de ajustamento com as probabilidades observadas, portanto um ajuste muito satisfatório. Para o caso de Manacapuru, como as três distribuições analisadas se ajustavam à série estudada, e todas obtiveram valores de R^2 próximos a 1, utilizou-se a distribuição que obteve o melhor ajuste que nesse caso foi a distribuição de Gumbel.

- Alturas máximas anuais prováveis e intensidades máximas prováveis

Uma vez admitido o ajuste das três séries à distribuição Normal (Iranduba e Novo Airão) e à distribuição de Gumbel (Manacapuru), foi então calculada a altura máxima provável para 1 dia, em mm, para os mesmos períodos de retorno propostos na metodologia. As alturas máximas prováveis foram convertidas em intensidades máximas prováveis, com os mesmos períodos de retorno e mesmas durações. As intensidades máximas prováveis foram obtidas em mm/min.

Determinação das Curvas IDF

- Parâmetros da Curvas IDF

A partir dos valores estimados para as intensidades máximas prováveis para cada caso estudado, com o emprego da ferramenta Solver do software Microsoft Excel, foram estimados os parâmetros K, m, n e to. A tabela 6 apresenta esse resultado.

Tabela 6: Parâmetros das Curvas IDF

Municípios	Parâmetros			
	K	m	n	to
Iranduba	16,0015	0,1481	9,7871	0,7243
Manacapuru	16,8721	0,1750	9,7849	0,7243
Novo Airão	15,6234	0,1091	9,7795	0,7241

- Formulações das Equações- Curvas IDF

Com os parâmetros das curvas IDF verificados, as formulações das equações das Curvas IDF são apresentadas na tabela 7 tanto na forma convencional, quanto na forma logarítmica, onde a intensidade (i) é dada em mm/min, a duração (t) em minutos e o tempo de retornos em anos.

Tabela 7: Equações das Curvas IDF

Municípios	Equações das Curvas IDF	
Iranduba	$i = \frac{16,0015(T_R)^{0,1481}}{(t + 9,7871)^{0,7243}}$	$\log i = 1,2042 + 0,1481 \log(T_R) - 0,7243 \log(t + 9,7871)$
Manacapuru	$i = \frac{16,8721(T_R)^{0,1750}}{(t + 9,7849)^{0,7243}}$	$\log i = 1,2272 + 0,1750 \log(T_R) - 0,7243 \log(t + 9,7849)$
Novo Airão	$i = \frac{15,6234(T_R)^{0,1091}}{(t + 9,779)^{0,7241}}$	$\log i = 1,1938 + 0,1091 \log(T_R) - 0,7241 \log(t + 9,7795)$

- Tabelamento das vazões específicas

As vazões específicas estão organizadas em tabelas em função da intensidade da chuva e do escoamento superficial corrigidos para diferentes tempos de retorno de acordo com a metodologia. Foram obtidas as tabelas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, para os municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão. Como exemplo segue abaixo as tabelas 8, 9 e 10, referentes ao período de retorno de 10 anos, para os municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão respectivamente.

Tabela 8: Vazão específica (m³/s.km²) para TR=10 anos para o município de Iranduba

Tempo de Concentração (min)	TR = 10 anos							
	Coeficiente Superficial (C) corrigido							
	0,05	0,1	0,2	0,25	0,5	0,6	0,7	0,95
5	5,847	11,694	23,388	29,236	58,471	70,165	81,860	111,095
10	3,539	7,078	14,157	17,696	35,392	42,470	49,549	67,245
15	2,639	5,277	10,554	13,193	26,385	31,662	36,939	50,132
30	1,597	3,194	6,388	7,985	15,971	19,165	22,359	30,344
60	0,967	1,933	3,867	4,833	9,667	11,600	13,534	18,367
90	0,721	1,441	2,883	3,603	7,207	8,648	10,090	13,693
120	0,585	1,170	2,341	2,926	5,851	7,022	8,192	11,117
150	0,498	0,996	1,991	2,489	4,978	5,974	6,969	9,458
180	0,436	0,872	1,745	2,181	4,362	5,235	6,107	8,288
210	0,390	0,780	1,561	1,951	3,901	4,682	5,462	7,413
240	0,354	0,708	1,417	1,771	3,542	4,250	4,958	6,729
270	0,325	0,650	1,301	1,626	3,252	3,902	4,553	6,179
300	0,301	0,603	1,205	1,507	3,013	3,616	4,218	5,725
330	0,281	0,562	1,125	1,406	2,812	3,375	3,937	5,343
360	0,264	0,528	1,056	1,320	2,640	3,168	3,697	5,017
390	0,249	0,498	0,997	1,246	2,492	2,990	3,488	4,734
420	0,236	0,472	0,945	1,181	2,361	2,834	3,306	4,487
450	0,225	0,449	0,899	1,123	2,246	2,696	3,145	4,268
480	0,214	0,429	0,857	1,072	2,144	2,572	3,001	4,073
510	0,205	0,410	0,821	1,026	2,052	2,462	2,872	3,898
540	0,197	0,394	0,787	0,984	1,968	2,362	2,756	3,740

Continua

Tabela: 8: Vazão específica ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$) para TR=10 anos para o município de Iranduba

Continuação

Tempo de Concentração (min)	TR = 10 anos							
	Coeficiente Superficial (C) corrigido							
	0,05	0,1	0,2	0,25	0,5	0,6	0,7	0,95
570	0,189	0,379	0,757	0,946	1,893	2,271	2,650	3,596
600	0,182	0,365	0,730	0,912	1,824	2,189	2,553	3,465
630	0,176	0,352	0,704	0,880	1,760	2,113	2,465	3,345
660	0,170	0,340	0,681	0,851	1,702	2,043	2,383	3,234
690	0,165	0,330	0,659	0,824	1,648	1,978	2,308	3,132
720	0,160	0,320	0,639	0,799	1,598	1,918	2,237	3,037
750	0,155	0,310	0,621	0,776	1,552	1,862	2,172	2,948
780	0,151	0,302	0,603	0,754	1,508	1,810	2,111	2,866
810	0,147	0,294	0,587	0,734	1,468	1,761	2,055	2,788
840	0,143	0,286	0,572	0,715	1,429	1,715	2,001	2,716
870	0,139	0,279	0,557	0,697	1,393	1,672	1,951	2,648
900	0,136	0,272	0,544	0,680	1,360	1,632	1,904	2,583
930	0,133	0,266	0,531	0,664	1,328	1,593	1,859	2,523
960	0,130	0,260	0,519	0,649	1,298	1,557	1,817	2,465
990	0,127	0,254	0,508	0,634	1,269	1,523	1,777	2,411
1020	0,124	0,248	0,497	0,621	1,242	1,490	1,739	2,360
1050	0,122	0,243	0,486	0,608	1,216	1,459	1,702	2,310
1080	0,119	0,238	0,477	0,596	1,191	1,430	1,668	2,264
1110	0,117	0,234	0,467	0,584	1,168	1,402	1,635	2,219
1140	0,115	0,229	0,458	0,573	1,146	1,375	1,604	2,177
1170	0,112	0,225	0,450	0,562	1,124	1,349	1,574	2,136
1200	0,110	0,221	0,442	0,552	1,104	1,325	1,546	2,097
1230	0,108	0,217	0,434	0,542	1,084	1,301	1,518	2,060
1260	0,107	0,213	0,426	0,533	1,066	1,279	1,492	2,025
1290	0,105	0,210	0,419	0,524	1,048	1,257	1,467	1,990
1320	0,103	0,206	0,412	0,515	1,030	1,236	1,442	1,958
1350	0,101	0,203	0,405	0,507	1,014	1,216	1,419	1,926
1380	0,100	0,200	0,399	0,499	0,998	1,197	1,397	1,896
1410	0,098	0,196	0,393	0,491	0,982	1,179	1,375	1,866
1440	0,097	0,193	0,387	0,484	0,967	1,161	1,354	1,838
1470	0,095	0,191	0,381	0,477	0,953	1,144	1,334	1,811
1500	0,094	0,188	0,376	0,470	0,939	1,127	1,315	1,784

Tabela 9: Vazão específica ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$) para TR=10 anos para o município de Manacapuru

Tempo de Concentração (min)	TR = 10 anos							
	Coeficiente Superficial (C) corrigido							
	0,05	0,1	0,2	0,25	0,5	0,6	0,7	0,95
5	2,991	5,982	11,965	14,956	29,912	35,894	41,877	56,833
10	2,422	4,844	9,689	12,111	24,222	29,067	33,911	46,022
15	2,058	4,115	8,230	10,288	20,575	24,690	28,805	39,093
30	1,460	2,921	5,842	7,302	14,604	17,525	20,446	27,748
60	0,972	1,944	3,889	4,861	9,721	11,666	13,610	18,471
90	0,750	1,501	3,001	3,752	7,503	9,004	10,505	14,256
120	0,620	1,241	2,481	3,101	6,203	7,443	8,684	11,785
150	0,534	1,067	2,134	2,668	5,335	6,402	7,469	10,137
180	0,471	0,942	1,884	2,355	4,710	5,652	6,594	8,949
210	0,424	0,847	1,694	2,118	4,235	5,082	5,929	8,047
240	0,386	0,772	1,544	1,930	3,860	4,632	5,405	7,335
270	0,356	0,711	1,422	1,778	3,556	4,267	4,978	6,756
300	0,330	0,661	1,321	1,652	3,303	3,964	4,624	6,276
330	0,309	0,618	1,236	1,545	3,089	3,707	4,325	5,869
360	0,291	0,581	1,162	1,453	2,906	3,487	4,068	5,521
390	0,275	0,549	1,098	1,373	2,746	3,295	3,844	5,217
420	0,261	0,521	1,042	1,303	2,606	3,127	3,648	4,951
450	0,248	0,496	0,993	1,241	2,481	2,978	3,474	4,715
480	0,237	0,474	0,948	1,185	2,370	2,845	3,319	4,504
510	0,227	0,454	0,908	1,135	2,271	2,725	3,179	4,314
540	0,218	0,436	0,872	1,090	2,180	2,616	3,052	4,142
570	0,210	0,420	0,839	1,049	2,098	2,517	2,937	3,986
600	0,202	0,405	0,809	1,011	2,023	2,427	2,832	3,843
630	0,195	0,391	0,781	0,977	1,953	2,344	2,735	3,711
660	0,189	0,378	0,756	0,945	1,890	2,268	2,645	3,590
690	0,183	0,366	0,732	0,915	1,831	2,197	2,563	3,478
720	0,178	0,355	0,710	0,888	1,776	2,131	2,486	3,374
750	0,172	0,345	0,690	0,862	1,725	2,070	2,415	3,277
780	0,168	0,335	0,671	0,839	1,677	2,012	2,348	3,186
810	0,163	0,326	0,653	0,816	1,632	1,959	2,285	3,101
840	0,159	0,318	0,636	0,795	1,590	1,908	2,227	3,022
870	0,155	0,310	0,620	0,775	1,551	1,861	2,171	2,947
900	0,151	0,303	0,605	0,757	1,514	1,816	2,119	2,876
930	0,148	0,296	0,591	0,739	1,479	1,774	2,070	2,809
960	0,145	0,289	0,578	0,723	1,445	1,734	2,023	2,746
990	0,141	0,283	0,566	0,707	1,414	1,697	1,979	2,686
1020	0,138	0,277	0,554	0,692	1,384	1,661	1,937	2,629

Continua

Tabela: 9 Vazão específica ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$) para TR=10 anos para o município de Manacapuru

Continuação

Tempo de Concentração (min)	TR = 10 anos							
	Coeficiente Superficial (C) corrigido							
	0,05	0,1	0,2	0,25	0,5	0,6	0,7	0,95
1050	0,136	0,271	0,542	0,678	1,355	1,626	1,897	2,575
1080	0,133	0,266	0,531	0,664	1,328	1,594	1,859	2,524
1110	0,130	0,260	0,521	0,651	1,302	1,563	1,823	2,474
1140	0,128	0,256	0,511	0,639	1,278	1,533	1,789	2,428
1170	0,125	0,251	0,502	0,627	1,254	1,505	1,756	2,383
1200	0,123	0,246	0,493	0,616	1,231	1,478	1,724	2,340
1230	0,121	0,242	0,484	0,605	1,210	1,452	1,694	2,299
1260	0,119	0,238	0,476	0,595	1,189	1,427	1,665	2,259
1290	0,117	0,234	0,468	0,585	1,169	1,403	1,637	2,221
1320	0,115	0,230	0,460	0,575	1,150	1,380	1,610	2,185
1350	0,113	0,226	0,453	0,566	1,131	1,358	1,584	2,150
1380	0,111	0,223	0,445	0,557	1,114	1,336	1,559	2,116
1410	0,110	0,219	0,439	0,548	1,097	1,316	1,535	2,084
1440	0,108	0,216	0,432	0,540	1,080	1,296	1,512	2,052
1470	0,106	0,213	0,426	0,532	1,064	1,277	1,490	2,022
1500	0,105	0,210	0,420	0,524	1,049	1,259	1,468	1,993

Tabela 10 Vazão específica ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$) para TR=10 anos para o município de Novo Airão

Tempo de Concentração (min)	TR = 10 anos							
	Coeficiente Superficial (C) corrigido							
	0,05	0,1	0,2	0,25	0,5	0,6	0,7	0,95
5	2,381	4,762	9,524	11,905	23,810	28,573	33,335	45,240
10	1,928	3,856	7,712	9,640	19,281	23,137	26,993	36,633
15	1,638	3,276	6,551	8,189	16,378	19,653	22,929	31,117
30	1,162	2,325	4,650	5,812	11,625	13,950	16,275	22,087
60	0,774	1,548	3,095	3,869	7,738	9,286	10,834	14,703
90	0,597	1,195	2,389	2,986	5,973	7,167	8,362	11,348
120	0,494	0,988	1,975	2,469	4,938	5,925	6,913	9,381
150	0,425	0,849	1,699	2,124	4,247	5,097	5,946	8,070
180	0,375	0,750	1,500	1,875	3,750	4,500	5,250	7,124
210	0,337	0,674	1,349	1,686	3,372	4,046	4,720	6,406
240	0,307	0,615	1,229	1,537	3,073	3,688	4,303	5,839

Continua

Tabela: 10: Vazão específica ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$) para TR=10 anos para o município de Novo Airão

Continuação

Tempo de Concentração (min)	TR = 10 anos							
	Coeficiente Superficial (C) corrigido							
	0,05	0,1	0,2	0,25	0,5	0,6	0,7	0,95
270	0,283	0,566	1,132	1,415	2,831	3,397	3,963	5,379
300	0,263	0,526	1,052	1,315	2,630	3,156	3,682	4,996
330	0,246	0,492	0,984	1,230	2,459	2,951	3,443	4,673
360	0,231	0,463	0,925	1,157	2,313	2,776	3,239	4,395
390	0,219	0,437	0,874	1,093	2,186	2,623	3,061	4,154
420	0,207	0,415	0,830	1,037	2,075	2,490	2,904	3,942
450	0,198	0,395	0,790	0,988	1,976	2,371	2,766	3,754
480	0,189	0,377	0,755	0,944	1,887	2,265	2,642	3,586
510	0,181	0,362	0,723	0,904	1,808	2,169	2,531	3,435
540	0,174	0,347	0,694	0,868	1,736	2,083	2,430	3,298
570	0,167	0,334	0,668	0,835	1,670	2,004	2,338	3,173
600	0,161	0,322	0,644	0,805	1,610	1,932	2,254	3,060
630	0,156	0,311	0,622	0,778	1,555	1,866	2,177	2,955
660	0,150	0,301	0,602	0,752	1,505	1,805	2,106	2,859
690	0,146	0,292	0,583	0,729	1,458	1,749	2,041	2,769
720	0,141	0,283	0,566	0,707	1,414	1,697	1,979	2,686
750	0,137	0,275	0,549	0,687	1,373	1,648	1,923	2,609
780	0,134	0,267	0,534	0,668	1,335	1,602	1,869	2,537
810	0,130	0,260	0,520	0,650	1,300	1,560	1,820	2,469
840	0,127	0,253	0,507	0,633	1,266	1,520	1,773	2,406
870	0,123	0,247	0,494	0,617	1,235	1,482	1,729	2,346
900	0,121	0,241	0,482	0,603	1,205	1,446	1,687	2,290
930	0,118	0,235	0,471	0,589	1,177	1,413	1,648	2,237
960	0,115	0,230	0,460	0,575	1,151	1,381	1,611	2,187
990	0,113	0,225	0,450	0,563	1,126	1,351	1,576	2,139
1020	0,110	0,220	0,441	0,551	1,102	1,322	1,543	2,094
1050	0,108	0,216	0,432	0,540	1,079	1,295	1,511	2,050
1080	0,106	0,212	0,423	0,529	1,058	1,269	1,481	2,009
1110	0,104	0,207	0,415	0,518	1,037	1,244	1,452	1,970
1140	0,102	0,203	0,407	0,509	1,017	1,221	1,424	1,933
1170	0,100	0,200	0,399	0,499	0,999	1,198	1,398	1,897
1200	0,098	0,196	0,392	0,490	0,981	1,177	1,373	1,863
1230	0,096	0,193	0,385	0,482	0,963	1,156	1,349	1,830
1260	0,095	0,189	0,379	0,473	0,947	1,136	1,325	1,799
1290	0,093	0,186	0,372	0,465	0,931	1,117	1,303	1,769

Continua

Tabela: 10: Vazão específica ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$) para $\text{TR}=10$ anos para o município de Novo Airão

Continuação

Tempo de Concentração (min)	TR = 10 anos							
	Coeficiente Superficial (C) corrigido							
	0,05	0,1	0,2	0,25	0,5	0,6	0,7	0,95
1320	0,092	0,183	0,366	0,458	0,916	1,099	1,282	1,740
1350	0,090	0,180	0,360	0,450	0,901	1,081	1,261	1,712
1380	0,089	0,177	0,355	0,443	0,887	1,064	1,242	1,685
1410	0,087	0,175	0,349	0,437	0,873	1,048	1,223	1,659
1440	0,086	0,172	0,344	0,430	0,860	1,032	1,204	1,634
1470	0,085	0,169	0,339	0,424	0,847	1,017	1,186	1,610
1500	0,084	0,167	0,334	0,418	0,835	1,002	1,169	1,587

- Elaboração das curvas e equações da vazão específica

Como consequência do tabelamento das vazões específicas foi possível elaborar os gráficos que relacionam tempo de concentração (abscissas) e vazão específica (ordenada) para os tempos de retorno de acordo como é apresentado na metodologia. Cada gráfico resultou em 8 curvas, as quais estão associadas aos valores do escoamento superficial presentes nos tabelamentos e é representado na escala decimal nas abscissas e na escala logarítmica nas ordenadas.

Através das curvas geradas devido ao tabelamento, foram elaboradas as equações de correlacionamento entre o tempo de concentração e a vazão específica, as quais foram desenvolvidas através do uso da regressão potencial utilizando o software Microsoft Excel. Todas as equações obtiveram valores de coeficiente de determinação (R^2) satisfatórios. Por meio destas, há a possibilidade de se fazer extrapolação de valores e obter dados para qualquer valor de tempo de concentração e vazão específica. A seguir, como exemplos dos resultados, são apresentadas as curvas das vazões específicas para o tempo de retorno de 10 anos para os municípios de Iranduba (tabela 11), Manacapuru (tabela 12) e Novo Airão (Tabela 13).

Tabela 11: Equações da Vazão Específica para $\text{TR} = 10$ anos para o município de Iranduba

Coeficiente Superficial (C) corrigido	Equação	R^2
0,05	$Q/A = 18,759(t_c)^{-0,724}$	1
0,10	$Q/A = 37,518(t_c)^{-0,724}$	1
0,20	$Q/A = 75,036(t_c)^{-0,724}$	1
0,25	$Q/A = 93,795(t_c)^{-0,724}$	1
0,50	$Q/A = 187,590(t_c)^{-0,724}$	1
0,60	$Q/A = 225,110(t_c)^{-0,724}$	1
0,70	$Q/A = 262,300(t_c)^{-0,724}$	1
0,95	$Q/A = 356,420(t_c)^{-0,724}$	1

Tabela 12: Equações da Vazão Específica para TR = 10 anos para o município de Manacapuru

Coeficiente Superficial (C) corrigido	Equação	R ²
0,05	$Q/A = 11,746(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,10	$Q/A = 23,493(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,20	$Q/A = 46,985(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,25	$Q/A = 58,731(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,50	$Q/A = 117,460(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,60	$Q/A = 140,960(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,70	$Q/A = 164,450(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,95	$Q/A = 223,180(t_c)^{-0,637}$	0,9926

Tabela 13: Equações da Vazão Específica para TR = 10 anos para o município de Novo Airão

Coeficiente Superficial (C) corrigido	Equação	R ²
0,05	$Q/A = 9,3477(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,10	$Q/A = 18,695(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,20	$Q/A = 37,391(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,25	$Q/A = 46,739(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,50	$Q/A = 93,477(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,60	$Q/A = 112,170(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,70	$Q/A = 130,870(t_c)^{-0,637}$	0,9926
0,95	$Q/A = 177,610(t_c)^{-0,637}$	0,9926

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos alcançaram os objetivos esperados, os quais visam oferecer aos engenheiros projetistas de sistemas de drenagem urbana informações e ferramentas para a estimação da vazão de projeto para os municípios de Iranduba, Novo Airão e Manacapuru, a fim de evitar erros que possam potencializar custos elevados das obras de drenagem ou dimensionamento aquém do necessário para suportar as vazões provocadas pelas chuvas.

Com o crescimento populacional e adensamento dos aglomerados urbanos no interior da Amazônia, fica cada dia mais importante estudar e conhecer o comportamento provável das precipitações intensas dessa região, principalmente nas áreas construídas sem o devido planejamento, as quais estão sujeitas a constantes enchentes, e nas futuras atividades modificadoras do meio ambiente ou obras de engenharia como urbanização, serviços de saneamento e drenagem urbana.

Ao empregar as equações das curvas IDF é necessário considerar a influência dos desvios causados pelas transformações dos valores medidos em um dia (dados de pluviômetro) para valores estimados com a duração

de 24 horas e depois para outras durações. Entretanto, mesmo sendo uma aproximação para determinação das alturas de precipitações intensas, isso não impede a sua utilização, visto que é a melhor ferramenta que se tem à disposição.

As vazões específicas estimadas pelas tabelas e pelas equações desenvolvidas tendem a gerar resultados semelhantes quanto maior for o tempo de concentração, contudo ao analisar tempos de concentração menores percebe-se que as equações tendem a valores maiores sendo mais favoráveis à segurança do sistema.

Como a metodologia foi desenvolvida utilizando o Método Racional, o seu emprego está sujeito a condições e a recomendações aplicadas ao método, pressupondo-se que toda a bacia contribui para o escoamento superficial, a precipitação ocorre de maneira distribuída por toda a bacia e todas as perdas estão associadas ao escoamento superficial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BRASIL. Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm> Acesso em 03 ago. 2014.
- 2 DOMINGOS, Thiago Augusto. Metrópole e Região Metropolitana: reflexões sobre a Região Metropolitana de Londrina. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento), Departamento de Geociências do Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010. p. 06. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp139067.pdf>> Acesso em: 07 ago. 2014.
- 3 HIDROWEB: Sistema de Informação Hidrológica. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em: 29 out. 2014.
- 4 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Tendências demográficas: uma análise da população com base nos resultados dos Censos Demográficos 1940 e 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/tendencia_demografica/analise_populacao/1940_2000/comentarios.pdf> Acesso em: 16 dez. 2014.
- 5 INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras. Brasília: IPEA, FJP e PNUD, 2014. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/141125_atlas_manaus> Acesso em: 16 dez. 2014.
- 6 LIMA, Marcos Castro. Amazônia Ocidental e Geográfica: Região Metropolitana de Manaus e BR 319 – Território e Meio Ambiente. GEONORTE, Manaus, vol. 01, n. 01, p. 47-70, 2010. Disponível em: <http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/007_Amazonia%20Ocidental%20e%20Geografia%20MC.pdf> Acesso em: 07 ago. 2014.
- 7 ROMANELLI, Carla; ABIKO, Alex Kenya. Processo de Metropolização no Brasil. Texto Técnico, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00028.pdf> Acesso em: 07 ago. 2014.
- 8 TUCCI, Carlos E. M (Org.); SILVEIRA, André Luis da. et al. Hidrologia: ciência e aplicação. 4.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2012.
- 9 TOMAZ, Plínio. Cálculo Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais. 2.ed. São Paulo: Navegar Editora, 2011.