

# **INFLUÊNCIA DA ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NO DIMENSIONAMENTO DE UM RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO**

## **LA INFLUENCIA DE LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN EL DIMENSIÓN DE UN DEPÓSITO DE DETENCIÓN**

### **THE INFLUENCE OF THE ESTIMATE TIME OF CONCENTRATION ON THE SIZING OF A DETENTION RESERVOIR**

**Lucas Amaral Rocha\***

lucasamaralrocha@gmail.com

**Aleska Kaufmann Almeida\***

aleska.kaufmann@gmail.com

**Leidiane da Silva Marques\***

leidiane\_marques2015@hotmail.com

**Isabel Kaufmann de Almeida\***

isabel.almeida@ufms.br

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande/MS - Brasil

---

#### **Resumo**

Os problemas de drenagem recorrentes no Brasil levam o poder público e a sociedade em geral a se preocupar cada vez mais com o tema. As enchentes causam muitos prejuízos materiais e imateriais. Para o dimensionamento de obras hidráulicas de mitigação de enchentes faz-se determinação dos volumes escoados, para a qual aplicam-se métodos empíricos ou não empíricos. No presente trabalho buscou-se determinar a influência da determinação do tempo de concentração, parâmetro fundamental na estimativa de cheias, no cálculo e dimensionamento de uma bacia de detenção. Para isso, utilizando o método racional, comparou-se a estimativa do tempo de concentração no dimensionamento de uma bacia utilizando os métodos de Kirpich e Carter. Para realização da comparação entre os métodos foram utilizados os seguintes parâmetros que influenciaram no montante final da obra: o volume de escavação, o transporte de solo, a urbanização, a raspagem superficial e a rede de drenagem necessária na entrada e na saída do reservatório. Apesar de uma significativa diferença no tempo de concentração, o custo final estimado levando em consideração o método de Kirpich foi 12,36% maior que o custo final estimado levando em consideração o método de Carter.

**PALAVRAS CHAVE:** Drenagem; Urbanização; Dimensionamento; Obras Hidráulicas; Método Racional.

## **Resumen**

Los problemas recurrentes de drenaje en Brasil hacen que el gobierno y la sociedad en general se preocupen cada vez más por este tema. Las inundaciones causan muchos daños materiales e inmateriales. Para el dimensionamiento de obras hidráulicas que pueden mitigar inundaciones, se aplican métodos empíricos o no empíricos en la determinación de los volúmenes drenados. En el presente trabajo se buscó determinar la influencia de la determinación del tiempo de concentración, parámetro fundamental en la estimación de crecidas, en el cálculo y dimensionamiento de una cuenca de detención. Para ello, utilizando el método racional, se comparó la estimación del tiempo de concentración en el dimensionamiento de una cuenca utilizando los métodos de Kirpich y Carter. Para realizar la comparativa entre los métodos, se utilizaron los siguientes parámetros que influyeron en el monto final de la obra: el volumen de excavación, el transporte de suelo, la urbanización, el raspado superficial y la red de drenaje necesaria en la entrada y salida del embalse. A pesar de una diferencia significativa en el tiempo de concentración, el costo final estimado considerando el método de Kirpich fue un 12,36% mayor que el costo final estimado considerando el método de Carter.

**PALABRAS CLAVE:**Drenaje; Urbanización; Dimensionamiento; Obras Hidráulicas; Método Racional.

## **Abstract**

Recurrent drainage problems in Brazil lead the government and society in general to become increasingly concerned with this issue. Floods cause a lot of material and immaterial damage. For the dimensioning of hydraulic works that can mitigate floods, empirical or non-empirical methods are applied in determining the drained volumes. In the present work, we sought to determine the influence of determining the concentration time, a fundamental parameter in the estimation of floods, in the calculation and dimensioning of a detention basin. For this, using the rational method, the estimation of the time of concentration in the dimensioning of a basin was compared using the methods of Kirpich and Carter. To carry out the comparison between the methods, the following parameters were used that influenced the final amount of the work: the volume of excavation, the transport of soil, the urbanization, the superficial scraping and the necessary drainage network at the entrance and exit of the reservoir. Despite a significant difference in the concentration time, the estimated final cost taking into account the Kirpich method was 12.36% higher than the estimated final cost taking into account the Carter method.

**KEYWORDS:** Drainage; Urbanization; Dimensioning; Hydraulic Works; Rational Method.

---

## **1. Introdução**

A urbanização afeta significativamente a paisagem transformando áreas verdes em ambiente construído. (Locatelli et al., 2014). De acordo com Tucci (2003), no Brasil houve um grande desenvolvimento urbano de 1960 a 1990, quando sua população urbana aumentou de 55% para 76%. Esse desenvolvimento ocorreu principalmente nas grandes metrópoles, em suas periferias e vem causando um número significativo de inundações em virtude da falta de infraestrutura e capacidade do poder público

de fiscalização (Tucci, 2003).

Conforme Baptista e Nascimento (2002) uma série de limitações técnicas existentes prejudicam o sistema de drenagem das cidades: a primeira é o cadastramento ineficiente ou inexistente das estruturas de drenagem existentes nos municípios, o que acarreta em falta de políticas de recuperação e manutenção. A outra é o precário conhecimento a respeito dos processos hidrológicos e desempenho hidráulico do sistema existente, tendo como consequência uma má concepção de sistemas futuros, a proposição de soluções para os problemas existente e a última é a limitação quanto a recursos humanos destinados a área de drenagem urbana.

Existe uma série de soluções tradicionais de engenharia que podem ser aplicadas para prevenir inundações em áreas rurais e urbanas (Robinson et al., 2010). A partir de 1960, iniciaram questionamentos a respeito da forma como era concebida a drenagem urbana, sendo que até então de forma tradicional, por meio de obras destinadas a retirar rapidamente as águas acumuladas em áreas importantes e transferindo o problemas para áreas a jusante das obras. Essa forma se preocupa em controlar o escoamento nos canais de água, levando pouco em consideração a geração do escoamento nas superfícies urbanizadas (Pompêo, 2000).

Em volta da sustentabilidade da lida da drenagem urbana existe uma série de aspectos, desde técnicos até jurídicos. Novos problemas levam a reflexão sobre o modelo de financiamento e captação de recursos (Baptista e Nascimento, 2002). A sustentabilidade associada à drenagem urbana baseia-se no reconhecimento das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade, tendo o planejamento de utilização e gestão dos recursos hídricos integrado ao planejamento urbano (Pompêo, 2000).

As principais práticas de gestão dos recursos hídricos integrado ao planejamento urbano descritas por Ramos (2017) são: Mitigação dos acidentes que podem acarretar em incidentes poluidores; Redução de atividades poluentes; Redução de emissões de materiais poluidores; e Reservação e tratamento de água.

As medidas estruturais são aquelas que mudam o sistema estrutural e virtude de construções civis para manter ou melhorar o escoamento em certos pontos, enquanto que as não-estruturais incluem medidas de organização de áreas de enchentes associadas a planos diretores, seguros contra enchentes, leis nacionais e internacionais e prevenções de inundações, onde essas medidas criariam guias para reverter e mitigar os problemas associados as enchentes (Ramos et al, 2017). Ainda de acordo com Ramos et al. (2017), temos dentre as medidas estruturais as bacias de retenção ou controle de escoamento que são dispositivos essenciais na reservação de vazões quando a rede de drenagem não suporta novas vazões de picos decorrentes da urbanização. As obras que são frutos de projetos de drenagem têm custos vultuosos para a sociedade e por isso projetos com um refinamento maior nas informações utilizadas no dimensionamento tendem a gerar menor ônus aos cofres públicos.

Para que o projeto de uma obra de mitigação de cheias seja eficiente é necessária a realização de estudos preliminares. Um desses estudos são os hidrológicos que utilizam muitas vezes dados espaciais e de monitoramento de series de históricas de chuva-vazão. Quando não há disponibilidade de séries históricas de dados os projetistas utilizam métodos empíricos para determinação de parâmetros necessários à diferentes etapas de dimensionamento. As metodologias empíricas são desenvolvidas através de características de determinadas regiões. A estimativa de um mesmo parâmetro definidos através de diferentes metodologias pode conduzir a resultados divergentes quando aplicados em uma mesma bacia ou região. O principal parâmetro hidrológico utilizado para estimativa de cheias é o tempo de concentração.

O tempo de concentração é um parâmetro que apresenta diferentes definições na literatura. De Almeida et al. (2016) define o tempo de concentração como sendo o intervalo de tempo do fim da chuva ao final do escoamento superficial. Após uma sistemática revisão bibliográfica, De Almeida et al. (2014)

relacionou e comentou 30 metodologias empíricas aplicadas para estimativa do tempo de concentração em bacias hidrográficas. Dessa forma, em virtude deste vasto número de métodos utilizados mundialmente na determinação do tempo de concentração, nesse trabalho será verificado se essa diferença entre as fórmulas produz efeito significativo no dimensionamento de obras hidráulicas. Assim, o presente trabalho tem como objetivo o estudo da influência do parâmetro hidrológico tempo de concentração no dimensionamento de uma bacia de detenção.

## **2. Bases teóricas**

### **2.1. O processo de urbanização e a ocorrência de enchentes**

O processo de urbanização causa a impermeabilização do solo gerando a preocupação dos gestores quanto a condução das águas pluviais, visto que as mesmas, quando não são bem direcionadas, acabam causando problemas materiais e imateriais. A partir de 1940 foi iniciada no Brasil a determinação da localização do domicílio, classificando-os como localizado em área urbana ou rural. A partir de então foi possível verificar as taxas de urbanização nas cidades, vilas ou distritos. Na classificação foi estabelecido como domicílio urbano a edificação inserida no perímetro urbano legal e domicílio rural aquele que se encontrava na área externa do mesmo (IBGE, 2007). Na Figura 1 é possível verificar o crescimento da taxa de urbanização no Brasil ao longo das sete décadas.

Com o aumento acelerado da urbanização o sistema de saneamento das cidades ficou defasado, uma vez que não havia infraestrutura adequada para atender a nova demanda populacional. De acordo com Teixeira et al. (2011) dentre os indicadores associados à mortalidade infantil está a cobertura por sistemas de esgotamento sanitário. Ainda segundo os autores, a baixa cobertura de esgotamento sanitário no Brasil, situada à taxa de 47,5%, está relacionada com a mortalidade infantil no Brasil.

Outro sistema afetado pelo aumento da taxa de urbanização é o da drenagem. As enchentes decorrentes do processo de urbanização foram um dos impactos mais importantes sobre a população urbana registrados nas últimas décadas. A impermeabilização causada pelo aumento da densidade demográfica dificulta o processo de infiltração e percolação da água no solo. De acordo com Tucci et al. (1995), existem dois tipos de enchentes que ocorrem em áreas urbanas as enchentes em áreas ribeirinhas e enchentes devido à urbanização. De acordo com os autores as primeiras ocorrem em virtude da ocupação de áreas formadas pelos leitos dos rios, decorrente da falta de planejamento do uso do solo, e as segundas são provocadas principalmente pela impermeabilização. Tucci et al. (1995) afirma que o processo de urbanização é demonstrado em três estágios: Estágio 1- bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação a jusante, aparecendo, no leito natural, os locais de inundação devido a estrangulamentos naturais ao longo do seu curso; Estágio 2 - as primeiras canalizações são executadas a jusante com base na urbanização atual; com isso, o hidrograma a jusante aumenta, mas é ainda contido pelas áreas que inundam a montante e porque a bacia não está totalmente densificada e Estágio 3- com a maior densificação, a pressão pública, faz com que os administradores continuem o processo de canalização para montante. Quando a canalização não tem mais condições de ser ampliada as inundações se tornam recorrentes na região à jusante. Nessas condições observa-se a necessidade de realização de estudos e de planejamentos prévios para não haver simplesmente a transferência de problemas de um lugar ao outro. Quando as inundações à jusante são recorrentes e já não existem espaços laterais para ampliações dos canais a jusante muitas vezes as soluções possíveis, como aprofundamento dos canais, que possuem custos elevados ao poder público, reiterando a importância do planejamento urbano.

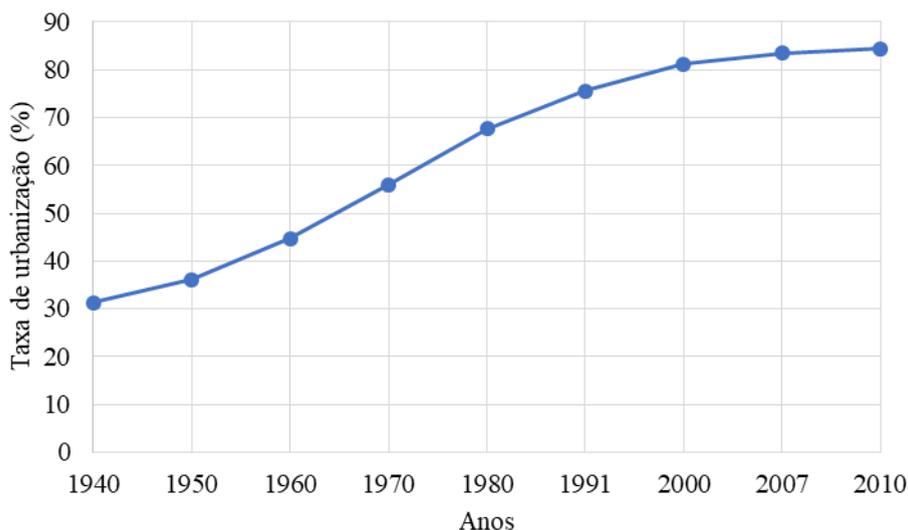


Figura 1. Taxa de Urbanização no Brasil de 1940 a 2010.

Fonte: IBGE (2007)

## 2.2. Medidas de mitigação

O controle das inundações pode ocorrer de forma estrutural ou não estrutural. Quando se faz o uso de medidas estruturais, ocorre uma intervenção no sistema fluvial, tendo por objetivo a diminuição dos prejuízos decorrentes das enchentes enquanto que medidas não-estruturais centram-se em ações do poder público (Tucci e Bertoni, 2003).

Tendo por objetivo a redução dos prejuízos causados pelas enchentes, os pesquisadores buscam conceber soluções para prevenir as cheias. As medidas estruturais englobam as obras de engenharias destinadas à reduzir o volume escoado e retardar o pico de cheia. Dentre as soluções existentes, podemos destacar os reservatórios. Robinson et al. (2010) estabeleceram seis definições e caracterizaram bacias de retenção em seis grupos (Tabela I).

Tabela I. Definições para Bacias de Retenção de Inundações Sustentáveis

Tipo	Nome	Definição da bacia	Exemplo típico
1	Bacia de Retenção de inundações hidráulicas (BRSI)	BRSI tradicional que é otimizada hidraulicamente e captura sedimentos de forma controlada	Reservatórios de água potável em operação
2	Bacia de retenção de inundações tradicionais	Bacia de retenção esteticamente favorável utilizada para proteção contra inundações.	Reservatórios de água potável sem operação.
3	Wetland de retenção de inundação sustentável	Tratamento e retenção esteticamente favoráveis usadas para proteção contra inundações passivas com adesão a práticas de drenagem sustentável e melhor gerenciamento.	Sistemas de drenagem sustentável como bacias de retenção, de detenção, grandes lagoas ou wetlands.
4	Wetland estético de tratamento de inundações	Wetland de tratamento para retenção e tratamento de vazão contaminada, o que	Wetlands de tratamento modernos construídos e integrados.

		chega a ser esteticamente favorável e integrado à paisagem, além de trazer benefícios sociais e recreacionais.	
5	Wetland de retenção de inundações integrados	Wetland de retenção de inundações para tratamento passivo do escoamento, retenção e melhoria dos benefícios recreacionais	Corpos de água artificiais em parques ou perto de vias, possuindo multifunção como esportes aquáticos e pescaria.
6	Wetland de retenção de inundações natural	Wetland de retenção de inundações passiva e natural.	Lagos e lagoas naturais ou seminaturais com potencial acesso restrito.

Fonte: adaptado de Robinson et al. (2010)

Conforme Baptista et al. (2015), define-se reservatório de detenção como estrutura de acumulação temporária e/ou infiltração de águas pluviais utilizadas para atender a três principais funções: 1. O amortecimento de cheias geradas em contexto urbano como forma de controle de inundações; 2. Eventual redução de volumes de escoamento superficial; 3. Redução da poluição difusa de origem pluvial em contexto urbano.

No Brasil o uso de reservatórios de detenção se deu a partir do ano de 1953, na cidade de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais (Nascimento e Baptista, 1997). Esse tipo de estrutura possui várias tipologias, sendo divididas entre bacias a céu aberto ou cobertas, com diversas subdivisões. Conforme, Baptista et al. (2015) as tipologias de bacias de detenção são as seguintes: Bacias a céu aberto com espelho d'água permanente; Bacias secas, que armazenam água durante chuvas intensas; Bacias de zonas úmidas, tendo água permanentemente, com capacidade de armazenamento em pequenas profundidades e grandes áreas em que há desenvolvimento de vegetação característica; E bacias cobertas, usualmente empregadas em áreas com elevada densidade demográfica, não possuindo área suficiente para implantação de bacias a céu aberto.

As bacias de detenção podem estar localizadas no sistema de drenagem em série ou em paralelo. As bacias em paralelo são escavadas em área próxima à calha da rede de drenagem devendo ter estruturas hidráulicas para controle do volume efluente escoado. Já para as bacias em série são desenvolvidas estruturas de contenção da chuva ao longo do sistema de drenagem.

Segundo Baptista et al. (2015), as bacias de detenção são estruturas que podem apresentar custos significativos uma vez que podem controlar grandes áreas de drenagem. Tanto os custos de implantação, como de manutenção e operação são bastante variáveis de acordo com o porte da obra e com o seu tipo. Para seu dimensionamento, uma série de parâmetros são estabelecidos, como vazão de saída, volume de detenção e vazão de pico.

A determinação da vazão de saída é determinada, segundo Baptista et al. (2015), levando em consideração os seguintes aspectos: Esvaziamento rápido do reservatório, tempo usual de 24 horas em virtude da possibilidade de ocorrência de novas precipitações intensas; A capacidade de vazão da bacia no estado anterior à urbanização da mesma ou uma limitação de vazão definida por normas. No caso do presente estudo será utilizada a condição de 24 horas de esvaziamento, pensando na mitigação das consequências das enchentes na bacia.

### 2.3. Tempo de concentração

Segundo De Almeida et al. (2017), o tempo de concentração é o tempo necessário para o deslocamento de uma parcela de água do ponto mais distante hidraulicamente de uma bacia hidrográfica até um ponto de referência à jusante. O processo de urbanização acarreta a impermeabilização do solo e por

consequência o aumento do volume escoado e a diminuição do tempo de concentração, aumentando opico de cheia. Dessa forma o tempo de concentração é variável fundamental para o dimensionamento de estruturas eficazes de mitigação de cheias.

É possível encontrar diversos métodos para estimativa do tempo de concentração, a seleção do método é realizada conforme o tipo de bacia, área e outras especificidades e características da bacia hidrográfica. Na Tabela II, estão dispostas algumas das fórmulas utilizadas no cálculo do tempo de concentração.

Tabela II. Equações empregadas na estimativa do tempo de concentração

Método	Equação
Kirpich	$T_c = 0,0663 L^{0,77} S^{-0,385}$
Ven te Chow	$T_c = 0,1602 L^{0,64} S^{-0,32}$
Dooge	$T_c = 0,365 A^{0,41} S^{-0,17}$
Johnstone	$T_c = 0,4623 L^{0,5} S^{-0,25}$
Corps of Engineers	$T_c = 0,191 L^{0,76} S^{-0,19}$
Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A}+3/2L}{0,8\sqrt{H_m}}$

Fonte: De Almeida et al., 2017

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Definição da Bacia e caracterização

Com base nas informações fornecidas pelo plano diretor de drenagem da cidade de Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul, MS, foi definida como área de estudo a bacia hidrográfica do Córrego Segredo, devido ao seu alto nível de criticidade e constantes inundações na área (Figura II).

Por meio de sensoriamento remoto foram definidos a área e demais parâmetros da bacia a serem utilizados no projeto (Tabela III).

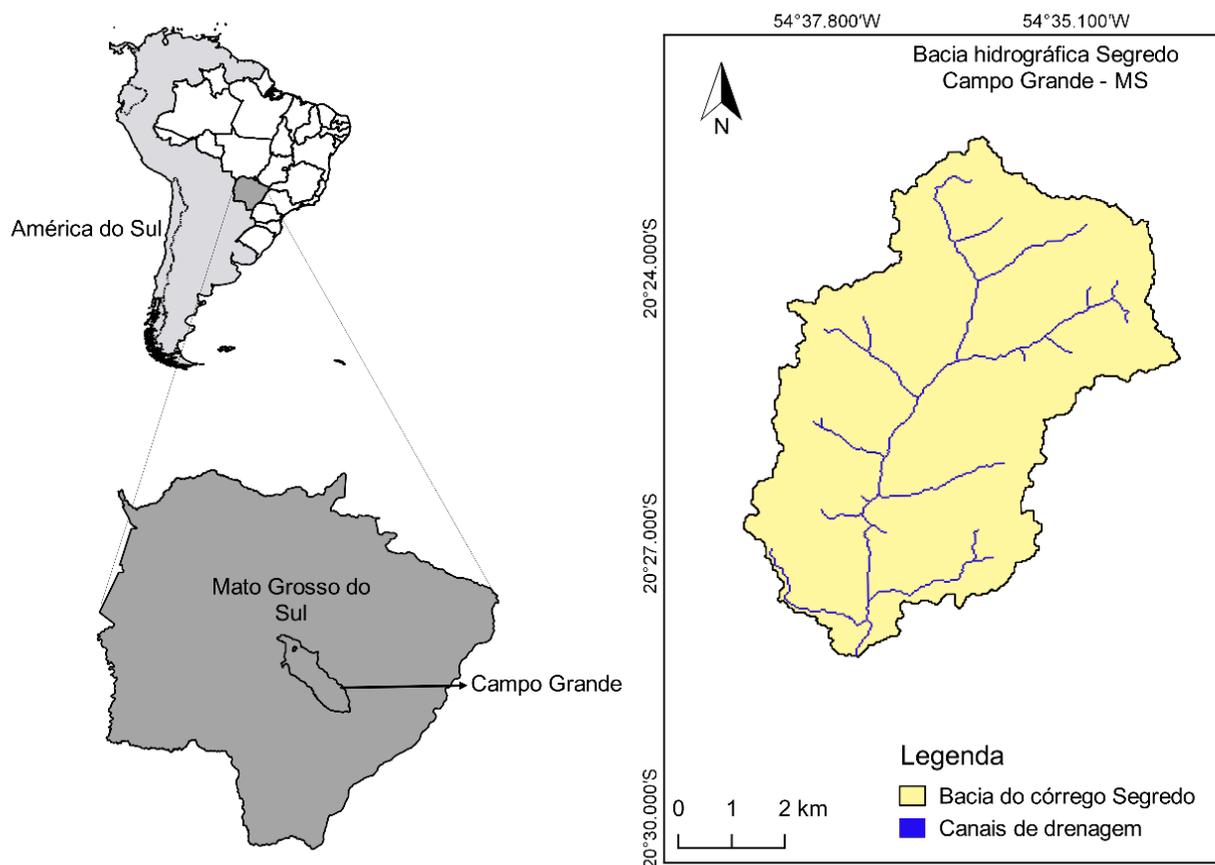


Figura II. Bacia Hidrográfica do Córrego Segredo

Tabela III. Parâmetros Hidrológicos da Bacia Hidrográfica Segredo

Parâmetro	Valor	Unidade
Perímetro	47,25	km
Área da Bacia	47,25	km <sup>2</sup>
Comprimento do talvegue principal	10,70	km
Altitude no Exutório	513,992	m
Altitude no ponto mais distante do Exutório	683,306	m

### 3.2. Determinação do Tempo de Concentração

Serão utilizadas duas fórmulas para determinação do tempo de concentração. Uma delas é a de Kirpich (Equação 1), amplamente utilizada na área por sua fácil aplicação. E a outra é a de Carter (Equação 2), por utilizar os mesmos parâmetros que a de Kirpich, sendo aquela utilizada para bacias urbanas.

$$T_c = 0,0663 L^{0,77} S^{-0,385} \tag{1}$$

$$T_c = 0,0977 L^{0,6} S^{-0,3} \tag{2}$$

L: Comprimento do talvegue principal

S: Declividade

### 3.3. Determinação da intensidade da chuva por meio das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF)

A partir da fórmula da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) determinada pelo mais atual plano diretor da cidade disponível para consulta pública, instituído pelo Decreto-Lei 12.680 (CAMPO GRANDE, 2015), onde se localiza a bacia, será determinada a intensidade da precipitação em questão (Equação 3). Visto que a obra a ser dimensionada é de macrodrenagem, utiliza-se o Tempo de Retorno igual a 50 anos e o tempo de ocorrência da precipitação igual ao tempo de concentração estimado (objeto do presente estudo).

$$I = \frac{1973,15 * T_R^{0,178}}{(T_c + 22)^{0,8577}} \quad (3)$$

$T_R$ : Tempo de Retorno

$T_c$ : Tempo de Concentração

### 3.4. Determinação do Volume Detido pelo reservatório

Para determinação das vazões foi estimado, em virtude do tipo de ocupação em cada caso, o coeficiente “C” igual a 0,70 para o volume de pós ocupação e um coeficiente “C” igual a 0,30, em decorrência da ausência de ocupação e do solo ser do tipo Latossolo vermelho escuro, de textura média a argilosa, conforme carta geotécnica do município de Campo Grande-MS (Tabela IV).

Tabela IV. Coeficientes de Escoamento C

Descrição da área	Coeficiente de escoamento C
Área comercial	
Centro da Cidade	0,70 a 0,95
Vizinhanças	0,50 a 0,70
Área residencial	
Habitações uni-familiares	0,30 a 0,50
Habitações multi-familiares isoladas	0,40 a 0,60
Habitações multi-familiares geminadas	0,60 a 0,75
Residencial suburbana	0,25 a 0,70
Apartamentos	0,50 a 0,70

Fonte: Manual of Practice – Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers, 1970 da ASCE

O volume detido pelo reservatório é igual ao volume excedente em relação ao volume de precipitação a época de pré-ocupação. O volume de pré-ocupação será determinado por meio do método racional, apresentado pela Equação 4 (Tomaz, 2011) assim como o de pós ocupação para uma precipitação de duração igual ao tempo de concentração obtido em cada caso. O reservatório será do tipo Offline e a água voltará ao canal d’água por gravidade.

$$Q_{PÓS/PRÉ} = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (4)$$

$Q_{PÓS/PRÉ}$ : Vazão em  $m^3/min$

C: Coeficiente de escoamento

I: Intensidade da precipitação em mm

A: Área da bacia em  $km^2$

O volume a ser reservado pela estrutura é calculado considerando a metodologia (Equação 5) apresentada por Tomaz (2011).

$$V_R = 0,5 \cdot (Q_{PÓS} - Q_{PRÉ}) \cdot 3 \cdot T_C \cdot 60 \quad (5)$$

$V_R$ : Volume reservado em  $m^3$

A vazão de saída do reservatório é determinada pela razão entre o volume reservado e o total de 24 horas (Baptista et al., 2011).

### 3.5. Dimensionamento do Reservatório

Para realização de uma comparação entre os métodos serão determinados os seguintes parâmetros que influenciaram no montante final da obra: o volume de escavação, o transporte de solo, a urbanização, a raspagem superficial e a rede de drenagem necessária na entrada e na saída do reservatório. O diâmetro adotado se deu em função da vazão de saída do reservatório dimensionada a partir da Tabela V.

Tabela V. Vazões em  $m^3/s$  de tubulações de concreto de acordo com diâmetro interno e declividade da tubulação

S (%)	0,50%	1,00%	1,50%	2,00%	2,50%	3,00%	3,50%	4,00%	5,00%
<b>D(m)</b>	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,050
<b>0,150</b>	0,009	0,013	0,016	0,019	0,021	0,023	0,025	0,026	0,030
<b>0,200</b>	0,020	0,028	0,035	0,040	0,045	0,049	0,053	0,057	0,064
<b>0,250</b>	0,036	0,052	0,063	0,073	0,082	0,089	0,097	0,103	0,115
<b>0,300</b>	0,059	0,084	0,103	0,119	0,133	0,145	0,157	0,168	0,188
<b>0,400</b>	0,128	0,181	0,221	0,256	0,286	0,313	0,338	0,361	0,404
<b>0,500</b>	0,232	0,328	0,401	0,463	0,518	0,567	0,613	0,655	0,732
<b>0,600</b>	0,377	0,533	0,652	0,753	0,842	0,923	0,997	1,065	1,191
<b>0,700</b>	0,568	0,804	0,984	1,136	1,270	1,392	1,503	1,607	1,797
<b>0,800</b>	0,811	1,147	1,405	1,622	1,814	1,987	2,146	2,294	2,565
<b>0,900</b>	1,111	1,571	1,923	2,221	2,483	2,720	2,938	3,141	3,512
<b>1,000</b>	1,471	2,080	2,547	2,942	3,289	3,603	3,891	4,160	4,651

Fonte: Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para obras municipais (Tomaz, 2011).

### 3.6. Cálculo do Custo da Obra

Tendo o projeto determinado quantitativos a serem utilizados na execução, será calculado o preço de execução de uma obra deste porte, sendo seu valor convertido para a moeda americana, facilitando a compreensão. Os preços utilizados terão a base do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) do mês de outubro de 2018 com desoneração como referência.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Cálculo do Tempo de Concentração

Os valores do Tempo de Concentração, obtidos pelas Equações 1 e 2 estão apresentados na Tabela VI.

Tabela VI. Cálculo do tempo de concentração

Método	Comprimento do talvegue principal (m)	Declividade (m/m)	Tempo de concentração (min)
Kirpich	10.700,00	0,02	118,76
Carter	10,70	0,02	84,32

### 4.2. Determinação da intensidade da chuva

Através da Equação 3 e com os valores dos tempos de concentração, determinou-se a intensidade de chuva para o tempo de retorno igual a 50 anos, conforme recomendações do Plano Diretor de Campo Grande-MS. Os resultados estão dispostos na Tabela VII.

Tabela VII. Cálculo da intensidade da chuva

Método	Tempo de Concentração (min)	Intensidade (mm)
Kirpich	118,76	56,86
Carter	84,32	72,34

A diferença entre os valores obtidos das intensidade advém da calibração dos coeficientes utilizados em cada método. O método de Kirpich foi desenvolvido utilizando dados de bacias de pequeno porte enquanto o método de Carter foi desenvolvido com dados de canais naturais (SALIMI et al., 2017).

### 4.3. Cálculo da Vazão de Pré Ocupação e Pós Ocupação e Dimensionamento do Reservatório

Com base nas informações obtidas da Tabela VII e utilizando a Equação 4, foi determinada a vazão, tendo os resultados mostrados na Tabela VIII.

Tabela VIII. Cálculo das vazões pré e pós-ocupação

Método	Coefficiente de escoamento	Intensidade (mm)	Área(km <sup>2</sup> )	Vazão(m <sup>3</sup> /min)
Pré-ocupação				
Kirpich	0,30	56,86	47,85	226,92

Carter	0,30	72,34	47,85	288,67
Pós-ocupação				
Kirpich	0,70	56,86	47,25	529,47
Carter	0,70	72,34	47,25	673,57

Os valores calculados pela Equação 5 apresentam uma grande diferença quando calculada a variação entre as vazões de saída do reservatório, sendo observadas na Tabela IX.

Tabela IX. Cálculo do Volume do Reservatório

Volume acumulado					
Método	Vazão		Volume a ser reservado (m <sup>3</sup> )	Qsaída(l/s)	Diferença (%)
	Pós-Ocupação	Pré-Ocupação			
Kirpich	529,47	226,92	3.233.921,83	37,43	9,68%
Carter	673,57	288,67	2.920.812,49	33,81	

Adotando-se uma lâmina máxima de 10 metros foi definida a área mínima de abertura do reservatório. A razão adotada entre o comprimento e a largura é de 0,68182 e a inclinação do talude igual 2, por ter o reservatório um formato de tronco de pirâmide. De posse da definição do volume a ser reservado, a altura de lâmina d'água e a inclinação do talude fez-se o detalhamento do reservatório (Tabela X).

Tabela X. Cálculo das dimensões do reservatório

Método	Área mínima (m <sup>2</sup> )	Comprimento (m)	Largura (m)	Área dimensionada (m <sup>2</sup> )	Volume dimensionado (m <sup>3</sup> )
Kirpich	323.392,18	700,00	477,30	334.110,00	3.341.100,00
Carter	292.081,25	660,00	450,10	297.066,00	2.970.660,00

Deve ser executado o plantio de grama em toda a área do reservatório. Foi calculada também a área de grama para cada reservatório, sendo essa área o resultado do cálculo das áreas das faces laterais e superior de um tronco de pirâmide (Figura III).

Para cada metro de tubulação da rede de drenagem é utilizado o custo médio estimado pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande igual a R\$ 913,77 para galeria com tubulação de diâmetro igual a 1,00 metro e comprimento de também 1,00 metro, sem escavação em rocha.

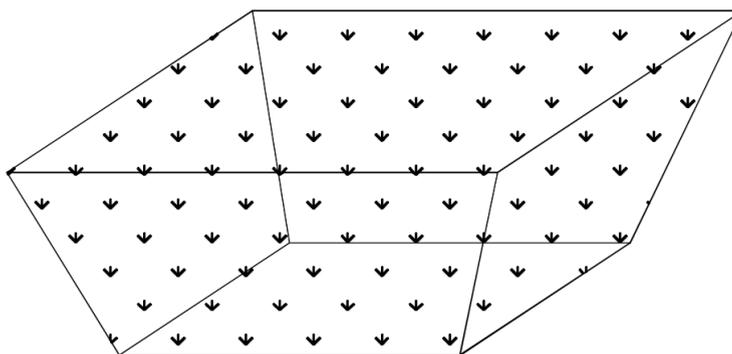


Figura II. Modelo de tronco de pirâmide

#### 4.4. Cálculo do Custo da Obra

Com os dados obtidos nas Tabelas IX e X, foi determinado o quantitativo de serviços e insumos necessários à execução da obra. Esses valores estão dispostos nas Tabelas XI e XII.

Tabela XI. Custos obtidos utilizando o método de Kirpich.

Código	Descrição	Quantidade	Unidade	Preço Unitário (R\$/Unidade)	CUSTO
95875	Transporte com caminhão basculante de 10 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada m <sup>3</sup> xkm as 1,15 , dmt até 30 km (unidade: m <sup>3</sup> xkm). Af_12/2016	33411000,00	m <sup>3</sup> xkm	1,15	R\$ 38.422.650,00
74151/001	Escavacao e carga material 1a categoria, utilizando trator de esteiras m <sup>3</sup> cr 3,05 de 110 a 160hp com lamina, peso operacional * 13t e pa carregadeira com 170 hp.	3341100,00	m <sup>3</sup>	3,05	R\$ 10.190.355,00
74010/001	Carga e descarga mecanica de solo utilizando caminhao basculante 6,0m <sup>3</sup> /16t e pa carregadeira sobre pneus 128 hp, capacidade da caçamba 1,7 a 2,8 m <sup>3</sup> , peso operacional 11632 kg	3341100,00	m <sup>3</sup>	1,71	R\$ 5.713.281,00
74039/001	Cerca com mouros de madeira rolica, diametro 11cm, espacamento de 2m, altura livre de 1m, cravados 0,5m, com 5 fios de arame farpado nº 14 classe 250	2.472,21	m	28,87	R\$ 71.372,00
3322	Gramma esmeralda ou sao carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	381.202,00	m <sup>2</sup>	4,9	R\$ 1.867.889,00
85179	Plantio de grama sao carlos em leivas	381.202,00	m <sup>2</sup>	13	R\$ 4.955.626,00
TOTAL					R\$ 61.269.602,81

Tabela XII. Custos obtidos utilizando o método de Carter.

Código	Descrição	Quantidade	Unidade	Preço Unitário (R\$/Unidade)	CUSTO
95875	Transporte com caminhão basculante de 10 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada m <sup>3</sup> xkm as 1,15 , dmt até 30 km (unidade: m <sup>3</sup> xkm). Af_12/2016	29706600,00	m <sup>3</sup> xkm	1,15	R\$ 34.162.590,00
74151/001	Escavacao e carga material 1a categoria, utilizando trator de esteiras m <sup>3</sup> cr 3,05 de 110 a 160hp com lamina, peso operacional * 13t e pa carregadeira com 170 hp.	2970660,00	m <sup>3</sup>	3,05	R\$ 9.060.513,00
74010/001	Carga e descarga mecanica de solo utilizando caminhao basculante 6,0m <sup>3</sup> /16t e pa carregadeira sobre pneus 128 hp, capacidade da caçamba 1,7 a 2,8 m <sup>3</sup> , peso operacional 11632 kg	2970660,00	m <sup>3</sup>	1,71	R\$ 5.079.828,00
74039/001	Cerca com mouros de madeira rolica, diametro 11cm, espacamento de 2m, altura livre de 1m, cravados 0,5m, com 5 fios de arame farpado n° 14 classe 250	2.346,20	m	28,87	R\$ 67.734,00
3322	Gramma esmeralda ou sao carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	341.470,00	m <sup>2</sup>	4,9	R\$ 1.673.203,00
85179	Plantio de grama sao carlos em leivas	341.470,00	m <sup>2</sup>	13	R\$ 4.439.110,00
Total					R\$ 54.531.407,81

Nas Tabelas XI e XII estão dispostos os valores estimados para execução conforme a metodologia adotada. É notória a participação da escavação no custo total, representando mais de 60% do mesmo. Observa-se também o custo vultuoso de uma obra dessa magnitude, a qual ultrapassa a casa dos cinquenta milhões de reais.

Em comparação com os custos obtidos pelo método de Kirpich, o método de Carter apresentou um valor 11% menor. Conforme Coletto e Santos (2018), os métodos indiretos podem levar a superdimensionamentos, como observado neste trabalho.

## 5. CONCLUSÕES

A diferença entre os valores obtidos para o tempo de concentração através dos métodos de Kirpich e o de Carter para a bacia hidrográfica do Córrego Segredo é de 40,84%.

Essa diferença influencia diretamente no dimensionamento da bacia de retenção, pois o volume de escavação que é responsável por 62,71% dos custos da obra, é calculado levando em consideração o tempo de concentração.

Apesar de uma significativa diferença no tempo de concentração, o custo final estimado levando em consideração o método de Kirpich é 12,36% maior que o custo final estimado levando em consideração

o método de Carter. Sendo essa diferença significativa, pois envolve valores vultuosos para implantação, passando de R\$ 50.000.000,00, além de envolver recursos públicos.

Por ser um problema inerente às cidades, deve-se envidar esforços em todas as esferas para desenvolvimento de métodos mais refinados para estimativa do tempo de concentração. Dessa forma, pode-se definir o volume mais adequado para mitigar os efeitos das inundações na região estudada.

As equações apresentadas neste estudo e as habitualmente empregadas em projetos hidráulicos foram desenvolvidas utilizando como áreas de estudo regiões de clima temperado, corroborando para a necessidade de desenvolvimento de métodos adequados para climas tropicais.

## Referências

Baptista, Márcio Benedito; Nascimento, Nilo de Oliveira. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 1, p. 29-49, 2002.

Baptista, M.; Nascimento, N.; Barraud, S. *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*, Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. 2ª reimpressão da 2ª edição, 318 p.

Coletto, Luiz Angelo; SANTOS, André Tiago dos. Análise das vazões máximas na área urbana de São Miguel do Oeste por meio do método racional e comparação com valores observados em campo. *Unoesc & Ciência - ACET*, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 15-22, jun. 2018. ISSN 2178-342X. Disponível em: <<https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/view/15212>>. Acesso em: 05 Dez. 2018.

De Almeida, Isabel Kaufmann; Almeida, A. K.; Anache, J. A. A.; Steffen, J. L.; Alves Sobrinho, T. Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: a review. *Geociências (São Paulo)*, v. 33, n. 4, p. 661-671, 2014.

De Almeida, Isabel Kaufmann; Almeida, A. K.; Steffen, J. L.; Alves Sobrinho, T. Model for estimating the time of concentration in watersheds. *Water Resources Management*, v. 30, n. 12, p. 4083-4096, 2016.

De Almeida, I.K.; Almeida, A. K.; Gabas, S. G.; Alves Sobrinho, T. Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region, *Hydrological Sciences Journal*, 2017, 62:14, 2406-2414, DOI: 10.1080/02626667.2017.1384549

IBGE, Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: *Estatísticas do século XX*. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979.

Locatelli, L.; Mark, O.; Mikkelsen, P. S.; Arnbjerg-Nielsen, K.; Jensen, M. B.; Binning, P. J. Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications, *Journal of Hydrology*, Volume 519, Parte D, 2014. Disponível em: <https://doi-org.ez51.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jhydrol.2014.10.030>, acessado em 03 dez. 2018.

Nascimento, N. O.; Baptista, M. B.; Pinheiro, M. C.; Champs, J. R. B.; Souza, V. C. B. Estudo de caso de uma bacia de retenção em meio urbano – O caso do reservatório Santa Lúcia. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, XII, 1997, Vitória. Anais ABRH, CD-ROM, 1997. p. 1-9.

Plano Diretor de Drenagem de Águas Pluviais do Município de Campo Grande. Campo Grande: Prefeitura de Campo Grande, 2015.

Pompêo, C. A. Drenagem urbana sustentável, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, volume 5, nº 1, jan/mar 2000, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, pp. 15-24.

Ramos, Helena M. et al. Urban floods adaptation and sustainable drainage measures. *Fluids*, v. 2, n. 4, p. 61, 2017.

Robinson, M; Scholz, M; Bastien, N; Carfrae, J. Classification of different sustainable flood retention

basin types. Journal of Environmental Sciences, v. 22, n. 6, p. 898-903, 2010. doi: 10.1016/S1001-0742(09)60195-9

Salimi, E. T.; Nohegar, A.; Malekian, A.; Hoseini, M.; Holisaz, A. Estimating time of concentration in large watersheds. **Paddy and Water Environment**, v. 15, n. 1, p. 123-132, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10333-016-0534-2>

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 30 nov 2018.

Teixeira, J. C., Gomes, Maria H. R. e Souza, J. A. Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros – estudo comparativo entre 2001 e 2006. Revista de Engenharia Ambiental: ABES, 2011.

Tomaz, P. Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais. São Paulo, Navegar Editora, 2011.

Tucci, Carlos E. M., Porto, Rubem L. L. e Barros, Mario T. de. Drenagem Urbana, Porto Alegre, RS: da Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995.

Tucci, C. E. M., Bertoni, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

Tucci, Carlos E. M.. Drenagem urbana. Cienc. Cult., São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, Dec. 2003. Disponível em:

<[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso)>. acessado em 04 dez. 2018.

Recebido em: 31/08/2021

Aceito em: 24/01/2022

Endereço para correspondência:  
Nome Lucas Amaral Rocha\*  
Email [lucasamaralrocha@gmail.com](mailto:lucasamaralrocha@gmail.com)



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)