

**UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO
URBANA (Lato sensu)**

MONOGRAFIA

MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E DA VAZÃO MÁXIMA, COMO INDICADOR DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO EM MICROBACIA RURAL E URBANA, NO MUNICÍPIO DE SILVA JARDIM, RJ.

DÉBORA ALVES GONZAGA DA SILVA BALLESTEIRO PEREIRA

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA (*Lato
sensu*)**

**MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E
DA VAZÃO MÁXIMA, COMO INDICADOR DA GERAÇÃO DO
ESCOAMENTO EM MICROBACIA RURAL E URBANA, NO
MUNICÍPIO DE SILVA JARDIM, RJ.**

DÉBORA ALVES GONZAGA DA SILVA BALLESTEIRO PEREIRA

Sob a Orientação da Professora
Dra. Cláudia Moster

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Arborização Urbana**, no Curso de Pós-Graduação Em Arborização Urbana (*Lato sensu*).

**Seropédica, RJ
Maio, 2024**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Biblioteca
Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P434m PEREIRA, Débora Alves Gonzaga da Silva Ballesteiro ,
12/03/1976-
MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E
DA VAZÃO MÁXIMA, COMO INDICADOR DA GERAÇÃO DO
ESCOAMENTO EM MICROBACIA RURAL E URBANA, NO MUNICÍPIO
DE SILVA JARDIM, RJ. / Débora Alves Gonzaga da Silva
Ballesteiro PEREIRA. - Silva Jardim, 2024.
34 f.: il.

Orientadora: Cláudia Moster Moster. Trabalho de
conclusão de curso(Graduação). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Pós Graduação em Arborização
Urbana, 2024.

1. Rio Bananeiras, Silva Jardim, RJ.. 2. Rio Valão
da Caixa, Silva Jardim, RJ.. 3. I-Pai-Wu. 4.
Arborização Urbana I. Moster, Cláudia Moster,
03/06/1981-, orient. II Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro. Pós Graduação em Arborização Urbana
III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS



**HOMOLOGAÇÃO DE MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO Nº 1 / 2024 DeptCAmb
(12.28.01.00.00.00.29)**

Nº do Protocolo: 23083.022204/2024-18

Seropédica-RJ, 06 de maio de 2024.

Termo de aprovação da defesa de Monografia de Débora Alves Gonzaga da Silva Ballesteiro Pereira.

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Arborização Urbana, no Curso de Pós-Graduação em Arborização Urbana (Lato sensu) da Universidade Federal Rural Rio de Janeiro.

MONOGRAFIA APROVADA EM 06/ 05/ 2024

(Assinado digitalmente em 06/05/2024 21:44)

CLAUDIA MÓSTER
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.29)
Matrícula: 3063003

(Assinado digitalmente em 06/05/2024 22:36)

JOAO SEBASTIAO DE PAULA ARAUJO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DATS (11.39.00.35)
Matrícula: 2186690

(Assinado digitalmente em 07/05/2024 09:45)

JEANNE ALMEIDA DA TRINDADE
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 732.536.697-34

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **1**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE MONOGRAFIA DE
ESPECIALIZAÇÃO**, data de emissão: **06/05/2024** e o código de verificação: **9b2dfa54a3**

*“Queira (queira)!!!!!!
Basta ser sincero e desejar profundo
Você será capaz de sacudir o mundo
Vai, tente outra vez” !!!!*

*“Tente (tente)!!!!!!
E não diga que a vitória está perdida
Se é de batalhas que se vive a vida
Tente outra vez”
(Raul Seixas)*

“Alegres na esperança, fortes na fé, dedicados no amor e unidos no trabalho”.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e disposição em me tornar alguém que sempre está a procura algo novo e em desafiar os limites da compreensão.

Ao meu esposo, Maurício Ballesteiro Pereira, por todo incentivo e companheirismo, embarcando em todos os meus projetos de vida.

Aos meus filhos amados, Mariana Alves Gonzaga da Silva Oliveira e José Maurício Alves Gonzaga Ballesteiro Pereira, pelo apoio de sempre.

Ao meu netinho lindo, Raul Gonzaga Oliveira Santos Bezerra, pela alegria que trouxe à minha vida com a sua chegada.

Ao meu pai, Antônio Gonzaga da Silva, que sempre foi meu exemplo de vida, e mesmo não estando presente no corpo físico, me inspira com a lembrança de todos os seus ensinamentos.

À minha amada mãe, Ivone Alves Gonzaga da Silva, por sempre estar comigo, me apoiando e torcendo pelas minhas vitórias.

À minha irmã, Renata Alves Gonzaga da Silva, somos eu ela, amigas, irmãs, parceiras em tudo na vida.

Às minhas tias, Esmeralda Gonzaga da Silva e Therezinha Gonzaga da Silva por serem minha fonte de inspiração.

Ao meu tio Ruy Gonzaga da Silva, por todo apoio e incentivo ao longo da minha vida.

À toda minha família, principalmente aos ausentes do corpo físico, que de algum modo me motivam a ter perseverança e dar conta de todos os compromissos firmados.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Silva Jardim, em especial, Gabriela Figueiredo da Conceição, por todo apoio concedido.

Aos meus colegas do Curso de Pós- Graduação em Arborização Urbana, por todo incentivo e apoio dado uns aos outros, pela amizade e parceria.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Arborização Urbana, pelos ensinamentos.

Em especial à minha orientadora, Claudia Moster, pela confiança e direcionamento de todo o meu trabalho.

A todos que de alguma forma, me ajudaram na confecção deste trabalho.

RESUMO

Pereira, Débora Alves Gonzaga da Silva Ballesteiro. **Métodos para estimativa do tempo de concentração e da vazão máxima, como indicador da geração do escoamento em microbacia rural e urbana, no município de Silva Jardim, RJ.** Monografia (Especialização em Arborização Urbana) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Este estudo teve como objetivo comparar métodos de estimativa de picos de vazão em duas sub-bacias da bacia do Rio São João, localizadas em Silva Jardim, Rio de Janeiro. As bacias escolhidas foram o Rio Bananeiras e o Rio Valão da Caixa. Foram aplicados os métodos Racional, Racional Modificado e I-Pai-Wu, com sete fórmulas diferentes para estimativa do tempo de concentração (Corps Engineers, Ven te Chow, Kinematic Wave, Kirpich, Carter, Schaake e Desbordes) além de duas equações criadas a partir de regressão múltipla. Para ambas as bacias do estudo, foi realizada uma análise morfométrica a partir do modelo digital de elevação, para posterior estimativa do pico de vazão utilizando 10 anos de período de retorno. A partir deste resultado, observou-se que ambas as bacias apresentaram formato alongado, o que indicou baixa probabilidade de inundação, sendo a ocorrência desses eventos atribuída às condições climáticas adversas, ao mau dimensionamento das estruturas hidráulicas e às características de uso e ocupação do solo na área de drenagem da bacia. Os resultados para tempo de concentração (TC) foram muito distintos, variando de 236,4 a 34,2 minutos para a bacia do Rio Bananeiras, e de 162 a 25,8 minutos para a bacia do Rio Valão da Caixa. Esses valores proporcionaram vazões máximas distintas para uma mesma bacia, sendo o menor valor obtido a partir do maior valor de TC. É importante ressaltar que o uso e a ocupação do solo variam ao longo dos anos e podem influenciar o TC da bacia. Portanto, esse atributo deve ser avaliado antes da escolha do método, a fim de estimar a vazão máxima mais adequada. De acordo com os resultados deste estudo, recomenda-se a utilização do método de Kirpich para o TC calculado, pois foi considerado adequado para bacias com essas dimensões. Além disso, por resultar em valores intermediários, permite uma estimativa mais razoável das vazões de pico, aliando maior segurança e economia no dimensionamento de projetos hidráulicos. Em relação aos métodos de cálculo de vazões máximas, observou-se que, independentemente do TC, o método Racional apresentou um aumento de aproximadamente 350% em relação ao método Racional Modificado na bacia do Rio Bananeiras e de 220% para a bacia do Rio Valão da Caixa. O método I-Pai-Wu apresentou valores intermediários, pois sua equação considera o formato da bacia e a relação entre a duração da precipitação e a área

contribuinte, seguindo o princípio da razoabilidade, sendo, portanto, indicado para uso em bacias urbanas. Sugere-se que a escolha dos métodos de TC e de pico de vazão seja padronizada pelos órgãos municipais, para fins de gerenciamento de águas pluviais em áreas urbanas, de acordo com as características fisiográficas e de cobertura das bacias. Considera-se válida a recomendação de utilização da arborização urbana no planejamento das cidades, visando amenizar os efeitos adversos relacionados à precipitação, para redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, do pico de vazão. Para este estudo, foram utilizados cálculos que simplificam a realidade e não consideram aspectos ecológicos do funcionamento hidrológico das bacias, como a expansão sazonal dos canais de drenagem e mudanças nas condições de permeabilidade do solo. Assim, o estudo demonstrou a necessidade de desenvolver e adaptar métodos tradicionais que considerem aspectos ecológicos e arborização urbana em estudos hidrológicos de bacias urbanas, visando prevenir picos de cheias

Palavras-chave: Rio Bananeiras, Rio Valão da Caixa, I-Pai-Wu, Arborização Urbana.

ABSTRACT

Pereira, Débora Alves Gonzaga da Silva Ballesteiro. **Methods for estimating concentration time and maximum flow, as an indicator of runoff generation in rural and urban watersheds, in the municipality of Silva Jardim, RJ.** Monograph (Graduate Degree in Urban Forestry) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2024.

This study aimed to compare methods for estimating peak flows in two sub-basins of the São João River basin, located in Silva Jardim, Rio de Janeiro. The basins chosen were the Bananeiras River and the Valão da Caixa River. The Rational, Modified Rational and I-Pai-Wu methods were applied, with seven different formulas for estimating the time of concentration (Corps Engineers, Ven te Chow, Kinematic Wave, Kirpich, Carter, Schaake and Desbordes) besides two equations created from multiple regression. For both basins of the study, a morphometric analysis was performed from the digital elevation model, for subsequent peak flow estimation using 10 years of return period. From this result, it was observed that both basins presented an elongated shape, which indicated low flooding probability, with the occurrence of these events being attributed to adverse weather conditions, poor sizing of hydraulic structures, and characteristics of land use and occupation in the basin drainage area. The results for time of concentration (TC) were very different, ranging from 236.4 to 34.2 minutes for the Bananeiras River basin, and from 162 to 25.8 minutes for the Valão da Caixa River basin. These values provided different maximum flows for the same basin, with the lowest value obtained from the highest TC value. It is important to emphasize that land use and occupation vary over the years and can influence the basin's TC. Therefore, this attribute should be evaluated before choosing the method, in order to estimate the most appropriate maximum flow. According to the results of this study, the use of Kirpich's method is recommended for TC calculated, as it was considered adequate for basins with these dimensions. Furthermore, since it results in intermediate values, it allows a more reasonable peak flows estimation, combining greater safety and economy on dimensioning of hydraulic projects. Regarding the methods for calculating maximum flows, it was observed that, regardless of the TC, the Rational method presented an increase of approximately 350% in relation to the Modified Rational method in the Bananeiras River basin and of 220% for the Valão da Caixa River basin. The I-Pai-Wu method presented intermediate values, since its equation considers the shape of the basin and the relationship between the duration of rainfall and the contributing area, following the principle of reasonableness, and therefore, it is indicated for use in urban basins. It is suggested that the choice of TC and peak flow methods would be standardized by the municipal agencies, for the purpose of managing rainwater in urban areas, according to the physiographic and coverage characteristics of the basins. The recommendation of using urban afforestation in city planning is considered valid, aiming at mitigating the adverse effects related to precipitation, to reduce surface runoff and, consequently, peak flow. For this study, calculations were used that simplify reality and do not consider ecological aspects of the hydrology functioning of basins, such as the seasonal expansion of the drainage channels and changes in the soil permeability conditions. Thus, the study demonstrated the need to develop and adapt traditional methods that consider ecological aspects and urban afforestation in hydrological studies of urban basins, aiming preventing flood peaks.

Key Words: Bananeiras River, Valão da Caixa River, I-Pai-Wu.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficiente volumétrico para diferentes graus de impermeabilidade do solo.	11
Tabela 2. Expressões usadas para estimar o tempo de concentração para bacias rurais (R) e urbanas (U), por ordem de adequação, segundo Silveira (2005)	14
.....	14
Tabela 3. Expressões para o cálculo do tempo de concentração obtidas pelo método da regressão múltipla com base nos dados das bacias teste rural e urbana apresentadas por Silveira (2005)	14
.....	14
Tabela 4. Expressões para o cálculo de intensidade de chuva segundo Davis e Naghettini, 2000.	14
Tabela 5. Análise física da sub-bacia do Rio Bananeiras, Silva Jardim, RJ.	17
Tabela 6. Intensidade de chuva calculada pelas expressões e segundo Davis e Naghettini (2000).	19
Tabela 7. Vazão máxima calculada ($m^3.s^{-1}$) para os diferentes métodos de TC, Corps Engineers, Ven te Chow, Onda Cinemática, Kirpich, Carter, Schaake et al, Desbordes, Regressão Rural e Regressão Urbana para a sub-bacia do Rio Bananeiras, Silva Jardim, Rio de Janeiro.	20
Tabela 8. Análise física da sub-bacia do Rio Valão da Caixa, Silva Jardim, RJ.	23
Tabela 9. Intensidade de chuva calculada pelas expressões e segundo Davis e Naghettini (2000).	23
Tabela 10. Vazão máxima calculada ($m^3.s^{-1}$) para os diferentes métodos de TC, Corps Engineers, Ven te Chow, Onda Cinemática, Kirpich, Carter, Schaake et al, Desbordes, Regressão Rural e Regressão Urbana para a sub-bacia do Rio Valão da Caixa, Silva Jardim, Rio de Janeiro.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da bacia do Rio São João e em destaque as sub-bacias do Rio Bananeiras e do Rio Valão da Caixa, Silva Jardim, RJ.	04
Figura 2. Coeficiente de distribuição espacial de chuva “K”.	11
Figura 3. Localização da sub-bacia do rio Bananeiras, 2º Distrito de Silva Jardim, Rio de Janeiro.	16
Figura 4. Vazões máximas para sub-bacia bacia do Rio Bananeiras calculadas pelos diferentes métodos de TC.	21
Figura 5. Localização da sub-bacia do Rio Valão da Caixa, Distrito Sede de Silva Jardim, Rio de Janeiro.	22
Vazões máximas para a sub-bacia do Rio Valão da Caixa calculadas pelos diferentes métodos de TC.	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. A Bacia Hidrográfica do Rio São João e as sub-bacias do Rio Bananeiras e Valão da Caixa.	03
2.2. Tempo de Concentração	06
2.3. Estudos das vazões máximas	07
2.4. Métodos para cálculo de vazão	08
2.4.1. Método Racional	08
2.4.2. Método Racional Modificado	09
2.4.3. Método I-Pai-Wu	10
2.5. Arborização Urbana como medida mitigadora do escoamento superficial e redução do pico de vazão	
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Bacias hidrográficas	13
3.2. Cálculo de tempo de concentração	13
3.3. Intensidade de chuvas	14
3.4. Cálculo de vazões máximas	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Bacia do rio Bananeiras	16
4.2. Bacia do rio Valão da Caixa	22
5. CONCLUSÕES	28
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1 INTRODUÇÃO

O estudo da vazão destina-se a obter dados sobre o escoamento de um fluido que passa por uma determinada área, em um determinado período de tempo. Os cálculos de vazão máxima podem ser usados para diferentes finalidades, como projetos de obras de drenagem, construção de pontes, dimensionamento de bacias de retenção de água de chuvas, sistemas de distribuição de água e esgoto, dentre outros. Segundo Fendrich (2008), a determinação da vazão máxima é fundamental para o dimensionamento adequado de obras hidráulicas como pontes, tubulações, bombas, válvulas e outros dispositivos, além de auxiliar na previsão de enchentes e na elaboração de diversas obras. O dimensionamento adequado de obras hidráulicas passou a ser um desafio, diante das alterações climáticas que o mundo vem vivenciando. Eventos climáticos extremos, associados ou não às intervenções humanas, podem resultar em danos para a população e para a estrutura dos municípios.

A vazão é expressa em volume por unidade de tempo, como litros por hora, metros cúbicos por segundo, entre outras unidades. Ela indica a capacidade de um rio, canal, tubulação ou qualquer sistema de escoamento de transportar um fluido específico. No caso de bacias hidrográficas, a estimativa dos valores máximos de vazão apresenta interesse, principalmente, no dimensionamento de estruturas hidráulicas e para a previsão de inundações nas zonas urbanas, como parte da gestão de recursos hídricos. Ela leva em consideração a velocidade do fluido, a área efetiva de escoamento e as restrições impostas pelo sistema, como perdas de carga e restrições de pressão.

Nos estudos de bacias hidrográficas, existem várias maneiras para estimar a vazão máxima, e o melhor método a ser utilizado vai depender das características dessa bacia, sendo o tamanho da área de contribuição um fator importante, mas são considerados também a declividade, condições da superfície, além de características climáticas. A disponibilidade dos dados também influencia na escolha do método.

A medida da vazão em um curso d'água pode ser feita diretamente no rio, usando dados de estações fluviométricas. Esses dados podem ser relacionados com dados pluviométricos para determinação de vazão em função das chuvas bem como das vazões máximas (CAPRARA, 2020). Para cursos d'água que não tenham estações fluviométricas, pode-se apenas estimar a partir de fórmulas que foram desenvolvidas e validadas usando bacias providas dessas estações.

Assim, existem diversos métodos disponíveis na literatura para a estimativa da vazão máxima, como método Racional (DNIT, 2005), Racional Modificado (FRITSCH, 2013), I-Pai-Wu (DAEE, 1999), Ven te Chow (WILKEN, 1978), Hidrograma, McMath (BATISTA, NOVAES; SANTOS, 2002), etc.

Um elemento chave nos métodos de cálculo da vazão máxima é o Tempo de Concentração, TC, que pode ser entendido como o tempo necessário para que toda a chuva que cai na área da bacia contribua com a vazão em um ponto determinado. O TC é igualmente estimado por fórmulas empíricas elaboradas e validadas com base em dados de bacias com regime fluviométrico monitorado.

Diante da multiplicidade de métodos e fórmulas para o cálculo do tempo de concentração e vazão máxima, cada qual elaborada sob condições próprias e validadas em bacias hidrográficas com características físicas diferentes, podendo ser ainda rurais ou urbanas, torna-se necessário a escolha criteriosa das fórmulas a serem usadas em cada caso.

Estudos sobre métodos do cálculo de tempo de concentração, que por consequência estimem vazões máximas, capazes de prever eventos meteorológicos extremos e que possam prevenir desastres, são de extrema importância. A cada dia a mídia comunica notícias sobre calamidades em cidades por conta de inundações, enxurradas, alagamentos e deslizamentos de massa, decorrentes de precipitações de alta intensidade.

Esses eventos são um aspecto integrante da variabilidade climática natural, e sua frequência e intensidade podem variar de acordo com mudanças climáticas (IPCC, 2023). Quanto mais extremo é o evento, menos se sabe sobre a sua frequência. Dessa forma, prever eventos com potencial de causar danos às atividades humanas é um desafio para os meteorologistas. Mesmo aqueles eventos que são previstos dentro de um certo nível de probabilidade podem não encontrar uma solução adequada, pois esta dependerá de decisões políticas e da capacidade tecnológica para executar obras e serviços capazes de mitigar seus efeitos.

Os principais fatores que exercem influência no escoamento superficial são relacionados à precipitação e decorrentes da ação antrópica, tais como o uso do solo e realização de obras hidráulicas nos cursos d'água e no entorno destes (AMPE et al., 2012; BEREZOWSKI et al., 2012). Nos ambientes urbanos, quanto maior for a impermeabilização do solo e quanto menor for a cobertura vegetal, maior será o escoamento superficial e maiores ajustes de vazão serão necessários para mitigar efeitos adversos do clima. Alves e Formiga (2019) demonstraram que áreas impermeáveis de uma forma geral produzem maior

escorrimento superficial que áreas semipermeáveis/permeáveis. Que a cobertura arbórea é um fator importante na retenção de água e diminuição do escoamento superficial, sendo no entanto, variável segundo a espécie. Seus resultados sugerem que árvores com copas mais densas e troncos com casca rugosa retém mais água que copas menos densas e cascas lisas. Essa observação também foi feita por Wang *et al* (2008).

Daí a importância da arborização urbana como uma medida mitigadora dos efeitos decorrentes do escoamento superficial sendo fundamental ser usada no planejamentos de cidades sustentáveis e resilientes (ALVES; FORMIGA, 2019).

Assim, o objetivo neste trabalho foi estimar as vazões máximas de uma sub-bacia rural, e uma sub-bacia urbana, ambas pertencentes à bacia do Rio São João, utilizando os métodos Racional, Racional Modificado e I-Pai-Wu, em conjunto com diferentes fórmulas para estimativa do tempo de concentração, recomendadas por Silveira (2005). Em seguida, comparar os resultados obtidos a fim de discutir a aplicação das equações em relação aos projetos de drenagem urbana, frente às mudanças climáticas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Bacia Hidrográfica do Rio São João e as sub-bacias do Rio Bananeiras e do Rio Valão da Caixa.

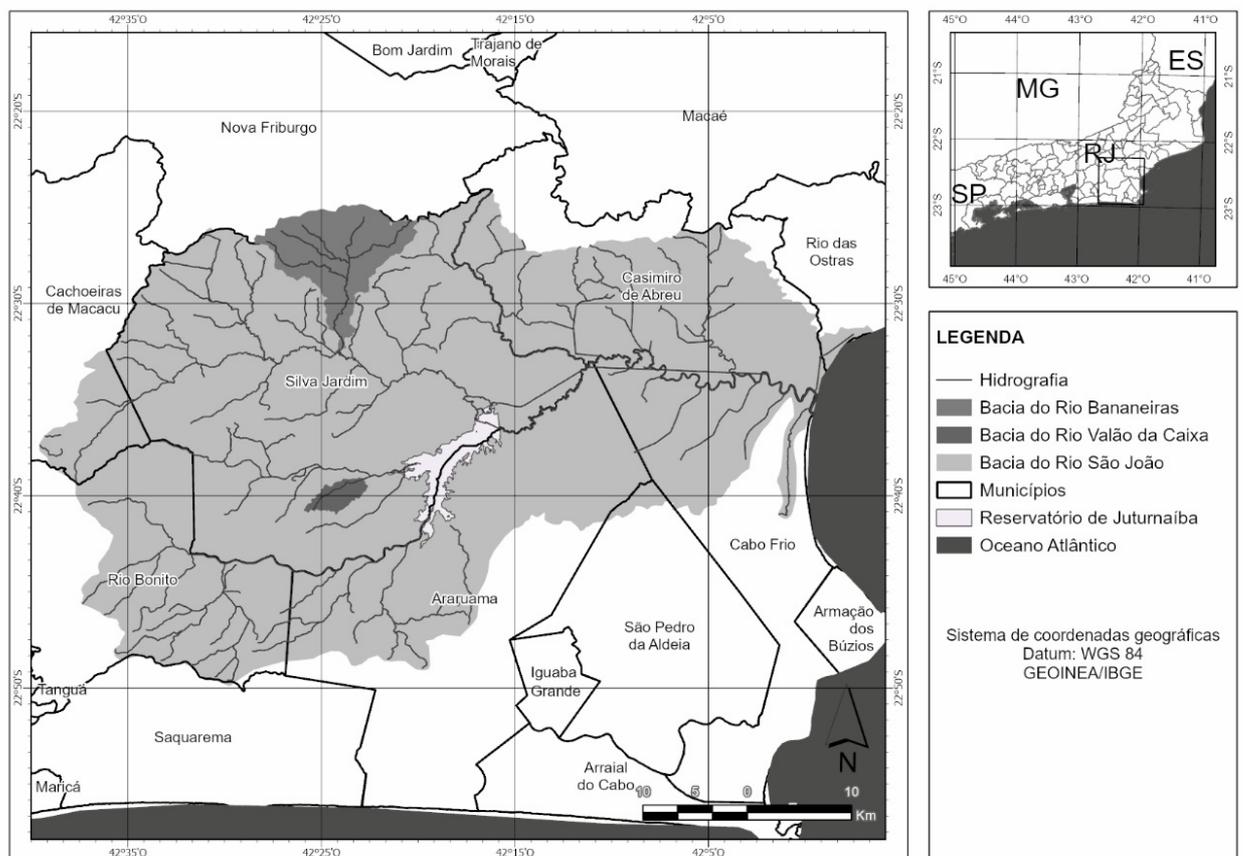
A bacia hidrográfica do Rio São João pertence a Região hidrográfica VI no estado do Rio de Janeiro. Possui uma área de contribuição de 2.160 km², perímetro de 266 km e formato de uma pera. O ponto mais elevado está a 1.719 metros de altitude, local conhecido como Pedra do Faraó, divisa entre os municípios de Silva Jardim, Cachoeiras de Macacu e Nova Friburgo. A bacia faz limite a oeste com a bacia da Guanabara, ao norte e nordeste com as bacias dos Rios Macaé e das Ostras e ao sul com as bacias do Rio Una e das lagoas de Araruama, Jacarepiá e Saquarema. Oito municípios integram o território da bacia do Rio São João. Os municípios de Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Casimiro de Abreu, Araruama, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Rio das Ostras estão parcialmente inseridos na bacia enquanto o município de Silva Jardim encontra-se completamente inserido, ocupando cerca de 44% de sua área.

O Rio São João é o rio principal da bacia de mesmo nome, apresenta comprimento de 120 km sendo à 55 km das nascentes até a represa de Juturnaíba, principal manancial de

abastecimento da Região dos Lagos, que encontra-se nos municípios de Silva Jardim e Araruama.

O uso da terra na bacia do Rio São João é caracterizado por cidades e áreas agrícolas e a cobertura vegetal é constituída por campos de altitude, florestas (ecossistema da Mata Atlântica), brejos, campos inundados, pastagens e restingas (BIDEGAIN; MICHAEL, 2003).

A Bacia Hidrográfica do Rio São João apresenta numerosas sub-bacias. Dentre elas destacam-se neste trabalho, a sub-bacia do Rio Bananeiras e a sub-bacia do Rio Valão da Caixa, afluente o Rio Capivari. Essas sub-bacias estão localizadas no município de Silva Jardim, sendo a primeira rural e a segunda parcialmente urbana (Figura 1).



Fonte: Mateus Nunes (2024).

Figura 1 - Localização da bacia do Rio São João e em destaque as sub-bacias do Rio Bananeiras e do Rio Valão da Caixa, considerando o município de Silva Jardim no estado do Rio de Janeiro.

A bacia do Rio Bananeiras está localizada no 2º Distrito do município de Silva Jardim, drena na direção Sul, possui área de 88,315 Km² e perímetro de 56,193 km (shapefile BH_Microbacias_Divisão_Espacial_RHVI_CILSJ_AGO_2013) (IBGE, 2023). O Rio Bananeiras é o rio principal da bacia e possui uma extensão de 17,7 km (gln_trecho_drenagem_25_silva_jardim) (IBGE, 2023). O Rio Bananeiras é um dos afluentes da margem esquerda do Rio São João.

A bacia do Rio Bananeiras é predominantemente uma bacia rural com área urbana restrita a 1,15 km². O uso e ocupação do solo é basicamente composto de pastagens, fragmentos florestais e cultivos agrícolas. As estradas são vicinais e de barro, muito usadas para o escoamento da produção.

Pereira *et al* (2023) realizou o estudo de vazão máxima da bacia do Rio Bananeiras, comparando as condições antes e depois de obras de intervenção, realizado pela prefeitura de Silva Jardim, em um trecho do Rio, localizado no perímetro urbano. Com o objetivo de avaliar as alterações acarretadas pela mudança proposta do curso, no que concerne a vazão máxima da sub-bacia hidrográfica junto ao Rio São João, utilizaram o método Racional. Compararam as vazões máximas estimadas em três condições. A primeira, de acordo com as informações contidas no *shapefile* de Microbacias Divisão espacial Região Hidrográfica VI CILSJ (2013), disponível no portal do GeoInea, informações geoespaciais do estado do Rio de Janeiro. A segunda, de acordo com as condições atuais do rio, observadas a partir de imagens de alta resolução, disponíveis no *Google Earth Pro*. A terceira, de acordo com o projeto de retificação apresentado pela Prefeitura. Após a análise dos dados, os autores concluíram que o método Racional não era o mais indicado, por apresentar limitações, como considerar a distribuição da chuva uniforme em toda a área, no espaço e no tempo. Os autores consideraram oportuno o uso de outros métodos para os cálculos do tempo de concentração e vazão máxima, a fim de verificar quais seriam os métodos mais adequados para aquelas condições.

Uma outra sub-bacia importante da Bacia do Rio São João no município de Silva Jardim é a bacia do Rio Capivari, localizada no distrito sede, local onde está concentrada a área urbana da cidade. Esta sub-bacia é dividida em algumas microbacias, em destaque a microbacia do Rio Valão da Caixa, que drena na direção nordeste, apresenta área de contribuição de 10,9 km² e perímetro de 16,9 km (*shapefile* BH_Microbacias_Divisão_Espacial_RHVI_CILSJ_AGO_2013) (IBGE, 2023). É uma microbacia mista, com área urbana de 4 km² e perímetro de 8,26 km e área rural de 6,81 km² e 18,9 km de perímetro.

O Rio Valão da Caixa é o rio principal da sub-bacia de mesmo nome, afluente do Rio Capivari e tem suas cabeceiras em colinas baixas, a sudoeste do município de Silva Jardim. Suas águas correm por entre colinas até desaguar no Rio Capivari, à jusante da área urbana.

O rio Valão da Caixa apresenta o comprimento de 6,97 km (*gln_trecho_drenagem_25_silva_jardim*) (IBGE, 2023) e seu curso médio encontra-se em

zona urbanizada, sob forte influência de ocupação marginal, apresentando pontos de restrição de passagem da água através das pontes construídas nas vias urbanas. Existem dois bairros que sofrem com inundações (COBRADE 1.2.1.0.0) pelo transbordamento do Rio Valão da Caixa, os bairros de Nossa Senhora da Lapa e Biquinha (PLANCO, 2023/2024).

2.2. Tempo de Concentração

O tempo de concentração (TC) é um conceito da engenharia hidrológica que está relacionada à vazão máxima de uma bacia hidrográfica. Ele se refere ao tempo que uma gota de água leva para percorrer o caminho mais longo, ou seja, o tempo em que a água leva para se concentrar na saída da bacia após uma precipitação (TOMAZ, 2002).

Estabelecer o tempo de concentração é importante para o dimensionamento de sistemas de drenagem e controle de enchentes, pois ajuda a determinar o pico de vazão que ocorrerá em um determinado ponto da bacia após uma chuva intensa.

O TC pode ser influenciado por diversos fatores, como o tamanho e a forma da bacia, a cobertura vegetal, a topografia e as características do solo. O TC é calculado usando métodos empíricos ou modelos hidrológicos que levam em consideração esses fatores. A precisão na estimativa do TC é importante para o planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos, especialmente em áreas sujeitas a enchentes.

Silveira (2005) avaliou o desempenho de 23 fórmulas de TC em bacias urbanas e rurais. Para essa análise, utilizou dois conjuntos de bacias teste, um de bacias rurais e outro de bacias urbanas, cujo valor do TC era conhecido. O autor comparou os resultados das fórmulas com os TC's observados, calculando para cada uma o erro em cada bacia teste. Considerou valores percentuais do erro médio e do erro padrão. O erro médio (EM) avaliou a diferença percentual entre o tempo de concentração calculado (TCC) e o tempo de concentração observado (TCO), considerando adequados valores até 10%. O erro padrão (EP) corresponde à raiz quadrada da variância dos erros e foi considerado adequado até 30%. A partir desta análise, recomendou o uso das fórmulas, Corps Engineers (LINSLEY, 1967 e MOPU, 1987), Ven te Chow (DAEE', 1978 e MOPU (1987)), Onda Cinemática (PORTO, 1995 e KIBLER, 1982) e Kirpich (PORTO, 1995 e KIBLER, 1982) para Bacias rurais e Carter (MCCUEN *et al*, 1984), Schaake *et al* (SCHAAKE *et al*, 1967), Kirpich e Desbordes (DESBORDES, 1974) para bacias urbanas.

Pereira (2023) “comunicação pessoal”, usando os conjuntos de bacias teste usados por Silveira (2005), aplicou a técnica de regressão múltipla para o conjunto de bacias rurais e de

bacias urbanas, chegando a duas expressões para estimar os valores de TC, nessas duas condições.

Gericke e Smithers (2014), em um estudo realizado na África do Sul, afirmaram que apesar do TC ser frequentemente usado e ser necessário nas metodologias, é de suma importância que os parâmetros usados na efetuação dos cálculos sejam investigados quanto a sua origem, uma vez que o uso de variáveis de tempo inadequadas, pode impactar em diferenças de 10% ou mais nas estimativas e, ao trabalhar com uma pequena bacia, isso pode ser crítico, resultando em implicações socioeconômicas ou inviabilizar um projeto.

A Hidroscience (HYDROSCIENCE, 2022) é uma empresa que foi contratada pelo Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ) para efetuar estudos hidrológicos na bacia do Rio Capivari que abrange a microbacia do Rio Valão da Caixa. Em seu trabalho, baseado na recomendação de uso feito por Silveira (2005), utilizou a fórmula de Kirpich para calcular o TC.

2.3. Estudos das vazões máximas

A quantidade de água que passa através de uma seção transversal de um rio por unidade de tempo é denominada de deflúvio, caudal, descarga ou vazão. A vazão nunca é constante devido a diversos fatores, como a intensidade, duração e frequência das precipitações, condições de infiltração e permeabilidade do solo. A variação do volume de água em trânsito pela calha corresponde ao regime fluvial.

Os cálculos de vazão máxima na gestão das águas urbanas, podem ser usados para diferentes finalidades, como projetos de obras de drenagem, construção de pontes, dimensionamento de bacias de retenção de água de chuvas, sistemas de distribuição de água e esgoto, dentre outros. Segundo Fendrich (2008), a determinação da vazão máxima é fundamental para o dimensionamento adequado de obras hidráulicas já mencionadas, além de auxiliar na previsão de enchentes.

O conhecimento dos métodos de estimativa de vazão máxima também é relevante para a prevenção de desastres hidrológicos. Desta forma, modelos hidrológicos podem ser usados com a finalidade de prever eventos futuros, potencialmente danosos à sociedade, relacionados com o regime hídrico. Assim, são ferramentas que auxiliam os processos de tomada de decisão e na elaboração de políticas públicas, uma vez que permitem estimar e simular as condições que podem causar problemas ambientais, bem como, possíveis alternativas para atenuar impactos.

Existem diversos métodos disponíveis na literatura para a estimativa da vazão de projeto, ou seja, a vazão máxima associada a uma probabilidade de ocorrência e período de retorno (PRUSKI *et al.*, 2006) como o método Racional (DNIT, 2005), I-Pai-Wu (DAAE, 1999), Ven te Chow (WILKEN, 1978), Hidrograma, McMath (BATISTA; NOVAES; SANTOS, 2002), entre outros.

2.4. Métodos para cálculo de vazão máxima

Neste trabalho, serão mencionados os métodos Racional, Racional Modificado e I-Pai-Wu.

2.4.1. Método Racional

O Método Racional foi criado em 1851 por Willian Thomas Mulvany, para prever a vazão máxima decorrente de um evento de chuva (PORTO, 1995). Este é um método muito difundido para a determinação de vazões de pico em pequenas bacias hidrográficas, com área de até 2 Km², eventualmente, 5 Km² (TUCCI, 2000; LINSLEY; FRANZINI, 1964; PINTO *et al.*, 1976; PRUSKI *et al.*, 2004). A limitação de uso para pequenas bacias ocorre porque o método considera que a duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia, a precipitação é uniforme em toda a área, assim como a distribuição espacial e temporal. O método Racional não considera perdas iniciais, além disso, a dinâmica de aumento e redução da chuva não é levada em conta, considera-se uma intensidade única e a umidade antecedente da bacia também não é considerada. Segundo Franco (2004), essas hipóteses são razoáveis em bacias com pequeno tempo de concentração e, conseqüentemente, áreas pequenas que permitam considerar que o escoamento na bacia se torna permanente quando toda a bacia contribui para o escoamento direto. Apesar das limitações, é um método de grande aceitação, devido à sua simplicidade e resultados considerados satisfatórios, e é prática corrente nos projetos de drenagem em vias urbanas usar o método Racional mesmo para áreas maiores que 5 Km², valendo-se de um coeficiente de abatimento (Franco, 2004; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1983).

Para o uso do método Racional são necessárias informações sobre as características físicas da bacia como área, comprimento do talvegue, localização geográfica, uso do solo, desnível total, etc. A equação do método Racional estima a vazão máxima de escoamento de uma determinada área sujeita a uma intensidade máxima de precipitação, com um determinado tempo de concentração, a qual é apresentada na *Equação 1*, onde: Q = vazão

máxima de escoamento ($m^3.s^{-1}$); C = coeficiente de escoamento superficial; i = intensidade máxima de precipitação, ($mm.h^{-1}$). A = área de contribuição da bacia (ha).

(1)

O coeficiente de deflúvio ou de escoamento superficial, também chamado de *runoff* “C”, indica a porcentagem da água da chuva que não infiltra no solo, mas escorre pela superfície. O valor de “C” varia de acordo com o uso do solo e o grau de urbanização. Para áreas totalmente urbanizadas deve ser entre 0,50 e 1,00; para áreas parcialmente urbanizadas entre 0,35 e 0,50 e para áreas predominantemente rurais entre 0,20 e 0,35.

2.4.2. Método Racional Modificado

O método Racional Modificado é uma adaptação do método Racional tradicional que permite o uso em bacias maiores com áreas entre 0,5 e 1 km^2 segundo Fritsch (2013) e até 10 km^2 conforme IGAM (2010). Além dos dados usados no método tradicional, é acrescentado à fórmula o coeficiente de retardo “ n ”. O Coeficiente de retardo leva em consideração a declividade e a área da bacia e pode ser avaliado de duas formas (PINTO *et al.*, 1976):

Onde:

A = área da bacia (km^2)

n = coeficiente em função da declividade da bacia, sendo

$n = 4$ (BURLKI-ZIEGLER) para bacias de declividade inferior a 5/1000;

$n = 5$ (MCMATH) para declividades até 1/100;

$n = 6$ (BRIX) para declividades maiores que 1/100.

Ou

(3)

Onde:

L = comprimento do talvegue (km)

n = coeficiente em função da declividade da bacia, sendo

$n = 3,5$ para declividades fortes;

$n = 3,0$ para declividades médias;

$n = 2,5$ para declividades fracas.

O cálculo da vazão é feito com o uso da expressão:

(4)

2.4.3. Método I-Pai-Wu

O método I Pai Wu foi criado nos anos 1960, baseado em bacias hidrográficas norte americanas, para o cálculo de vazão de projeto em bacias de contribuição de até 30 km² (WU, 1963). No entanto, Dias *et al.* (2015) afirmam que o método pode ser aplicável para bacias de área entre 2 e 200 km². O método apresenta facilidade de aplicação sendo similar ao método Racional, entretanto, considera a distribuição espacial da chuva e a forma da bacia. Não considera perdas iniciais, distribuição temporal e umidade antecedente da bacia.

Os fatores avaliados são:

Área de drenagem (A); Comprimento da corrente principal (L); Inclinação média do talvegue (S) e fator de forma da bacia hidrográfica (F).

Na *Equação 5*, é apresentado matematicamente o método, onde Q = vazão (m³.s⁻¹); C = coeficiente de escoamento superficial; i = intensidade de precipitação (mm.h⁻¹); A = área da bacia (km²); K = coeficiente de distribuição espacial da chuva.

O coeficiente de escoamento superficial “C” para este método é obtido por meio da *Equação 6*, onde: C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional; C1 = coeficiente de forma, adimensional; C2 = coeficiente volumétrico de escoamento, adimensional; F = fator de forma da bacia, adimensional.

(5)

(6)

O método considera o efeito da forma da bacia no cálculo da vazão, cujo valor pode ser obtido a partir das equações 7 e 8.

(7)

(8)

Onde:

L = comprimento do talvegue, em km;

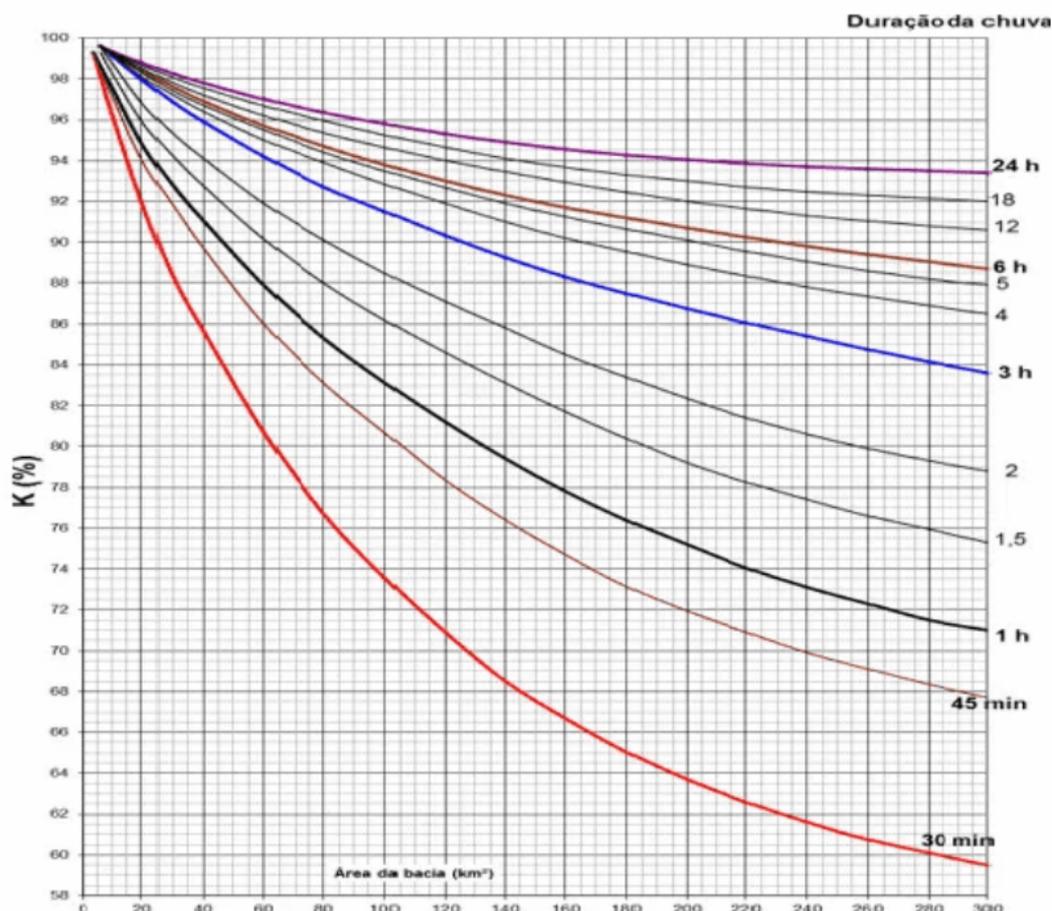
A = área da bacia, em km².

O coeficiente volumétrico “C2” é obtido em função do grau de impermeabilização da superfície. A Tabela 1 apresenta os valores do coeficiente “C2”. O coeficiente K, por sua vez, é obtido através do seguinte ábaco apresentado da Figura 2 (DAEE/SP, 1999).

Tabela 1. Coeficiente volumétrico para diferentes graus de impermeabilidade do solo

Grau de impermeabilidade	Coefficiente volumétrico “C ₂ ”
Baixo	0,3
Médio	0,5
Alto	0,8

Fonte: DAAE/SP (1999)



Fonte : DAAE/SP (1999)

Figura 2. Coeficiente de distribuição espacial de chuva “K”

2.5. Arborização Urbana como medida mitigadora do escoamento superficial e redução do pico de vazão.

A presença de árvores no ambiente urbano apresenta inúmeros benefícios em relação a drenagem urbana. Diversos autores afirmam que a arborização nas cidades atua na redução do escoamento das águas pluviais (ALVES; FORMIGA, 2019; WANG et al., 2008; CUNHA, 2018; DELLEUR, 2003; TUCCI; 2003; SILVA; SANTOS, 2018), além de outros serviços ambientais prestados pelas árvores como a melhoria da qualidade do ar, o armazenamento de carbono, fornecimento de sombra e melhora do efeito da ilha de calor urbano.

Especificamente sobre a drenagem urbana, as árvores nas cidades diminuem o escoamento das águas pluviais e protegem as águas superficiais do sedimento e da carga de nutriente. Atuam como mini reservatórios, ajudando a controlar as vazões de pico e a reduzir eventos extremos. Elas também aumentam a infiltração e armazenamento de água da chuva através de seu sistema radicular, reduzindo problemas de erosão do solo através da desaceleração das chuvas antes de atingir o mesmo (CUNHA, 2018; DELLEUR, 2003; TUCCI; 2003).

A utilização de árvores pode ser uma alternativa para a redução do escoamento superficial em área urbana, pois a presença delas reduz significativamente o escoamento superficial (WANG *et al.*;2008; ALVES; FORMIGA, 2019).

Alves e Formiga (2019) estudaram o efeito da cobertura arbórea sobre o escoamento superficial e sobre o atraso do pico de vazão ocasionado pela presença das árvores. Para tanto avaliaram o efeito da copa e das características da casca de três espécies, *Mangifera indica* (mangueira), *Handroanthus ochracea* (sin. *Tabebuia ochracea*) (ipê amarelo do cerrado) e *Licania tomentosa* (oiti) Esse estudo demonstrou que a cobertura arbórea é um fator importante na retenção de água e diminuição do escoamento superficial, sendo no entanto, variável segundo a espécie. Seus resultados sugerem que árvores com copas mais densas e troncos com casca rugosa retém mais água que copas menos densas e cascas lisas. Em estudo semelhante Silva e Santos (2018) avaliaram a interceptação da copa de árvores de três espécies da Mata Atlântica, *Alchornea triplinervea* (Tábua), *Peltophorum dubium* (Acácia amarela) e *Handroanthus heptaphylla* (sin. *Tabebuia heptaphylla*) (ipê roxo).

A criação de mais áreas verdes tem sido vista como uma resposta aos recentes chamados para uma urbanização mais ecológica, como forma de conciliar a necessidade de desenvolvimento urbano e de conservação ambiental. O uso de espaços verdes urbanos é cada vez mais identificado como uma ferramenta para reduzir o escoamento e assim mitigar os efeitos negativos da urbanização sobre a hidrologia das áreas urbanas (BARTENS *et al.*, 2008 *Apud* CUNHA, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo dos métodos de cálculo de vazão foi feito em duas sub-bacias hidrográficas, em ambiente rural e urbano, ambas pertencentes à bacia hidrográfica do Rio São João, Região Hidrográfica VI do Estado do Rio de Janeiro, município de Silva Jardim.

3.1. Bacias hidrográficas

A bacia rural escolhida foi a sub-bacia do Rio Bananeiras, localizada no 2º Distrito do município de Silva Jardim, RJ (Figura 1). A bacia urbana escolhida foi a sub-bacia do Rio Valão da Caixa, localizada no Distrito Sede do município de Silva Jardim, RJ (Figura 1).

Foi realizada análise morfométrica para obtenção dos dados a serem utilizados no cálculo de TC e das vazões máximas. Para tanto, foram avaliados os seguintes parâmetros: área (A, km²), perímetro (P, km), ponto mais elevado (Hmax, m), altitude do exutório (E, m), diferença de nível ($H = H_{max} - E$) (m), comprimento do canal principal (CP, km), complemento do talvegue, medido do final do canal principal até o ponto de maior altitude (CT, Km), comprimento do talvegue ($L = CP + CT$), comprimento total dos canais (Lc, km) (Portal Geoinea), densidade de drenagem ($DD = Lc/A$), índice de circularidade ($IC = 12,57A/P^2$), ordem da microbacia (STRAHLER, 1952 apud MENEZES; SALGADO, 2019), comprimento do eixo maior da bacia (Le, km), índice de forma ($F = A/Le^2$), declividade média ($Dm \% = 100 * H/L$).

3.2. Cálculo do tempo de concentração

Para o cálculo do tempo de concentração foram usadas sete fórmulas recomendadas por Silveira (2005): Corps Engineers (LINSLEY, 1967 e MOPU, 1987), Ven te Chow (DAEE, 1978 e MOPU (1987)), Onda Cinemática (PORTO, 1995 e Kibler, 1982) e Kirpich (PORTO, 1995 e KIBLER, 1982) recomendadas para bacias rurais. Para as bacias urbanas, considerou-se as equações de Carter (MCCUEN *et al*, 1984), Schaake (SCHAAKE *et al*, 1967), Kirpich e Desbordes (DESBORDES, 1974). Apesar da recomendação das fórmulas especificar bacias rurais e urbanas, todas foram utilizadas em ambas as bacias para fins de comparação.

Além dessas fórmulas, Pereira (2023) desenvolveu pelo método de regressão múltipla, utilizando os dados das bacias testes apresentados por Silveira (2005), equações para as bacias rurais e outra para bacias urbanas, incluídas no estudo. A Tabela 2 apresenta as expressões matemáticas usadas para estimar o tempo de concentração das bacias estudadas.

Tabela 2. Expressões usadas para estimar o tempo de concentração para bacias rurais (R) e urbanas (U), por ordem de adequação, segundo Silveira (2005).

Designação	Expressão
Bacias Rurais	
1 - Corps Engineers	$T_c = 0,191 \cdot L^{0,76} \cdot S^{-0,19}$
2 - Ven te Chow	$T_c = 0,160 \cdot L^{0,64} \cdot S^{-0,32}$
3 - Onda Cinemática	$T_c = 7,35 \cdot n^{0,6} \cdot i^{-0,4} \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3}$
4 - Kirpich	$T_c = 0,0663 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$
Bacias urbanas	
1 - Carter	$T_c = 0,0977 \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3}$
2 - Schaake et al	$T_c = 0,0828 \cdot L^{0,24} \cdot S^{-0,16} \cdot A_{imp}^{-0,26}$
3- Kirpich	$T_c = 0,0663 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$
4 - Desbordes	$T_c = 0,0869 \cdot A^{0,3039} \cdot S^{-0,3832} \cdot A_{imp}^{-0,4523}$

TC – Tempo de Concentração (h); L- Comprimento do Talvegue (m); S- Inclinação (%); i –Intensidade da chuva (mm.h⁻¹); n – rugosidade; A – Área (Km²); e Aimp – Área impermeável (%).

A Tabela 3 apresenta as expressões para o tempo de concentração, obtidas pelo método da regressão múltipla, com base nos dados das bacias teste rural e urbana apresentadas por Silveira (2005).

Tabela 3. Expressões para o cálculo do tempo de concentração obtidas pelo método da regressão múltipla com base nos dados das bacias teste rural e urbana apresentadas por Silveira (2005).

Designação	Expressão
Bacias Rurais	
Regressão rural	$T_c = 0,2584741711 \cdot A^{0,160644} \cdot L^{0,47847} \cdot S^{-0,1109}$
Bacias urbanas	
Regressão urbana	$T_c = 0,351533 \cdot A^{-0,05812} \cdot A_{imp}^{-0,47227} \cdot L^{0,676834} \cdot S^{-0,4214}$

3.3. Intensidade de chuvas

A Intensidade de chuva foi calculada pelas expressões segundo Davis e Naghettini (2000), para a região 2, descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Expressões para o cálculo de intensidade de chuva segundo Davis e Naghettini, 2000.

Condições de uso	Intensidade de chuva
para $T \leq 100$ e $1h \leq d \leq 24h$ I	
para $T \leq 100$ e $5min \leq d < 1h$ II	

$i_{T,d}$ é a estimativa da intensidade da chuva de duração d associada a um período de retorno T em um local j (mm.h⁻¹).
 d é a duração da precipitação (min). • P_j é a precipitação média anual (mm) no local j . • $\mu T, d$ é o quantil adimensional regional.

Para o uso dessas expressões, d foi considerado igual ao tempo de concentração, TC, T foi considerado 10 anos, o valor P_j foi estimado com base em um mapa Isoietal e o valor $i_{T,d}$ foi obtido a partir da tabela 10 de Davis e Naghettini (2000).

A expressão I foi usada em conjunto com os métodos Corps Engineers, Ven te Chow, Onda Cinemática, Kirpich, Desbordes, Regressão R e Regressão U, já que nesses casos o

valor de TC foi maior que a unidade. A expressão II foi usada em conjunto com o método Schaake *et al*, já que nesse caso o valor de TC foi inferior a uma hora.

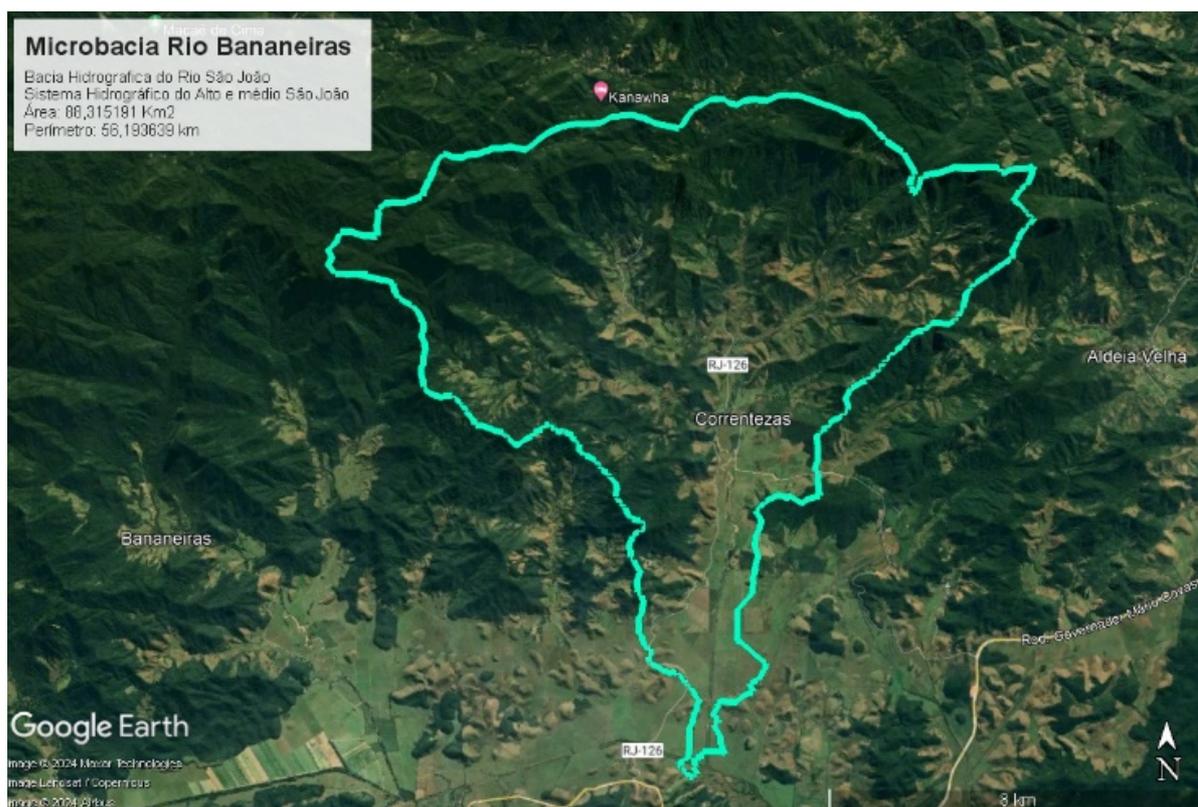
3.4. Cálculo de vazões máximas

As vazões máximas foram calculadas pelos métodos, Racional, Racional Modificado e I-Pai-Wu, utilizando para o tempo de concentração as fórmulas recomendadas por Silveira (2005), além das fórmulas obtidas pelo estudo da regressão múltipla (Pereira, 2023). Foi utilizado o tempo de retorno de 10 anos e os resultados obtidos foram comparados e analisados levando-se em consideração as características físicas e a localização das bacias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Bacia do Rio Bananeiras

A figura 3 apresenta a localização da microbacia do Rio Bananeiras, a partir de imagens de alta resolução extraídas do *Google Earth Pro*.



Fonte: Google Earth Pro (2024).

Figura 3. Localização da microbacia do Rio Bananeiras, 2º Distrito de Silva Jardim, Rio de Janeiro.

O conhecimento das características físicas da bacia em que se pretende trabalhar, como área de contribuição, comprimento de rio principal e declividade, é importante tanto para a escolha do método de cálculo de TC, quanto para o cálculo de vazão máxima. A Tabela 5 apresenta as características físicas da microbacia do Rio Bananeiras, com os dados usados para o cálculo dos diferentes tempos de concentração.

Diante de numerosas fórmulas de cálculo de TC, existem grupos recomendados para o uso em bacias rurais e grupos recomendados para o uso em bacias urbanas ou mistas. No caso da bacia do Rio Bananeiras, que é uma bacia rural, observa-se que o maior TC foi obtido pelo método Desbordes (3,94 h) e o menor TC pelo método Schaake *et al.* (0,57 h) (Tabela 6), ambos recomendados para bacias urbanas com tamanhos de até 51 km² e 1km², respectivamente (Silveira, 2005). Tamanha variação interfere muito na obtenção de valores de vazões máximas estimadas, pois quanto maior o valor de TC, mantidas as demais condições,

menor a vazão máxima e vice e versa. Gericke e Smithers (2014), enfatizaram a importância do conhecimento dos parâmetros usados para o cálculo de TC, uma vez que o uso de variáveis de tempo inadequadas, pode impactar nas estimativas e isso pode ser crítico, resultando em implicações socioeconômicas ou inviabilizar um projeto.

Tabela 5. Análise física da sub-bacia do Rio Bananeiras, Silva Jardim, RJ.

Parâmetro	Valor
Área da bacia (A) (km ²),	88,315
Perímetro (P) (km)	56,193
Ponto mais elevado (H _{max})(m)	1.042
Altitude do exutório (E) (m)	20
Diferença de nível (H) (m) Hmax-E	1.022
Comprimento do canal principal (CP) (km)	17,7
Complemento do talvegue (CT) (km)	0,254
Comprimento do talvegue (L) (km) (L=CP+CT)	17,954
Comprimento total dos canais (Lc) (km)	243,692
Densidade de drenagem (DD) (km.km ⁻²) (DD = Lc/A)	2,759
Índice de circularidade (IC) (IC = 12,57*A/P ²)	0,3515
Ordem da microbacia	4
Comprimento do eixo maior da bacia (Le) (km)	15
Índice de Forma (F) (F=A/Le ²)	0,5225
Declividade média (Dm) (%) (100*H/L)	5,69
Orientação geográfica	Sul
Precipitação pluviométrica (mm), anual	2.351,8
Coefficiente de escoamento	0,3
Tempo de Retorno (anos)	10
Rugosidade,	0,03
Intensidade (mm/h)	35
Área impermeável, (%)	5

Outro fator a ser considerado para a escolha do melhor método de cálculo de TC é o conhecimento da área de contribuição da bacia. Em seu estudo, Silveira (2005) recomendou o uso dos métodos Corps Engineers para áreas até 11.162 km² e Onda Cinemática e Ven Te Chow para áreas entre 6 e 11.162 km². Já para o uso do método de Kirpich, é recomendado tanto para bacias urbanas, quanto para bacias rurais. No entanto, Silveira (2005), não testou a faixa correspondente à área de contribuição do Rio Bananeiras (88 Km²) e sim áreas entre 153 e 11.162 Km² para bacias rurais. O mesmo autor recomenda o uso do método de Kirpich em bacias urbanas com áreas entre 0,04 e 26 km².

Existe ainda a limitação da declividade para o uso de algumas expressões de TC. A bacia do Rio Bananeiras apresenta uma declividade de 5,6%, que segundo Silveira (2005), limita o uso apenas do método Carter, que é indicado para bacias de até 0,05% de declividade.

Outro atributo a ser considerado na escolha do método de TC é o conhecimento do formato da bacia, que no caso em questão é classificada como alongada ($F = 0,52$). Segundo a interpretação de Oliveira *et al* (2010), esse fator sugere que é uma bacia com tendência mediana a enchentes (F com valores entre 0,75 a 0,50). O índice de circularidade ($IC = 0,35$) também indica que a bacia do Rio Bananeiras é alongada. A forma alongada da bacia promove a chegada de toda a água da bacia até o exutório de uma forma mais lenta, se comparada com a forma circular. Considerando uma mesma área, a forma alongada apresenta TC maior que a forma circular. Essa característica por si, indica que a bacia do Rio Bananeiras não é muito propensa a ter grandes enchentes. No entanto, a forma da bacia só é considerada no método I-Pai-Wu.

Analisando os parâmetros contidos em cada fórmula, observa-se que o cálculo de TC utiliza basicamente os valores do comprimento do Talvegue do rio principal (L) e a declividade do talvegue principal (S), mas existem alguns métodos que utilizam o valor da área da bacia. Nas fórmulas de Schaake *et al.*, Desbordes e Regressão Urbana, recomendadas para uso em bacias urbanas, é considerada a fração de área impermeável (Aim). A fórmula de Schaake *et al.* utiliza o comprimento do rio principal, a fórmula de Desbordes, o valor da área da bacia e a fórmula de Regressão Urbana, o comprimento do rio principal e a área da bacia. No primeiro caso, o valor de TC foi o menor, na Regressão o valor foi intermediário e na fórmula de Desbordes, o valor foi maior (Tabela 6).

A adição de Aim tende a diminuir o valor de TC, ou seja, aumentar a vazão no ponto de exutório. O valor de fração de área impermeável é importante para a estimativa em áreas urbanas, pois o solo, com as ações antrópicas, tende a tornar-se mais impermeável e essa condição aumenta a porção de escoamento superficial da bacia, bem como a velocidade da água, diminuindo o TC da água dentro da bacia.

Observando os valores de TC (Tabela 6) obtidos pelo método de Kirpich, que originalmente foi utilizado para pequenas bacias agrícolas (MOTA; KOBAYAMA, 2015), o valor de 1,85 h é menor que os métodos Regressão para Bacia Urbana (2,99 h), Corps Engineers (2,96 h), Regressão para Bacia Rural (2,91 h), Onda Cinemática (2,89 h) e Ven te Chow (2,54 h). Isso sugere que as vazões estimadas, independente dos métodos utilizados,

serão menores para Regressão Urbana, Corps Engineers, Regressão Rural, Onda Cinemática e Ven te Chow.

Apesar do método de Kirpich ser inicialmente usado para bacias pequenas e agrícolas, Silveira (2005), afirma que esse método pode ser usado tanto em bacias urbanas quanto em bacias rurais com áreas de até 11.162 km², dados esses validados por bacias teste.

Assim, a escolha do método de cálculo de TC passa a ser subjetiva, de bom senso, considerando as características do local, uso e ocupação do solo e a finalidade do estudo, para que não ocorram problemas socioeconômicos ou de inviabilização de projetos decorrentes do superdimensionamento de estruturas.

Analisando a bacia do Rio Bananeiras pode-se afirmar que ela é do tipo rural, amplamente manejada pelo homem, por obras de retificação do Rio Bananeiras e manejo do solo, com grandes áreas de pasto e cultivo agrícola, áreas de floresta na parte mais alta e fragmentos florestais nas regiões de baixada. O acesso é feito por estradas vicinais (de chão batido) e a densidade demográfica é baixa, com área destinada a zona urbana de 1,5 km², área essa que ainda não foi totalmente ocupada, permanecendo grandes áreas descampadas. Isso significa que a capacidade de infiltração de água no solo é bem maior que se uma mesma área tivesse características de bacia urbana.

Diante de tudo o que foi dito, nas condições da bacia do Rio Bananeiras não é justificável escolher um método de TC que promova uma estimativa de vazão muito alta. Pois estimativas de TC baixas promoverão valores de vazão máxima de alto valor. Se a finalidade do estudo for o planejamento de obras de infraestrutura, esse resultado oneraria muito os cofres do poder público, com o superdimensionamento de estruturas. Caso a finalidade fosse a indicação de alerta de cheia, esse seria desacreditado por superestimar uma condição de desastre.

Tabela 6. Intensidade de chuva calculada pelas expressões e segundo Davis e Naghettini (2000).

Fórmula de TC	TC (h)	TC (min)	i_d (mm/h)	
Bacias Rurais				
1 - Corps Engineers	2,96	177,35	1,45	25,10
2 - Ven te Chow	2,5	152,49	1,45	28,16
3 - Onda Cinem.	2,89	173,38	1,45	25,54
4 - Kirpich	1,85	110,81	1,44	35,91
Bacias Urbanas				
1 - Carter	1,31	78,38	1,35	99,02
2 - Schaake et al**	0,57	34,25	1,42	20,16
3- Kirpich	1,85	110,81	1,45	25,44
4 – Desbordes	3,94	236,59	1,45	24,86
Regressões				
Regressão R	2,91	174,30	1,45	25,10
Regressão U	2,99	179,59	1,45	28,16

Por outro lado, temos observado por meio das mídias sociais desastres decorrentes das mudanças climáticas que indicam que eventos severos de precipitação não estavam previstos no dimensionamentos de obras hidráulicas, sinalizando subdimensionamento dessas obras. Recentemente, observaram-se rompimento de barragens e levantamento de pontes, em destaque, a do Rio Taquari que ligava as cidades de Arroio dos Ratos e Eldorado na BR-290, no município de Rio Pardo, na região dos Vales, Rio Grande do Sul.

Esse foi apenas um exemplo da tragédia no Estado do Rio Grande do Sul ocasionada pela associação de eventos climáticos como chegada da Massa Polar Atlântica (MPA), que é fria e úmida, que foi “bloqueada” por uma área de alta pressão localizada na região central do Brasil.

Estudando os valores de vazão máxima obtidos, a partir de todos os dados de TC, observam-se que em todos os casos o método Racional foi aquele com maiores valores (Tabela 7). Esse resultado já era esperado, já que esse método não é recomendado para o uso em bacias maiores que 2 km². É um método que considera a duração da chuva igual ao TC da bacia, a precipitação uniforme em toda a área de contribuição e distribuição espacial e temporal uniforme. Isso tende a ser verdadeiro apenas no caso de bacias de pequenas dimensões. No entanto, a bacia do Rio Bananeiras possui 88 km², portanto, os parâmetros uniformidade de precipitação, distribuição temporal e espacial apresentam variação e devem ser considerados. A intensidade e a duração da chuva também devem ser levadas em conta, pois não é igual na área toda.

Tabela 7. Vazão máxima calculada (m³.s⁻¹) para os diferentes métodos de TC, Corps Engineers, Ven te Chow, Onda Cinemática, Kirpich, Carter, Schaake et al, Desbordes, Regressão Rural e Regressão Urbana.

Fórmula de TC	Racional	Racional Modificado	I Pai Wu
Bacias Rurais			
1 - Corps Engineers	184,75	40,64	70,46
2 - Ven te Chow	207,25	45,59	79,04
3 - Onda Cinem.	187,96	41,34	71,69
4 - Kirpich	264,25	58,12	100,78
Bacias Urbanas			
1 - Carter	343,91	75,64	131,16
2 - Schaake et al	728,76	160,29	277,94
3- Kirpich	264,25	58,12	100,78
4 - Desbordes	148,37	32,63	56,59
Regressões			
Regressão R	187,20	41,18	71,40
Regressão U	182,99	40,25	69,79

De acordo com os fatores de correção aplicados ao método Racional, como é no caso do Racional Modificado e do I-Pai-Wu, o valor da vazão tende a diminuir. No método Racional Modificado é considerado o coeficiente de retardo, que é dependente da área de

contribuição e da inclinação da bacia. No método I-Pai-Wu, é considerado o efeito da forma, o coeficiente volumétrico de escoamento e ainda, o valor K, que relaciona a área da bacia com a duração da chuva.

Esses valores aplicados a estas fórmulas têm por objetivo retirar o erro devido a não uniformidade da área, que ocorre no método Racional. A diferença nos valores pode ser melhor observada na figura 4, que apresenta o gráfico de distribuição de vazão pelos métodos de TC utilizados.

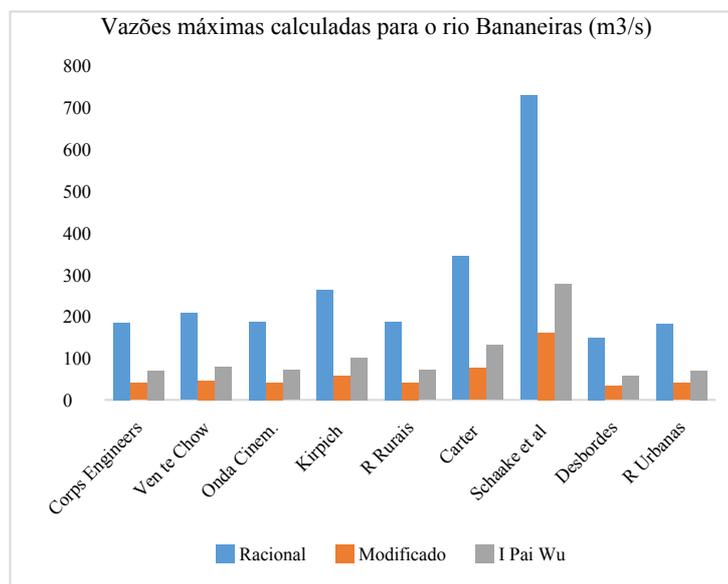


Figura 4. Vazões máximas para a bacia do Rio Bananeiras calculadas pelos diferentes métodos de TC.

O método Racional obteve maiores valores de vazão seguido do método I-Pai-Wu e do método Racional Modificado independente do TC utilizado. As vazões máximas obtidas a partir de TC pelo método Schaake *et al* foram as que obtiveram maiores valores. Isso ocorreu também por conta do valor de TC que foi menor que os demais métodos utilizados.

Para analisar a viabilidade de utilização dos métodos, observa-se que o método I-Pai-Wu, quando aplicado utilizando TC indicados para bacias rurais e ainda, TC de regressão rural e regressão urbana, apresentou valores de vazão máxima bem próximos, a saber, Kirpich (100,78), Ven te Chow (79,04), Onda Cinemática (71,69), RR (71,40), Corps Engineers (70,46) e RU (69,79). Este é um método que considera a distribuição da chuva dentro da bacia e é indicado para uso em bacias de até 200 km².

Apesar dos valores elevados de vazão, o método Racional é muito utilizado pelos profissionais de engenharia justamente por apresentar valores mais desfavoráveis. Esses valores são utilizados no dimensionamento pelos órgãos de drenagem para garantir maior

segurança, no caso de eventos adversos de precipitação (SIQUEIRA *et al*, 2023). No caso da bacia do Rio Bananeiras que apresenta condições favoráveis à infiltração da água no solo, baixa densidade populacional, a escolha do método Racional não teria justificativa, sendo indicado um método I-Pai-Wu, que é recomendado para a área de contribuição da bacia de até 200 Km².

O método Racional Modificado apresentou menores valores de vazão para todos TC, devido ao coeficiente de retardo empregado à fórmula, que reduziu cerca de 350% os valores de vazão. Isso deixa claro que a escolha de um método de cálculo de vazão para o planejamento financeiro de uma obra deve ser feita com muito critério.

4.2. Bacia do Valão da Caixa.

A figura 05 apresenta a localização da sub-bacia do Rio Valão da Caixa, a partir de imagens de alta resolução extraídas do *Google Earth Pro*.

A bacia do Rio Valão da Caixa apresenta características diferentes da bacia do Rio Bananeiras, seja pela área de contribuição, seja pelas condições de relevo ou pelo uso e ocupação do solo. A área de contribuição é de 10,8 km², a bacia apresenta comportamento misto, rural à montante e urbana à jusante, abrangendo uma fração do centro da cidade. A diferença de nível é de apenas 67 m e a declividade é menor que 1%. A Tabela 8 apresenta a análise física da bacia e os dados básicos usados para o cálculo do TC do Rio Valão da Caixa.



Fonte: Google Earth Pro (2024)

Figura 5. Localização da sub-bacia do Rio Valão da Caixa, Distrito Sede de Silva Jardim, Rio de Janeiro.

Assim como na bacia do Rio Bananeiras, todas as fórmulas para cálculo de TC foram testadas, como é observado na tabela 09.

Tabela 8. Análise física da microbacia do Rio Valão da Caixa, Silva Jardim, RJ.

Parâmetro	Valor
Área da bacia (A) (km ²),	10,836
Perímetro (P) (km)	17,192
Ponto mais elevado (H _{max})(m)	81
Altitude do exutório (E) (m)	14
Diferença de nível (H) (m) Hmax-E	67
Comprimento do canal principal (CP) (km)	6,97
Complemento do talvegue (CT) (km)	0
Comprimento do talvegue (L) (km) (L=CP+CT)	6,97
Comprimento total dos canais (Lc) (km)	33,17
Densidade de drenagem (DD) (km.km ⁻²) (DD = Lc/A)	3,061
Índice de circularidade (IC) (IC = 12,57*A/P ²)	0,461
Ordem da microbacia	3 ^a
Comprimento do eixo maior da bacia (Le) (km)	5,99
Índice de Forma (F) (F=A/Le ²)	0,302
Declividade média (Dm) (%) (100*H/L)	0,961
Orientação geográfica	Oeste-Leste
Precipitação pluviométrica (mm),	1.350
Coefficiente de escoamento	0,30
Tempo de Retorno (anos)	10
Rugosidade,	0,03
Intensidade (mm/h)	35
Área impermeável, (%)	18

Tabela 9. Intensidade de chuva calculada pelas expressões e segundo Davis e Naghettini (2000).

Fórmula de TC	TC (h)	TC(min)		(mm/h)
Bacias Rurais				
1 - Corps Engineers	2,02	121,14	1,44	35,40
2 - Ven te Chow	2,45	147,04	1,45	30,69
3 - Onda Cinem.	2,79	167,56	1,45	27,79
4 - Kirpich	1,77	106,06	1,44	38,96
Bacias Urbanas				
1 - Carter	1,26	75,75	1,41	49,45
2 - Schaake et al	0,43	26,00	1,34	94,41
3- Kirpich	1,77	106,06	1,44	38,96
4 - Desbordes	2,31	138,51	1,45	32,09
Regressões				
Regressão R	1,61	96,38	1,43	41,71
Regressão U	2,06	123,57	1,44	34,90

O maior TC foi obtido pelo método Onda Cinemática (2,79 h) e o menor TC pelo método Schaake *et al* (0,43 h), onde o primeiro é recomendado para bacias rurais com tamanhos entre 6 a 11.162 km² e o segundo, para bacias urbanas com área de 0,6 km² (SILVEIRA, 2005). Vale ressaltar que o mesmo autor também testou o método Onda Cinemática em bacias urbanas com área de contribuição de até 0,025 km², porém o autor não recomendou o uso devido aos erros avaliados EM de 34% e EP de 52%.

Analisando os métodos de cálculo de TC recomendado para uso em bacias urbanas, todos os métodos testados se adequam a área de contribuição para a bacia do Rio Valão da Caixa, com exceção do método Schaake *et al* que é indicado para bacias menores. Silveira (2005) recomenda o uso da fórmula de Carter, seguido da fórmula de Kirpich e por último, Desbordes, mais em função de sua aplicabilidade a bacias com área da ordem de 50 km², do que pelo seu desempenho (EM de 11%).

O TC calculado através de Kirpich apresentou o segundo maior valor entre aqueles de uso em bacias urbanas. Ora, esse método é segundo Silveira (2005), recomendado para o uso em bacias de área de contribuição de até 26 km², sendo portanto, compatível com a área da bacia do Rio Valão da Caixa (10 km²).

O Rio Valão da Caixa se encontra em seu curso médio em zona urbanizada, sob forte influência de ocupação marginal, apresentando pontos de restrição de passagem da água através das pontes construídas nas vias urbanas, sem planejamento. Existem dois bairros que sofrem com inundações do Rio Valão da Caixa, os bairros de Nossa Senhora da Lapa e Biquinha, provavelmente devido à falta de planejamento das obras, com a colocação de manilhas subdimensionadas.

A tabela 10 apresenta os valores de vazão máxima para os métodos Racional, Racional Modificado e I-Pai-Wu obtidos a partir dos cálculos de TC.

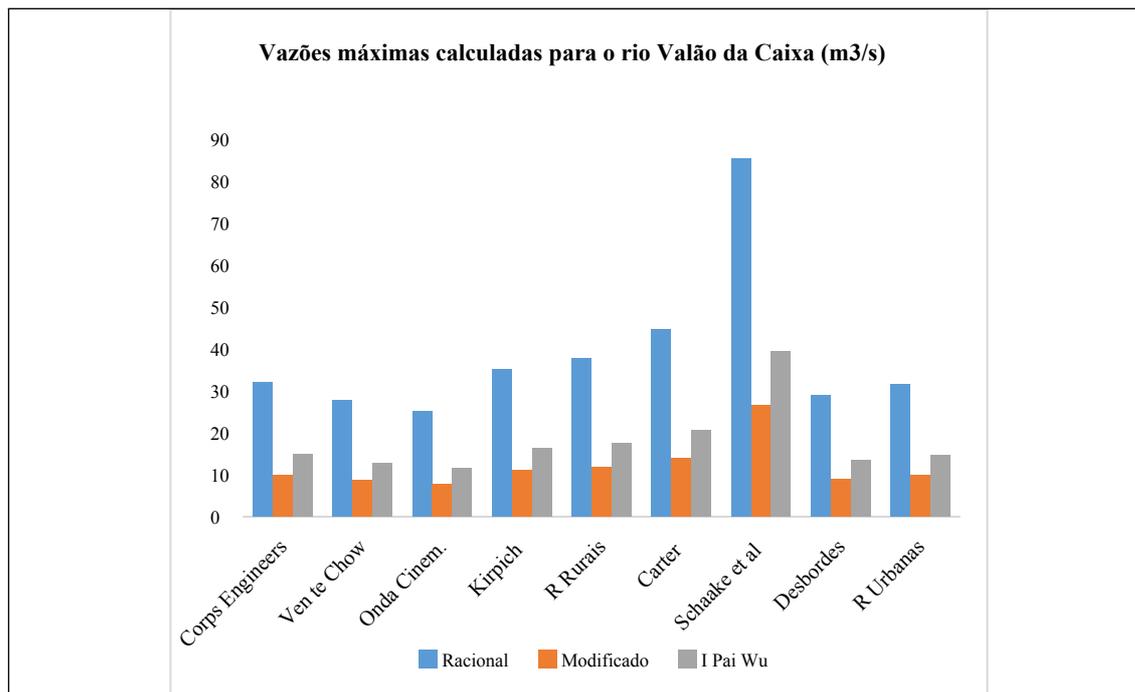
Tabela 10. Vazão máxima calculada para o Valão da Caixa, Silva Jardim, Rio de Janeiro.

Fórmula de TC	Racional	Racional Modificado	I Pai Wu
Bacias Rurais			
1 - Corps Engineers	31,97	9,98	14,78
2 - Ven te Chow	27,72	8,65	12,81
3 - Onda Cinemática	25,09	7,83	11,60
4 - Kirpich	35,18	10,98	16,27
Bacias Urbanas			
1 - Carter	44,66	13,93	20,64
2 - Schaake et al	85,26	26,60	39,41
3- Kirpich	35,18	10,98	16,27
4 - Desbordes	28,98	9,04	13,40
Regressões			
1- Regressão R	37,67	11,75	17,41
2- Regressão U	31,51	9,83	14,57

O método Racional aparece com os maiores valores de vazão máxima, seguidos do I-Pai-Wu e Racional Modificado. O resultado se repete, agora com a diferença entre o método Racional e o Racional Modificado de cerca de 220%. A redução da porcentagem de diferença deve-se ao valor diferente do coeficiente de retardo, que é função da área e da inclinação da bacia, que são menores que do rio Bananeiras. Mesmo assim, a diferença ainda é grande para

uma decisão de execução de um projeto que pode ser superdimensionado pelo método Racional.

A figura 6 apresenta o gráfico de comparação das vazões dentro de cada método de TC estudado.



Vazões máximas para a bacia do Valão da Caixa calculadas pelos diferentes métodos de TC.

Silveira (2005) recomenda o uso da fórmula de Carter para bacias urbanas. Analisando os valores da vazão, em relação a fórmula de Kirpich, observa-se que são maiores, $20,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ versus $16,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, no método I-Pai-Wu. Sendo assim, o custo a ser empregado em infraestruturas hidráulicas é maior, no entanto, poderá garantir maior segurança socioeconômica à população. No entanto, neste trabalho, recomenda-se o uso do método de Kirpich para o cálculo de TC para a bacia do Rio Valão da Caixa, em primeiro lugar por ser recomendado por Silveira para bacias com essas dimensões, segundo, por apresentar valores intermediários, o que oferece uma estimativa mais razoável para as vazões máximas, combinando maior segurança e economia no dimensionamento de projetos hidráulicos e confiança nas previsões de eventos adversos de precipitação.

Ao todo foram estudadas duas sub-bacias com características bem diferentes, seja pela área de contribuição, seja pela topografia. A bacia do rio Bananeiras apresenta uma área de mais de 88 km^2 enquanto a bacia do Rio Valão da Caixa apresenta um pouco mais de 10 km^2 . A bacia do Rio Bananeiras é considerada uma bacia rural, enquanto a bacia do Rio Valão da Caixa é mista. Analisando as características fisiográficas, ambas as bacias não são propensas a

enchentes, sendo a ocorrência delas (enchentes) atribuídas às condições climáticas adversas e ao uso e ocupação do solo.

Foram comparados diferentes métodos de estimativa de tempo de concentração nessas duas bacias. Tanto os métodos recomendados por Silveira (2005) para bacias urbanas quanto para bacias rurais foram testados em ambas as bacias. Os valores encontrados foram muito diferentes.

Deve-se considerar que a aplicação desses métodos leva a erros na estimativa, quer seja abaixo ou acima do valor admitido de risco, devendo-se procurar aquele mais adequado para as circunstâncias e que, presumivelmente, levará aos menores erros. A consequência é a ocorrência de obras sub ou superdimensionadas. No caso de obras subdimensionadas, a causa está na ocorrência de um evento de maior magnitude, o que poderá acarretar em prejuízos econômicos, danos à estrutura física e em casos mais graves até perdas de vida. Silva (2006) afirma que obras superdimensionadas conduzem a um desperdício de capital, uma vez que o dimensionamento pressupõe eventos cuja probabilidade de ocorrência é extremamente rara, refletindo em uma relação custo-benefício desfavorável. Contudo, como já relatado, recentemente, eventos extremos do clima afetaram seriamente um Estado do País, que culminou em centenas de mortes e milhares de desalojados.

A escolha do método e o planejamento devem ser associados a técnicas de drenagem sustentáveis, como a recuperação de ambientes saudáveis tanto nas áreas urbanas como fora delas, usando técnicas apropriadas para cada situação sem ficar limitada ao uso das técnicas convencionais, como obras de infraestrutura (OLIVEIRA; GALLARDO, 2022).

A ideia é integrar com obras de infraestrutura e soluções não convencionais para melhorar a gestão hídrica e promover o controle das inundações. Usar técnicas que promovem o amortecimento e maior infiltração da água para reduzir o volume de escoamento superficial e o pico de cheias.

A inserção de Soluções baseadas na Natureza (SbN) em projetos de planejamento urbano tem sido cada vez mais difundida, a partir da percepção dos diversos benefícios que podem trazer para o contexto urbano. Alguns dos mecanismos de SbN direcionado para controle de inundações que são propagados nas grandes metrópoles são, telhados verdes, jardins de chuva e valetas de biorretenção (EMILSSON; SANG, 2017), além da inclusão da arborização urbana no planejamento das cidades.

Esta última, segundo os autores Alves e Formiga (2019); Wang *et al.* (2008); Cunha (2018); Delleur (2003); Tucci (2003); Silva e Santos (2018), interfere diretamente no

escoamento superficial e no pico de vazão, mitigando efeitos adversos decorrentes de precipitações intensas.

Alves e Formiga (2019) constataram que a cobertura das árvores pode reduzir o escoamento superficial e conseqüentemente o pico de vazão em relação aos ambientes sem cobertura arbórea. Esta condição é capaz de alterar o coeficiente de escoamento superficial e também de ampliar o tempo de concentração local. Observaram que em campo aberto e com superfície impermeável o coeficiente de escoamento superficial foi 84%, já sob a copa das árvores foi de 49,9% para o Ipê, 59% para a Mangueira e 62,2% para o Oiti. Esses autores trabalharam com uma pluviosidade baixa de 17,1mm, o que não permitiu uma comparação no caso de solo permeável ou semipermeável, já que nesses casos o valores de escoamento superficial foram todos desprezíveis, abaixo de 1,8%.

Em relação ao uso e a ocupação do solo e também sobre a cobertura do solo, pode-se afirmar que são componentes com características dinâmicas, que estão em constante modificação, conforme o grau de antropização e de manejo. Essa variação pode modificar o tempo de concentração das bacias e alterar a vazão da área.

No caso do município de Silva Jardim, onde as principais atividades são o turismo, agricultura e pecuária e não existem grandes indústrias nem áreas de grande impermeabilização do solo, o problema maior é a ocupação desordenada de pessoas próximos as áreas de drenagem e também, de obras de estrutura e de drenagem mal dimensionadas que represam a água das chuvas.

A aplicação das SbN pode interferir nos valores do TC, pois atuam diretamente na taxa de infiltração do solo e escoamento superficial, ou seja, podem mitigar o efeito da impermeabilização do solo decorrente do desenvolvimento urbano. Apesar da afirmativa, neste trabalho não foram comparados cenários com e sem soluções baseadas na natureza, foram utilizados valores de coeficiente de escoamento superficial obtidos na literatura e ponderados, de acordo com a proporção de cobertura do solo.

O objeto de estudo foram as equações que estimam a vazão máxima baseadas em teorias de probabilidade de eventos de precipitação e que todas elas consideram características fisiográficas da bacia, e pouco das características do uso e cobertura do solo. Nas fórmulas é avaliado apenas o componente C, que nas expressões para o cálculo do método Racional e Racional Modificado, consideram o valor de escoamento superficial (grau de impermeabilização) baseada em uma tabela. Já no método I-Pai-Wu, são considerados valores de escoamento superficial (grau de impermeabilização) associado ao fator de forma da bacia.

Sendo o uso e a ocupação do solo, a cobertura do solo, variáveis dependentes do manejo humano, as SbNs podem contribuir para alterar as variáveis que vão estar relacionadas com o tempo de concentração e a vazão máxima, tais como coeficiente de escoamento superficial, C , percentagem de área impermeável, A_{imp} , e rugosidade.

A fisiografia não pode ser alterada, mas as formas de uso e cobertura do solo sim. Um exemplo pode ser a comparação de duas construções de telhado, sendo uma com telhado liso e outra com o telhado verde. São duas realidades com capacidades de retenção de água diferentes. Uma construção com telhado verde apresenta maior rugosidade, maior retenção da água e menor pico de vazão do que a construção com o telhado liso.

Da mesma forma, a ampliação da arborização nas áreas urbanas pode contribuir para melhores condições de infiltração da água no solo, trazendo além disso, benefícios quanto a estabilidade climática. A cobertura vegetal ocasionada pelas árvores atua na redução da temperatura, fornecendo sombra e umidade e com isso, permite maior conforto ambiental, melhoria da qualidade do ar, proporcionando uma sensação de bem estar na população.

A respeito dos métodos de cálculo de vazão máxima, observa-se que independente do TC, o método Racional foi o que obteve maiores valores com acréscimo de cerca de 350% em relação ao método Racional Modificado na bacia do rio Bananeiras e 220% para a bacia do rio Valão da Caixa. O método I-Pai-Wu apresentou valores intermediários, sua fórmula considera a forma da bacia e a relação da duração da chuva com a área de contribuição, sendo por isso, seguindo o princípio razoabilidade, indicado para o uso. Sugere-se que a decisão da escolha de métodos de estimativa de TC e de vazão máxima seja normatizada. Para esse estudo são usados cálculos que simplificam muito a realidade e não consideram aspectos ecológicos do funcionamento das bacias hidrográficas, como por exemplo, alterações da rede de drenagem e no uso do solo. Pelo exposto, tanto para a bacia do rio Bananeiras como para a bacia do rio Valão da Caixa o método recomendado para a estimativa de vazão máxima é o I-Pai-Wu.

5. CONCLUSÕES

A partir da análise das equações de estimativas do tempo de concentração e da vazão máxima estudadas, observou-se uma alta variabilidade nos resultados.

Sugere-se que seja elaborada uma normatização, pelo órgão responsável pelo gerenciamento das bacias, a fim de indicar o método mais adequado, de acordo com as características específicas.

Para esse estudo foram usados cálculos que simplificam muito a realidade e não consideram aspectos ecológicos do funcionamento de bacias hidrográficas, como por exemplo, a expansão e contração da rede de drenagem, na área variável de afluência dos rios.

Em tempo de mudanças climáticas e interferências no regime hídrico, as fórmulas para o cálculo de TC e de vazão máxima não contemplam a dinâmica temporal e espacial, que interferem diretamente nos dados de entrada. Considera-se adequado a revisão dos métodos, a fim de buscar uma representação da realidade mais precisa e contribuir para a gestão das bacias urbanas e cidades resilientes.

Também considera-se válida a recomendação do uso da arborização urbana no planejamento das cidades visando mitigação dos efeitos adversos relacionados às precipitações, uma vez que vários estudos indicam que o uso da cobertura das árvores diminui o escoamento superficial e conseqüentemente o pico de vazão. Sugere-se que nos cálculos sejam considerados como atributos valores obtidos das atividades empregadas a partir das soluções baseadas na natureza.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMPE, E. M. et al. Impact of urban land-cover classification on groundwater recharge uncertainty. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, Mississippi, v. 5, n. 6, p. 1859-1867, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257816451_Impact_of_Urban_Land-Cover_Classification_on_Groundwater_Recharge_Uncertainty. Acesso em : 03 ago.2024.

BATISTA, M.J.; NOVAES, F.; SANTOS, D.G. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2 ed. rev. e ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002. 216 p., il. (Série Informes Técnicos).

BEREZOWSKI, T. *et al.* Impact of remotely sensed land-cover proportions on urban runoff prediction. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 16, p. 54-65, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/232258390_Impact_of_remotely_sensed_land-cover_proportions_on_urban_runoff_prediction. Acesso em: 03ago. 2024.

BIDEGAIN, Paulo; MICHAEL, Claudio. **Bacias Hidrográfica dos rios São João e das Ostras – Águas, Terra e Conservação Ambiental**. Rio de Janeiro: Consórcio Intermunicipal para Gestão das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira – CILSJ, 2003. 179p. Disponível em: <https://cbhlagossaojoao.org.br/wp->

content/uploads/2022/12/Livro-%E2%80%93-Bacias-Hidrograficas-dos-rios-Sao-Joao-e-das-Ostras-%E2%80%93-CILSJ.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

BIDEGAIN, Paulo; PEREIRA, Luiz F. M. **Plano das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos e do Rio São João**. Rio de Janeiro: Consórcio Intermunicipal para Gestão das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira – CILSJ, 2005. 153p. Disponível em: <https://cbhlagossaojoao.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Plano-Bacia-LSJ.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem**. 2 ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2005. 133p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

CAPRARA, L. B. **Regionalização de vazões máximas na região oeste de Santa Catarina através dos métodos tradicional e da curva adimensional de probabilidade**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. 132p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/211991/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 jul. 2024.

CUNHA, F. R. **Aplicação do programa i-Tree Hydro para avaliar os efeitos da cobertura arbórea na dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba, 2018. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-15032019-161655/pt-br.php>. Acesso em :03 de ago. 2024.

DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. **Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14., 2001, Sergipe. **Anais [...]**. Sergipe: Aracaju, 2001. p. 279-294. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/155/279.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

DELLEUR, J. W. The Evolution of Urban Hydrology: Past, Present, and Future a. **Journal of hydraulic**, v. 129, p. 563–573, 2003. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%2907339429%282003%29129%3A8%28563%29>>. Acesso em: 03 ago. 2024.

DESBORDES, M. **Réflexions sur les methodes de calcul des reseaux urbains d’assainissement pluvial**. Thèse Docteur-Ingénieur (Doctorat en Génie de L’environnement) – Université des Sciences e Techniques du Languedoc, Montpellier, França, 1974. 224p.

DIAS, Rafael Henrique Serafim; SILVA FILHO, Eliomar Pereira da; SANTOS, Alex Mota dos; ROSA, Ana Lúcia Denardin da. Influência do Uso e Ocupação do Solo no Escoamento Superficial na Cidade de Ji-Paraná-RO, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.]**, v. 8, n. 5, p. 1493–1508, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233456>. Acesso em: 18 jul. 2024.

EMILSSON, T.; SANG, A. O. Impacts of Climate Change on Urban and Nature-Based Solutions of Adaptation. *In*: Kabisch, N; KORN, H.; STADLER, J.; BONN, Aletta (ed.). **Nature based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: linkages between Science, Policy and Practice.** [S.l.]: SpringerOpen, 2017, p. 15-19. (Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions). Disponível em: <file:///C:/Users/Vit%C3%B3ria/Downloads/978-3-319-56091-5.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

FENDRICH, Roberto. **Canais de drenagem de pequenas bacias hidrográficas.** Curitiba: [s. n.], 2008.

FRANCO, J. E. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método Racional.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais, Curitiba, 2004. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/085-Edu_Jose_Franco.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

FRITSCH, F. E. D. **Influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do alto Rio Ligeiro, Pato Branco - PR.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. 84p. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14434/2/PB_DACOC_2013_1_06.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Geociências (DGC). Coordenação de Cartografia (CCAR). **BC25_RJ - Trecho de Drenagem.** Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 1 mapa, color. Escala 1:25.000. Disponível em: https://metadadosgeo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/catalog.search#/metadata/5ef1eab-b-308a-4952-a44a-41db281de1f4. Acesso em: 02 ago. 2024.

GERICKE, O. J.; SMITHERS, J. C. Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation. **Hydrological Sciences Journal**, v. 59, n. 11, p. 1935-1971, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2013.866712>. Acesso em: 18 jul. 2024.

HYDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL. **Identificação das áreas susceptíveis a inundação no município de Silva Jardim-RJ.** Porto Alegre, RS: [s. n.], 2022. 43p. Disponível em: https://cbhlagossaojoao.org.br/wp-content/uploads/2023/02/P4_R-4_EstudiosHidrologicos_2022.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

KIBLER, D. F. Desk-top Methods for Urban Stormwater Calculation. *In*: KIBLER, D. F. (ed.), **Urban Stormwater Hydrology.** Washington, DC: American Geophysical Union, 1982. p 87-135.

LEE, Hoesung; ROMERO, José (ed.). **CLIMATE CHANGE 2023: Synthesis Report.** Geneva, Switzerland: IPCC, 2023. 34p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

LINSLEY, Ray. K. *et al.* **Water Resources Engineering**. [S.l.]: Mc GrowHill Science/Engineering/Math, 1964.

McCUEN, R. H.; WONG, S. L., RAWLS, W. J. Estimating urban time of concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, Virginia, v. 110, n.7, p. 887-904, 1984.

MENEZES, C. R.; SALGADO, C. M. Classificação de estilos fluviais na bacia do rio Bananeiras (alto vale do Rio São João, Silva Jardim – RJ): base para análise da condição geomorfológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 12, n. 3. p. 89-912. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/238282>. Acesso em: 18 jul. 2024.

MINAS GERAIS (Estado). Instituto Mineiro de Gestão da Águas. **Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGAM, 2010. 113p. Disponível em: <https://www.igam.mg.gov.br/images/stories/outorga/manual/manual-de-outorga.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

MOTA, Aline de A.; KOBAYAMA, Masato. Reconsiderações sobre a Fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p 55-59, 2015. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/176/78600f4f6fa84d6c5d7b611ec565a7b2_5b5c74cd9547089745afc6f5fb1ab676.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

OLIVEIRA, M.; GALLARDO, A. L. C. Soluções baseadas na natureza nos projetos de drenagem urbana em São Paulo. *In*: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 24., 2022, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: FEA/USP, 2022. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/24/anais/arquivos/36.pdf?v=1721292605>. Acesso em: 18 jul. 2024.

OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T. ; STEFFEN, J. L. ; RODRIGUES, D. B. B. . Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/7Tzm4S4vFwVyQ6sPdKJ9qGH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 jul. 2024.

PEREIRA, D. A. G. S. B. *et al.* Vazão máxima do rio Bananeiras antes e depois da correção do seu curso. *In*: Encontro Nacional de Comitês de Bacias Hidrográficas (Encob): águas do Brasil - governança adaptação e desenvolvimento, 25., 2023, Natal (RN). **Anais [...]**. Rio Grande do Norte: Centro de Convenções Natal, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encob2023/663601-vazao-maxima-do-rio-bananeiras-antes-e-depois-da-correcao-do-seu-curso/>. Acesso em: 18 jul. 2024.

PINTO, N. L. S. *et al.* **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976. 278p.

PORTO, R. Escoamento superficial direto. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1995. 5 v.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal de Obras e Viação. **Caderno de encargos do município de Porto Alegre: esgoto pluvial**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Obras e Viação, 1983.

PRUSKI, F. F. et al. **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004.

PRUSKI, F.F. et al. **Hídros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 259 p.

RIO DE JANEIRO (Estado) Secretaria de Defesa Civil. **Plano de Contingência para Ameaças Naturais de Desastres Característicos do Verão no Município de Silva Jardim - RJ**. Rio de Janeiro: Secretaria de Defesa Civil, 2023. 103p.

SANTOS, L. C. C. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/981b5de8-4717-47e3-9796-80cd738218a1/content>. Acesso em: 18 jul. 2024.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: DAEE, 2005. 116p. Disponível em: http://www.dae.sp.gov.br/site/wp-content/uploads/2024/05/GuiaPratico_Dae_2005.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

SÃO PAULO (Município). Secretaria de vias públicas. Superintendências de projetos e de obras. **DP-H06: diretrizes de projeto para estudos hidrológicos: método de “I-Pai-Wu”**. São Paulo: Secretaria de vias públicas, 1999. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/DRENAGEM%20URBANA/dh-h06_diretrizes_de_projeto_para_estudos_hidrologicos_metodo_de_i_pai_wu.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

SCHAAKE, J. C.; GEYER, J. C.; KNAPP, J. W. Experimental examination of the rational method. **Journal of Hydraulics Division**, Virginia, v. 93, n. 6, p. 353-370, 1967.

SILVA, S.T.; SANTOS, R.F.M. A interceptação das águas pluviais através da arborização urbana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 47, p.89-100, 2018. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1884/1381>. Acesso em : 03 ago. 2024.

SILVA, J. M. A. Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em encostas e canais. Parte II: modelo computacional e análise de sensibilidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p.704-712, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/8hrP6jt97hKT39g7ThkkMht/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 jul. 2024.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n.1, p. 5-23, 2005. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east->

1.amazonaws.com/Sumarios/29/9065c5e8a3333d5348b9babd06aaa510_7aad3403a5602667b67dfbb7c3cbd16a.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

SIQUEIRA, M. M. *et al.* Métodos de cálculo de vazão de escoamento superficial em bacias rurais de diferentes escalas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 15, n.1, 2023. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/21258/209209217308>. Acesso em: 18 jul. 2024.

TODINI, E. Hydrological catchment modelling: past, present and future. **Hydrology and Earth System Sciences**, Oxford, v. 11, n. 1, p. 468-482, 2007. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/11/468/2007/hess-11-468-2007.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. Guarulhos: Navegar, 2002. 452 p. Disponível em: http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=livro10_calculos_hidrologicos-ler.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. **Ciência e cultura**, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

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, 2000.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. **Primeiro Relatório Parcial: hidrologia urbana**. Universidade de São Paulo: Escola Politécnica (USP), 1978. 74 p.

WANG, J.; ENDRENY, T. A.; NOWAK, D. J. Mechanistic Simulation of Tree Effects in an Urban Water Balance Model. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**, v. 44, n. 1, p. 75–85, 2008. Disponível em: . Acesso em: 30 jul. 2018.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: Cetesb, 1978. 477 p.

WU, I. PAI. **Hydrology of small watersheds in Indiana and hydrodynamics of overland flow**. Lafayette, Indiana: Purdue University, 1963. Disponível em: https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/jtrp/article/1976/&path_info=jtrp487.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.