

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Nazareno Mostarda Neto

**USO DE DIFERENTES MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO
TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NO
CÁLCULO DE VAZÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO ITAIM,
TAUBATÉ-SP**

Taubaté - SP
2018

Nazareno Mostarda Neto

**USO DE DIFERENTES MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO
TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NO
CÁLCULO DE VAZÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO ITAIM,
TAUBATÉ-SP**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa

**Taubaté - SP
2018**

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi
Universidade de Taubaté - UNITAU**

M915u Mostarda Neto, Nazareno
Uso de diferentes métodos de obtenção do tempo de concentração e suas implicações no cálculo de vazão da bacia do Ribeirão Itaim, Taubaté-SP / Nazareno Mostarda Neto. -- 2022.
76 f. : il.

Monografia (mestrado) - Universidade de Taubaté, Departamento de Ciências Agrárias, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa.
Departamento de Ciências Agrárias.

1. Ciências Ambientais. 2. Bacia Hidrográfica. 3. Cálculo de vazão. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Ciências Agrárias. Mestrado em Ciências Ambientais. II. Título.

CDD 558.48

NAZARENO MOSTARDA NETO

USO DE DIFERENTES MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NO CÁLCULO DE VAZÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO ITAIM, TAUBATÉ-SP

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa

Data: 16 de março de 2018

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Instituição

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Celso de Souza Catelani

Faro – Universidade de Roseira

Assinatura _____

**USO DE DIFERENTES MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO TEMPO DE
CONCENTRAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NO CÁLCULO DE VAZÃO NA BACIA
DO RIBEIRÃO ITAIM, TAUBATÉ-SP**

**AUTOR: NAZARENO MOSTARDA NETO
ORIENTADOR: MARCELO DOS SANTOS TARGA**

RESUMO

A indicação de métodos de cálculo do Tempo de Concentração consiste numa importante decisão ao realizar trabalhos de cálculos hidrológicos e hidráulicos. Nesse sentido, o presente trabalho relacionou um grupo composto de vários métodos que foram avaliados, nesse estudo, em uma mesma bacia hidrográfica, com a preservação das características físicas da bacia aplicadas a cada método, em busca pelas fórmulas possíveis de serem utilizadas tendo como referência, outros estudos já realizados, o que resultou na obtenção de grupos de métodos com semelhança de resultados e grupos com resultados discrepantes. Essa avaliação mostrou através de estudos de caso que entre vários métodos existentes podemos identificar os mais apropriados e os não recomendados, para efeito de aplicação no cálculo de vazão e do dimensionamento de obras hidráulicas. A variação observada entre os métodos utilizados chega a 780,76%, demonstrando a necessidade de critérios ao adotar um método de cálculo do Tempo de Concentração em estudos hidráulicos ou hidrológicos.

Palavras-chave: Ciências Ambientais; Bacia Hidrográfica; Cálculo de vazão.

**USE OF DIFFERENT METHODS OF OBTAINING THE TIME OF
CONCENTRATION AND ITS IMPLICATIONS IN THE CALCULATION OF FLOW IN
THE BASIN OF RIVER ITAIM, TAUBATÉ-SP**

**AUTHOR: NAZARENO MOSTARDA NETO
ADVISER: MARCELO DOS SANTOS TARGA**

ABSTRACT

The indication of methods of calculation of the Concentration Time consists in an important decision when carrying out hydrological and hydraulic calculation works. In this sense, the present work related a group composed of several methods that were evaluated, in that study, in the same river basin, with the preservation of the physical characteristics of the basin applied to each method, in search of the possible ways of to be used as reference, other studies already carried out, which resulted in obtaining groups of methods with similar results and groups with outliers results. This evaluation showed through case studies that among several existing methods we could identify the most appropriate and those not recommended, for application effect in the calculation of flow and the sizing of hydraulic works. The variation observed among the methods used reaches 780.76%, demonstrating the need for criteria when adopting a method of calculating the concentration time in hydraulic or hydrological studies.

Keywords: Environmental sciences; River basin; Flow Calculation.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAVEX	Comando da Aviação do Exército
CN	Curva Número
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ-USP	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo
EUA	Estados Unidos da América
F	Fator de forma
IC	índice de circularidade
KC	Coeficiente de compacidade
NRCS	National Resources Conservation Service
TC	Tempo de concentração
TR	tempo de retorno
UNITAU	Universidade de Taubaté

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de metodologias adotadas para estimativa da vazão de cheias.....	21
Figura 2 - Representação esquemática do Tempo de concentração (Tc).....	24
Figura 3 - Limites da Bacia do Ribeirão Itaim, imagem SPOT de 24/09/1995.....	28
Figura 4 - Representação Gráfica do Balanço Hídrico em Taubaté no período de 1941 a 1975.....	30
Figura 5 - Distribuição espacial desses usos e coberturas da terra da bacia do ribeirão Itaim.....	32
Figura 1 - Mapa de declividade.....	31
Figura 7 - Gráfico de valores de Tc para Bacia A.....	45
Figura 2 - Gráfico dos valores de Tc das tabelas para as bacias AB.....	46
Figura 3 - Gráfico dos valores de Tcs das tabelas para as bacias AC.....	46
Figura 10 - Gráfico com os valores de Tc para a bacia A.....	47
Figura 11 - Gráfico dos valores de Tc para Bacia AB.....	48
Figura 12 - Gráfico com os valores de Tc para a bacia AC.....	49
Figura 13 - Gráfico com os valores de Tc para a bacia AD.....	50
Figura 4 - Gráfico das Vazões encontradas para os diferentes Métodos utilizados.....	51
Figura 5 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Kirpich.....	52
Figura 6 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Dooge.....	16
Figura 7 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Piking.....	54
Figura 8 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Giandotti.....	54
Figura 9 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ven Te Chow.....	55
Figura 10 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de CCPratice.....	56

Figura 11 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método Federal Aviation Agency.....	56
Figura 12 -Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método Arnell.....	57
Figura 13 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Bransby – Willians.....	23
Figura 14 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ondas Cinemáticas.....	58
Figura 15 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ondas Johnstones.....	59
Figura 16 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia A.	62
Figura 17 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia B.....	62
Figura 18 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia C.....	63
Figura 19 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia D.....	63
Figura 20 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia D.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de Escoamento em Superfícies e Calhas Rasas (C_v).....	38
Tabela 2 - Valores dos parâmetros CN.....	45
Tabela 3 - Classificação da umidade antecedente da bacia.....	46
Tabela 4 - Correspondente valor de CN para diferentes classes de umidade.....	46
Tabela 5 - Valores de T_c das bacias a partir de cada método.....	47
Tabela 6 - Valores de T_c para Bacia A.....	49
Tabela 7 - Valores de T_c para Bacia AB.....	50
Tabela 8 - Valores de T_c para Bacia AC.....	51
Tabela 9 - Valores de T_c para bacia AD.....	52
Tabela 10 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Kirpich.....	54
Tabela 11 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Dooge.....	53
Tabela 12 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Piking.....	53
Tabela 13 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Giandotti.....	54
Tabela 14 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ven Te Chow.....	55
Tabela 15 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de CCPratice.....	55
Tabela 16 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método Federal Aviation Agency.....	56
Tabela 17 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método Arnell.....	57
Tabela 18 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Bransby – Willians.....	57
Tabela 19 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ondas Cinemáticas.....	58
Tabela 20 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de de Ondas Johnstones.....	59
Tabela 21 - Resultados para a bacia A dos diferentes métodos.....	60
Tabela 22 - Resultados para a bacia B dos diferentes métodos.....	60
Tabela 23 - Resultados para a bacia C dos diferentes métodos.....	61
Tabela 24 - Resultados para a bacia D dos diferentes métodos.....	61
Tabela 25 - Variação coerente com o Método de Kirpich para Bacia A.....	64
Tabela 26 - Variações não coerentes com o método de Kirpich para Bacia A.....	64
Tabela 27 - Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia AB.....	65
Tabela 28 - Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia AC.....	65
Tabela 29 - Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia AD.....	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivo Específico.....	14
3 REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 Bacia Hidrográfica.....	15
3.2 Vazões Máximas.....	16
3.3 Escoamento Superficial.....	19
3.4 Intensidade da Chuva de Projeto.....	20
3.5 Tempo de Concentração.....	21
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 Caracterização da área de Estudo.....	26
4.2 Clima.....	27
4.3 Uso do Solo.....	28
4.4 Relevo.....	30
4.5 Métodos de Cálculo das declividades média e equivalente.....	31
4.6 Métodos utilizados para o cálculo do Tempo de Concentração (Tc).....	32
4.7 Método de Kirpich.....	32
4.8 Método de Dooge.....	33
4.9 Método de Picking.....	33
4.10 Método de Giandotti.....	34
4.11 Método de Ven te Chow	34
4.12 Método Califórnia Culverts Practice.....	35
4.13 Método Cinemático	35
4.14 Método de Arnell.....	37
4.15 Método da Federal Aviation Agency.....	37
4.16 Método Bransby-Willians	38
4.17 Método da Onda Cinemática.....	38
4.18 Método de Johnstone.....	39
4.19 Método de cálculo de vazão.....	39
4.20 Métodos de Kininson, Kresnik, Ganguillet, Creager e Kutter.....	39
4.21 Método Racional.....	40
4.22 Método Curva Número (CN).....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6 CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Os processos de antropização em bacias hidrográficas vêm crescendo e ganhando notoriedade nas últimas décadas, principalmente, devido aos impactos negativos causados aos ecossistemas naturais e ao homem.

Um dos impactos negativos que ocorre em uma bacia hidrográfica com o aumento da antropização é o aumento do número de ocorrência de vazões de cheias e inundações, provocadas principalmente pelo aumento no processo de urbanização e consequente impermeabilização do solo.

O aumento da população urbana e da urbanização de novas áreas, sem planejamento, vem aumentando e potencializando os efeitos dos desastres naturais, como as enchentes ou inundações, a erosão e os deslizamentos de encostas. Vestena (2008), baseado nos dados da Emergency Disasters Data Base, relata que 34% dos desastres naturais no mundo e 10% das mortes ocasionadas por tais desastres estão atrelados às inundações.

Essa urbanização desordenada significa não só a ocorrência de impermeabilização de áreas por asfalto e concreto, mas também de terraplanagens, remoções de terras pela abertura de novas estradas e que em geral provoca mudanças nas características do escoamento nas bacias hidrográficas e na incidência de inundações.

As principais interferências da urbanização nas bacias hidrográficas são as alterações das suas características morfológicas, como é o caso da retificação dos cursos dos rios, e a impermeabilização do solo, através de supressões vegetais, construção de edificações e aterramento de várzeas, tendo como consequência a redução no Tempo de deslocamento da água na bacia e o aumento no volume de água escoada e do pico das vazões.

A bacia Hidrográfica do Ribeirão Itaim no município de Taubaté está compreendida em sua maior dimensão em área rural e uma pequena parcela em área de expansão urbana. A bacia Hidrográfica do Ribeirão Itaim é parte importante do conjunto de sub-bacias afluentes do Rio Una (bacias do rio rocinha, das antas, das almas, do pouso frio, do Ipiranga e do baixo e médio Una) e pode ser de grande importância para a contribuição no abastecimento de água do município de Taubaté.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas como forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, bem como da cobertura vegetal (Lima, 1986); características físicas e bióticas relacionadas com a cobertura vegetal do solo desempenham importante papel nos processos relacionados a fase terrestre do ciclo hidrológico, influenciando na infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial e subsuperficial, bem como na quantidade de água produzida como deflúvio.

Salienta-se que a Portaria DAEE nº 107/1996 definiu a bacia do rio Una, na qual esta inserida a bacia do Ribeirão Itaim como uma reserva técnica de água para o município de Taubaté, devendo assim receber uma atenção especial no que se refere a sua preservação e recuperação ambiental.

De acordo com Sbruzzi (2004) a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Itaim tem sofrido várias intervenções antrópicas negativas no decorrer dos anos, como práticas agrícolas inadequadas, lançamento de esgotos, ocupação urbana, ocasionando problemas ambientais, principalmente a diminuição das calhas e o assoreamento dos cursos d'água, ocasionando enchentes, bem como comprometendo a quantidade e a qualidade das águas deste importante curso d'água.

Em virtude da ocupação desordenada da área da Bacia do Ribeirão do Itaim, ocorreram modificações ao longo do tempo no uso e principalmente no que tange a sua cobertura florestal, ocasionando alterações do regime hídrico e de escoamento superficial, esta situação tende a agravar-se ao longo dos tempos, principalmente com as intervenções antrópicas que possivelmente tendem a aumentar na região, até mesmo em virtude do novo código florestal, que delimitou o curso d'água em sua calha média, permitindo em alguns casos o aterramento das áreas de várzea, o que irá propiciar a ocupação e a degradação de suas áreas de planície aluvial e do recurso natural água, tendendo a cada vez mais comprometer a qualidade e a quantidade da mesma.

A bacia hidrográfica tem gerado em torno de 4 inundações por ano na parte mais baixa que atinge as várzeas do departamento de Ciências Agrárias da UNITAU (ambas margens), e atinge as áreas marginais do Comando da Aviação do Exército – CAVEX na margem direita e os trilhos de Trem do Parque Itaim, da Prefeitura municipal de Taubaté, à margem esquerda do ribeirão, situadas a montante da Fazenda Piloto da Universidade de Taubaté – UNITAU.

O uso não sustentável da Bacia do Ribeirão do Itaim tem aumentado o número de cheias e enchentes, em virtude da ocupação desordenada e suas várzeas, bem como o assoreamento do mesmo, tendo ocasionado transtornos para os que utilizam áreas na referida bacia hidrográfica, incluindo prejuízos econômicos, materiais e ambientais, bem como pode num futuro próximo comprometer o próprio manancial de água do município de Taubaté, o rio Una.

Dessa forma, estudos sobre o tempo de caminhamento da água nas bacias hidrográficas em função de suas características físicas podem possibilitar a compreensão de como o escoamento se processa na bacia e de que maneira pode ser minimizado.

Nos levantamentos de dados técnicos para estudos hidrológicos e hidráulicos em bacias hidrográficas, o “Tempo de Concentração” - TC se constitui num dos elementos de maior implicação nos resultados de vazões calculadas e conseqüentemente no dimensionamento de obras hidráulicas e de soluções de prevenção e ou correção de problemas relacionados à macrodrenagem.

2 OBJETIVO

O presente estudo tem por objetivos analisar a influência do uso de diferentes metodologias de cálculo do tempo de concentração (T_c) na obtenção da Vazão de cheia na bacia do Ribeirão Itaim.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Bacia Hidrográfica

A Bacia Hidrográfica é uma área definida por divisores de águas, drenada por um sistema conectado de cursos d'água, de tal modo que toda vazão efluente seja descarregada através de uma única saída (VILLELA e MATTOS. 1975). Esta saída única é denominada exutório. Assim, a Bacia Hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, superficialmente e subterraneamente. O deflúvio de uma bacia é composto da água que chega aos cursos d'água após ter percorrido caminhos superficiais e subterrâneos. As terras de uma bacia são delimitadas por dois tipos de divisores de água: o divisor topográfico (ou superficial) e o divisor subterrâneo (ou freático). O primeiro é fixo, mas o segundo muda de posição de acordo com as flutuações do lençol freático.

As características físicas de uma Bacia Hidrográfica são muito importantes em seu comportamento hidrológico, porque existe uma estreita correspondência entre o regime hidrológico de uma bacia e estas características. As mais importantes são: Área de drenagem, forma da bacia, coeficiente de compactidade, fator de forma, ordem dos cursos d'água, densidade de drenagem e declividade da bacia. Todos os dados de uma bacia que podem ser extraídos ou determinados a partir de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélites, são denominados dados fisiográficos. Para a bacia do Ribeirão Itaim, estes dados foram determinados por Corrêa (2001).

A bacia do Ribeirão Itaim, seu curso d'água principal e seus tributários apresentam todos os tipos de problemas ambientais possíveis, por se tratar, o Itaim, de um Ribeirão que corta terras rurais e terras urbanas. Com 49% de pastagens e 7% de solo exposto, são comuns as trilhas de caminhamento de animais, pisoteamento do solo, aumentando sua compactação e diminuindo sua infiltração, má conservação de estradas, principalmente em cortes e aterros e trânsito de veículos e animais cortando os cursos d'água em seus trechos mais rasos.

A aração de terras para cultivo é normalmente executada no sentido mono abaixo, ao invés de aragem em cursos de nível, aumentando o escoamento superficial e dão origem às enxurradas e, posteriormente, às voçorocas. A

destruição da mata ciliar também contribui para o aumento do escoamento superficial, que passa a deslocar-se para dentro dos cursos d'água.

Contribuem para a impermeabilização do solo os calçamentos ou pavimentação. No caso de solo exposto, a compactação é provocada pela circulação de animais e veículos, dificultando a infiltração.

Barrancas de rios sem proteção, provocando desbarrancamentos, assoreamentos e formação de bancos de areia, são comuns em toda a extensão do Itaim. A erosão é bem, grande em toda a bacia e o ribeirão está bastante degradado, conforme mostram estudos anteriores, ilustrados com fotografias (CORRÊA, 2001), (CALZETTA, 2003), (LOBATO, 2003).

A agenda 21 (Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. SP. 1995), estima que 80% das terras cultivadas no Estado de São Paulo “estão passando por processos erosivos e o número de voçorocas é de aproximadamente 7000”.

A destruição das florestas ocorreu por ocasião do ciclo do café. Com a decadência da cafeicultura no final do século XIX, os extensos cafezais foram transformados em campos de pastagens. Na bacia do Itaim estes campos ocupam áreas, como topos de morros e encostas que, além de íngremes, são de baixa fertilidade e estão, em sua maioria, em mal estado de conservação. Para que se possa utilizar os recursos desta bacia é necessário que haja uma intervenção no sentido de conservá-la através de aplicação de técnicas agrícolas adequadas.

Segundo Viessman (1975) “a Bacia Hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída”.

É universalmente reconhecido o princípio fundamental da adoção da bacia hidrográfica como unidade física territorial para o manejo e gerenciamento dos recursos hídricos (São Paulo, 1990).

As características fisiográficas de uma bacia hidrográfica podem ser extraídas de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite que contribuem para o estudo da mesma, revelados por métodos e índices (SILVEIRA, 1993).

Os dados físicos de uma bacia são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico (VILLELA & MATTOS, 1975). Os índices mais utilizados que revelam esses dados são área, forma, sistema de drenagem e declividade da bacia.

No início, o processo de gerenciamento e planejamento de bacias hidrográficas visava basicamente à solução de problemas relacionados com a água, com prioridade para o controle de inundações, para os abastecimentos doméstico e industrial, para a irrigação ou para a navegação. O enfoque principal dessa estratégia continua, em muitos casos, sendo a água, sem atentar para o manejo adequado dos outros recursos ambientais da bacia hidrográfica que também influenciam, quantitativa e qualitativamente, o ciclo hidrológico (PIRES & SANTOS, 1995).

Corrêa (2001), define a atividade antrópica em bacia hidrográfica como sendo toda ação do homem que interfere, negativa ou positivamente, sobre os ecossistemas naturais ou preservados. E, dentre as principais ações negativas do homem em ecossistemas, em especial atenção às bacias hidrográficas, podem-se citar: interferência no ciclo hidrológico, desmatamento, construções de estradas, uso intensivo do solo nos meios rural e urbano. Estes fatores resultaram na diminuição da qualidade da água, com lançamento de esgotos, deposição de lixo, captações para abastecimento, impermeabilização do solo, lançamentos de poluentes, irrigação, carreamento de fertilizantes, agrotóxico, matéria orgânica, erosão de encostas, sedimentação e assoreamento de cursos d'água, despejos de refugos, metais pesados e modificação do leito dos rios.

3.2 Vazões máximas

Com relação ao dimensionamento de estruturas hidráulicas em bacias hidrográficas, uma das mais importantes informações diz respeito a vazão máxima produzida por uma precipitação intensa, a qual pode causar cheias e inundações e trazer consequências desagradáveis a população. Entretanto o tempo em que essa cheia ou inundação ocorre, pode constituir importante informação de alerta a população e também a possibilidade de minimizar os impactos da cheia pelo prolongamento desse tempo.

As decisões para construções de estruturas, dimensionamento de barragens, pontes, piscinões e tubulações para escoamento de água em canais são tomadas por referências das séries históricas e do período de retorno da precipitação em uma bacia hidrográfica.

A ocorrência de enchentes causa consequências danosas à população e ao meio ambiente sendo considerados desastres naturais, e são associados a eventos extremos de precipitação, portanto é de extrema importância o conhecimento da vazão do corpo hídrico. Há, no entanto, notável e crescente contribuição de fatores antropogênicos para agravar a intensidade desses desastres, verificada na análise do histórico de inundações, principalmente em bacias que apresentam perímetro urbano.

Segundo Pruski et al., (2003), o aumento da vazão em um curto período de tempo está relacionado diretamente com o escoamento superficial que acontece na bacia, que é acentuado por dentre outros fatores por características físicas da cobertura vegetal, características físicas do solo, fator de forma (F), coeficiente de compacidade (KC), índice de circularidade (IC), relevo e o tipo de cobertura vegetal indicando susceptibilidade a enchente.

Para um bom planejamento do uso racional da água de uma bacia hidrográfica, é necessário saber informações consistentes sobre as vazões máximas e mínimas dos rios e seus afluentes ao longo de um período significativo. As informações adquiridas sobre uma bacia servirão de base para os critérios de outorga do uso da água dos mananciais da região (BRASIL, 1997).

A porcentagem de chuva convertida em escoamento superficial aumenta com o crescimento da intensidade e duração da precipitação (PRUSKI et al., 2003).

Vários métodos são utilizados para o cálculo da vazão de cheia, na Figura 1 estão demonstrados os métodos recomendados pelo DAEE, 2005.

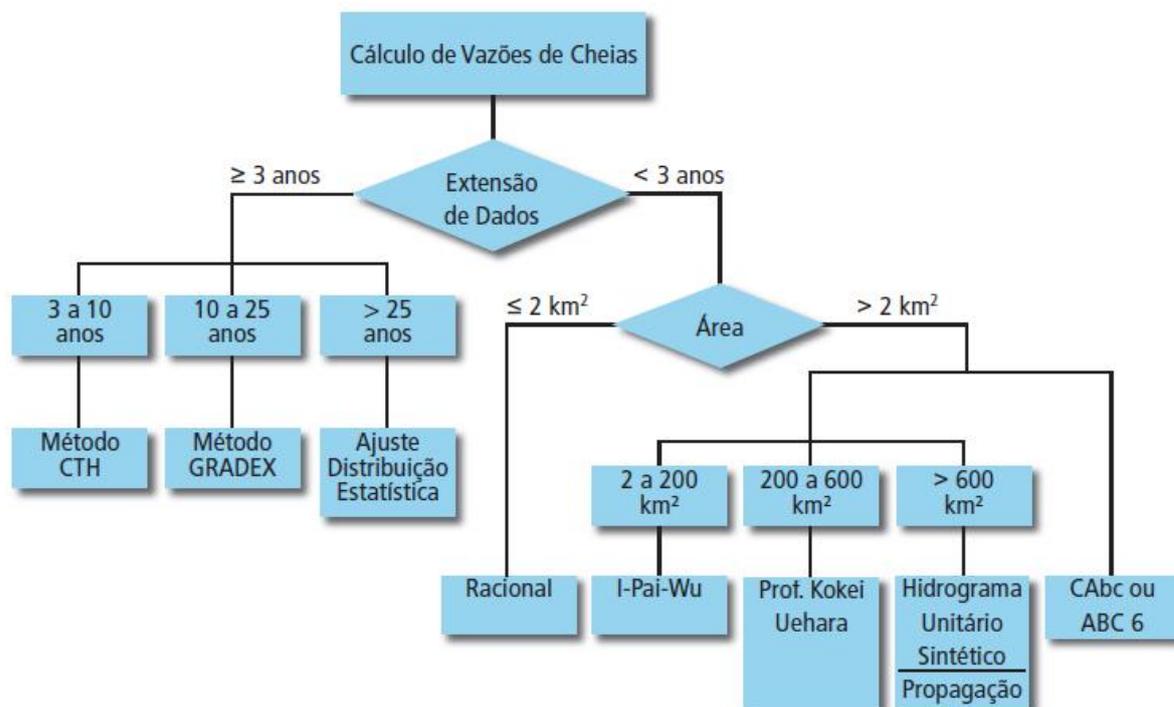


Figura 21 - Diagrama de metodologias adotadas para estimativa da vazão de cheias.
FONTE: DAEE (2005).

3.3 Escoamento Superficial

Durante e após eventos de chuvas intensas, parte da vazão que passa pelo exutório de um curso d'água é proveniente da parcela da chuva que não consegue infiltrar no solo e por isso escoar, aumentando a vazão.

O escoamento superficial e a sua formação são um dos temas mais complexos da hidrologia porque envolve as diversas características da bacia. Além disso, a água pode tomar vários caminhos, desde o momento em que atinge a superfície, na forma de chuva, até o momento em que chega ao curso d'água.

O escoamento superficial pode ser dividido em dois componentes: o escoamento superficial direto ("surface runoff") e o escoamento subterrâneo ou de base.

O escoamento subterrâneo ou de base é produzido pelo fluxo de água do aquífero livre e possui função ecológica, pois mantém o fluxo mínimo de água na bacia durante as estações secas.

O escoamento superficial direto, ou "runoff" é gerado pelo excesso de precipitação.

Após o início da chuva uma porção da água infiltra, abastecendo os lençóis subterrâneos e umedecendo a superfície do solo. Assim que o solo atinge a saturação, a água escoar sobre a superfície, uma vez que foi reduzida a capacidade de infiltração. O excesso de água estará disponível para formar o escoamento superficial, que poderá ser acentuado nos casos de precipitações intensas. Essa parcela do escoamento é conhecida como precipitação efetiva ou deflúvio superficial direto e a sua importância está associada ao dimensionamento de obras hidráulicas, como barragens, terraços, bacias de contenção, canais coletores ou drenos de encosta, uma vez que é essencial na determinação da vazão máxima de projeto associada a uma frequência de ocorrência.

Para Villela e Mattos (1975), o escoamento superficial é um dos mais importantes fenômenos do ciclo hidrológico para o engenheiro. A partir de estudos de Schwab et al. (1966); Garcez (1967); Villela e Mattos (1975); Sperling (2005); Lima (2007), Santos (2007), apresenta a duração e a intensidade da precipitação, a reincidência de precipitação, a área da bacia, a permeabilidade do solo e sua capacidade de infiltração, a existência de obras hidráulicas, e a forma da bacia, como sendo os principais fatores intervenientes no escoamento superficial.

A vazão de projeto é geralmente baseada em chuvas uma vez que esta quase sempre é a mais crítica fonte de água para os sistemas de drenagem das bacias. Dados de vazão em bacias hidrográficas são extremamente raros no Brasil, e em geral existem poucas informações para grandes bacias, normalmente monitoradas por empresas de energia elétrica. Por outro lado, ainda que aquém do desejável a disponibilidade de dados de precipitação é muito superior à de vazão. Dessa forma, para determinar a vazão de projeto em bacias hidrográficas, técnicos e engenheiros empregam modelos que relacionam a precipitação à possível vazão ou escoamento superficial direto que esta proporciona (TARGA, 2011).

O método mais simples e amplamente difundido para cálculo da vazão de projeto em uma bacia hidrográfica é a fórmula Racional.

3.4 Intensidade da Chuva de Projeto

Para a definição da intensidade provável de precipitação estima-se, primeiro, qual a duração dessa chuva. Isso porque na natureza os fenômenos atmosféricos de

maior força, energia ou intensidade, além de estatisticamente mais raros, costumam ter curta duração.

Exemplificando com dados reais de uma bacia já estudada, uma “tromba d’água” poderá descarregar 2 mm/min de chuva sobre uma determinada região durante 30 minutos, com a probabilidade de isso ocorrer (Tempo de Retorno) uma vez a cada 15 anos. Para o mesmo local, a uma precipitação intensa de 2 mm/min com duração de 60 minutos, corresponde uma probabilidade de ocorrência menor que a anterior uma vez a cada 130 anos.

O tempo de retorno (TR) representa o risco a ser assumido no dimensionamento de uma obra hidráulica. Vincula à obra ou empreendimento o grau de segurança que se deseja proporcionar, refletindo a frequência com que a chuva ou vazão utilizada no dimensionamento venha a ser igualada ou ultrapassada num ano qualquer. Essa frequência é igual ao inverso do valor do período de retorno ou tempo de recorrência (TR). É importante notar que a escolha do período de retorno para o dimensionamento de uma obra deve ser precedida de análises relativas aos prejuízos tangíveis e intangíveis que possam vir a ser causados por eventos críticos como enchentes.

É preciso, portanto, verificar qual a chuva intensa que deverá ser adotada para a bacia hidrográfica em análise. A chuva que causará mais e maiores danos — a chuva crítica — será aquela que durar o mesmo tempo consumido pela água que precipitar no ponto mais distante da bacia (M) para alcançar a seção S, denominado tempo de concentração da bacia - T_c .

3.5 Tempo de Concentração

O princípio básico implícito na fórmula racional é que a descarga mais alta da bacia ocorre em resposta a uma chuva intensa com uma duração igual ao Tempo de concentração (Figura 2), das seguintes formas:

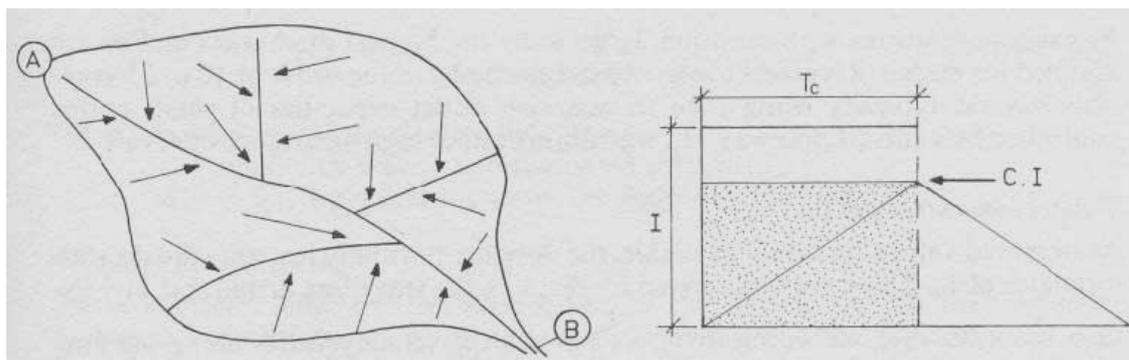


Figura 22 - Representação esquemática do Tempo de concentração (T_c).

FONTE: Smedema e Ricroft (1988).

(a) Quando a duração da chuva intensa $t < T_c$, somente parte da bacia contribui para a descarga total na saída. A qualquer momento a descarga da área perto da saída terá passado por B na hora que a descarga do ponto A chegar.

(b) Quando a duração da chuva intensa $t > T_c$ há um momento em que a bacia inteira contribui para a descarga no B apesar de que as taxas de descarga serão normalmente menores do que aquelas geradas por uma chuva de duração T_c , já que as intensidades de chuva diminuem com o aumento da duração da chuva.

Esse raciocínio só se aplica para áreas com drenagens rapidamente reativas, como os fluxos do tipo superficial e subsuperficial, nos quais pouca transformação dos fluxos ocorre no sistema de drenagem.

O tempo de concentração (T_c) pode ser definido como o tempo necessário para que toda a área da bacia considerada contribua com o escoamento na seção de deságue. O valor de T_c tem relação direta com o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para se atingir a vazão máxima em um curso d'água (tempo de pico), apresentando relação com a ocorrência de enchente em determinada região.

Para Silveira (2005), o tempo de concentração é um parâmetro hidrológico que surge da hipótese que a bacia hidrográfica responde como sistema linear para o escoamento superficial direto. Nesta condição hipotética o tempo de concentração é o tempo de equilíbrio quando se estabelece o regime permanente entre uma chuva efetiva de intensidade constante e o escoamento superficial direto dela decorrente.

De acordo com Villela e Matos (1975), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado desde o início da precipitação até o instante em que toda a bacia hidrográfica correspondente contribua para o escoamento, numa dada seção.

Inúmeras fórmulas empíricas foram propostas para determinar parâmetros, que caracterizam o escoamento superficial em bacia hidrográficas, em função de características fisiográficas da bacia, da sua ocupação e da intensidade da precipitação. As fórmulas desenvolvidas para o cálculo do tempo de concentração têm origem experimental e devem ser aplicadas em condições semelhantes àsquelas para as quais foram propostas e ao tipo de escoamento que cada fórmula visa representar.

A determinação do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica tem grande importância para os estudos de ocorrência de enchentes e futuras indicações de medidas estruturais e não estruturais que amenizem o problema. Os modelos de transformação de chuva em vazão, como o método racional e o hidrograma unitário, amplamente utilizados no Brasil, se utilizam de dados de tempo de concentração (ESTEVES e MENDIONDO, 2003).

Segundo Lima (1986), o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica se dá em função de suas características fisiográficas como: área de drenagem, forma da bacia, coeficiente de compactidade, fator de forma, ordem dos cursos d'água, densidade de drenagem e declividade da bacia, bem como da cobertura vegetal; características físicas e bióticas relacionadas com a cobertura vegetal do solo desempenham importante papel nos processos relacionados a fase terrestre do ciclo hidrológico, influenciando na infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial e subsuperficial, bem como na quantidade de água produzida como deflúvio.

Grecco e Mandelli (2009) avaliaram a influência de variáveis hidrológicas e fisiográficas no projeto de sistemas de macrodrenagem para duas bacias no município de Vitória, ES. Diferentes formulações de cálculo do tempo de concentração foram testadas, as equações de intensidade foram obtidas a partir do software Pluvio, enquanto as vazões máximas de projeto estimadas a partir dos métodos de Sarmento, Chow-Gumbel e Bell. Os resultados produzidos pelo software Pluvio estimaram os valores superiores aos demais métodos analisados. Os tempos de concentração gerados métodos de Pasini e Ven te Chow produziram menores vazões de projeto.

A determinação do tempo de concentração é imprescindível para a determinação das vazões de projeto a partir de dados de chuva.

De acordo com Villela e Matos (1975), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado desde o início da precipitação até o instante em que toda a bacia hidrográfica correspondente contribua para o escoamento, numa dada seção.

Franco (2004) e Pinto et al. (1976) descrevem o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica como correspondente à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a seção em estudo.

As intensidades das chuvas tendem a diminuir com a duração. Assim, considera-se que as chuvas que potencialmente podem causar as maiores vazões em uma bacia hidrográfica sejam as chuvas cuja duração seja igual ao tempo de concentração da bacia. Isto faz com que exista pelo menos um momento em que toda a bacia esteja contribuindo para aumentar a vazão que está saindo no exutório.

Assim, normalmente, se admite que as chuvas de projeto tenham duração igual, ou muito semelhante, ao tempo de concentração da bacia.

No presente estudo são levantados os dados de características físicas existentes para a aplicação das equações de cálculo de tempo de concentração pelos métodos de Kirpich, Dooge, Picking, Giandotti, Ven Te Chow, Califórnia Culverts Practice, Johnstone, Soil Conservation Service, Onda Cinemática, Bransby-Willians, Federal Aviation Agency, Arnell e estimativa da vazão máxima para a bacia do Itaim, em função das chuvas máximas para Taubaté definidas por Martines Junior e Magni (1999).

De acordo com Tomaz, (2013), a fórmula de Kirpich, a mais utilizada por técnicos no Estado de São Paulo, apresenta outras unidades práticas como as sugeridas pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo, conhecida então como Kirpich Modificado.

Sampaio et.al (2016) ao avaliarem um conjunto de 37 bacias de grande porte no Estado do Ceará, por meio de 11 fórmulas diferentes verificaram que o método de Dooge demonstra pouca variação em relação a outros métodos, quando comparado a fórmula de Kirpich.

Silveira (2005) observou que o método de Picking não se mostrou adequado para nenhuma faixa de bacias rurais, sem motivo aparente, e observa ainda que Giandotti, exibe a tendência de superestimação do tempo de concentração, independente da amplitude das áreas aceitas para as fórmulas.

Observou, ainda, que na fórmula de Kirpich há uma espécie de confirmação do que se verifica muito na prática de hidrologia no Brasil, isto é, que ela pode ser

usada com bons resultados em bacias rurais de médio e grande porte. As fórmulas de Kirpich, Ven te Chow e Corps of Engineers usam apenas L e S como variáveis explicativas, sugerindo grande estabilidade de fatores como a rugosidade, repassando a totalidade da explicação para estas variáveis físicas, e por essa razão, Kirpich foi adotado como valor de referência para a verificação dos demais resultados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O presente trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, que ocupa uma área de 58,9 km² da bacia hidrográfica do Rio Una (CORREA, 2001), compreendida por uma área rural e outra de transição entre rural e urbana, localizada no Município de Taubaté, São Paulo. O Ribeirão Itaim tem sua nascente, entre as coordenadas S 23°09'46" e W 45°36'28", próximo à divisa de Taubaté, com os municípios de Caçapava e Redenção da Serra e seu exutório, aproximadamente, nas coordenadas S 23°01'28" e W 45°30'23", no interior da Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté.

Na Figura 3 são representados os limites da bacia do Itaim, em Imagem sobre ortofotos de 2011 (EMPLASA 2011).

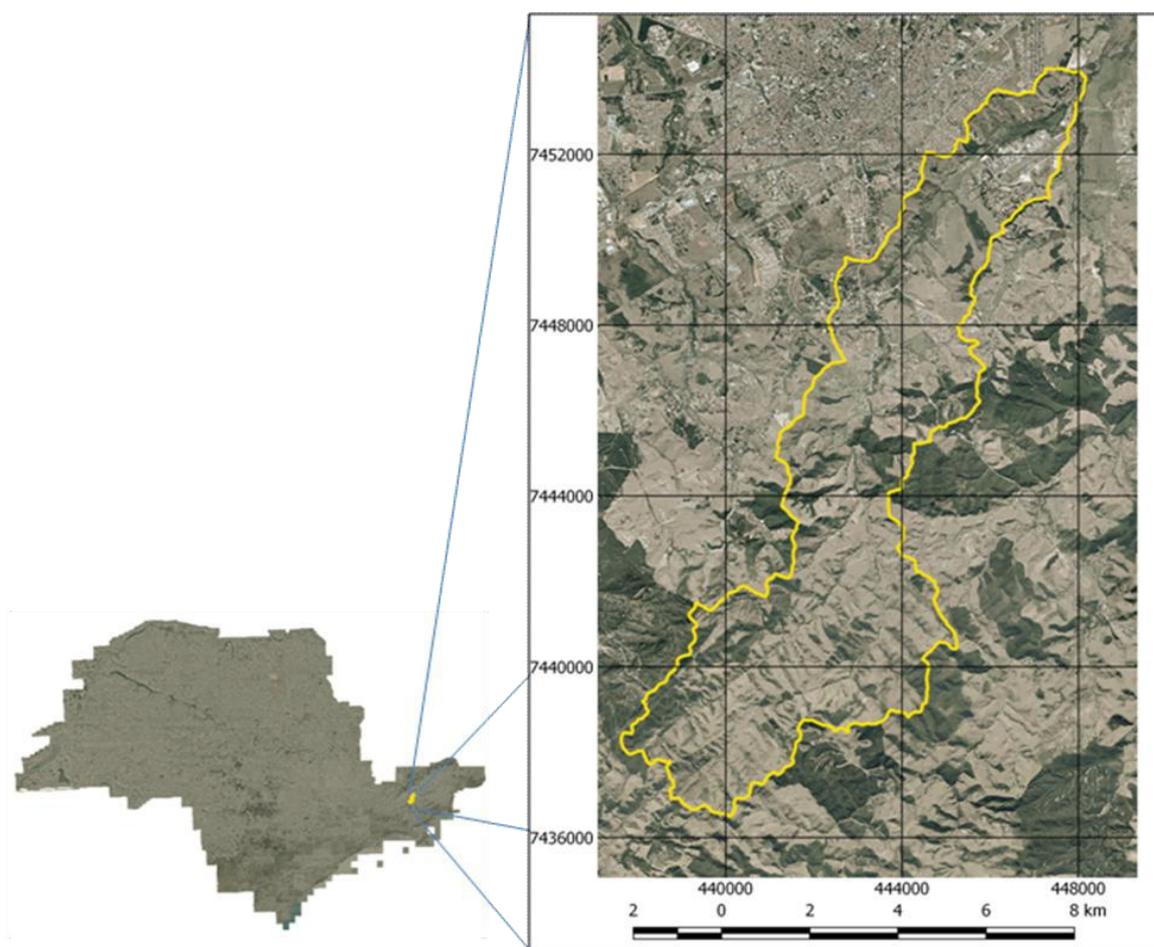


Figura 23 - Limites da Bacia do Ribeirão Itaim, imagem SPOT de 24/09/1995.
FONTE: Lobato, (2003).

4.2 Clima

Segundo Fisch (1995), o clima da região caracteriza-se por ser quente e úmido no verão e frio e seco no inverno. O total de chuvas no verão, comumente, excede 200 mm, com chuvas quase que diariamente no verão. O ano hidrológico inicia-se em agosto e termina em julho do ano seguinte, com 42% da precipitação ocorrendo nos meses de dezembro a fevereiro. O total da precipitação anual é de 1355 mm.

O balanço hídrico de Taubaté (EMBRAPA – ESALQ-USP, 2014) do período de 1941 a 1975 com base em dados do DAEE é apresentado na Tabela 5 e Figura 4.

Município: Taubaté – SP

Latitude: 23,03 S

Longitude: 45,55 W

Altitude: 560 m

Período: 1941-1970

Tabela 5 - Balanço hídrico Climatológico para Taubaté para o período de 1941 a 1970

Mês	T(°C)	P(mm)	ETP	ARM(mm)	ETR(mm)	DEF(mm)	EXC(mm)
Jan	24,5	214	125	100	125	0	89
Fev	24,6	214	115	100	115	0	99
Mar	24	172	115	100	115	0	57
Abr	21,8	69	83	87	82	1	0
Mai	19,4	39	61	70	56	5	0
Jun	18	31	47	60	41	6	0
Jul	17,9	22	47	46	35	12	0
Ago	19,6	32	61	35	44	17	0
Set	21	50	74	27	57	17	0
Out	22,2	130	93	64	93	0	0
Nov	23	140	103	100	103	0	1
Dez	23,7	197	119	100	119	0	78
TOTAIS	259,7	1.310	1.044	889	987	58	323
MEDIAS	21,6	109	87	74	82	5	27

FONTE: Embrapa – ESALQ-USP(2014).

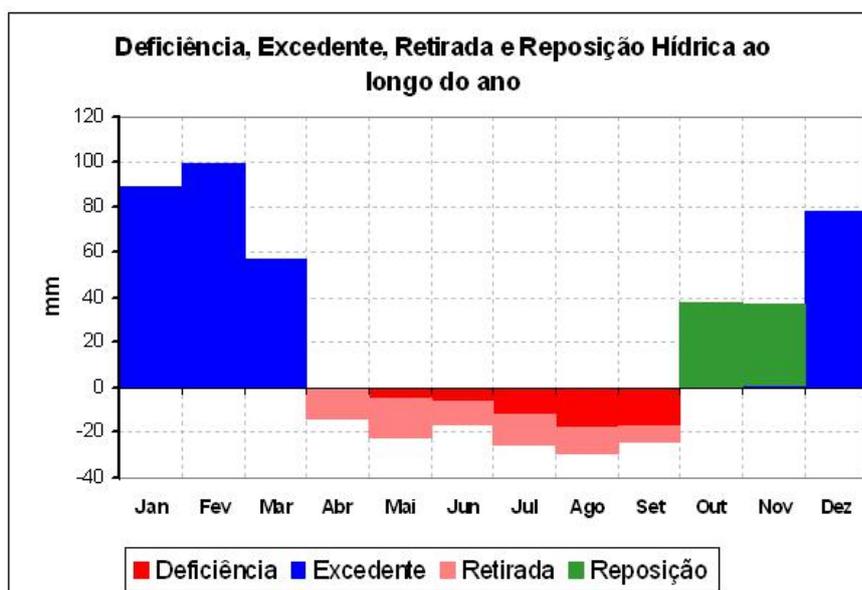


Figura 24 - Representação Gráfica do Balanço Hídrico em Taubaté no período de 1941 a 1975.
FONTE: Embrapa – ESALQ-USP (2014)

4.3 Uso do Solo

A bacia hidrográfica do Itaim encontra-se em processo avançado de degradação evidenciado pela pouca vegetação de porte arbóreo nativa existente, pelo baixo nível de conservação dos solos e das estradas, pela criação extensiva de gado bovino, pela existência de processos erosivos e ocorrência de assoreamento dos cursos d'água, conforme já evidenciado em Corrêa (2001).

Com relação ao uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Itaim verificou-se pela entrevista com os proprietários, que 80 % das propriedades possuem áreas ocupadas por pastagem, 16% por culturas anuais (milho, feijão e mandioca), outros 16% por culturas perenes e semi-perenes (cana-de-açúcar e citros) e 12% para outros tipos de uso e ocupação (LOBATO, 2003).

Segundo Lobato (2003) observa-se, na Tabela 5, que pastagem foi a classe de uso e ocupação mais expressiva na bacia do Ribeirão Itaim com 49,2% da área total, o que reforça o resultado obtido com o questionário de que 80% das propriedades possuem áreas ocupadas por pastagem. As demais classes representam, aproximadamente, capoeira (23,3%), mata (16%), solo exposto (7%), área queimada (2%), área urbana (2,1%), silvicultura (0,2%) e a água (0,2%).

Tabela 1 - Área das classes de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Itaim

CLASSE	ÁREA TOTAL (ha)	% DA CLASSE
Mata	914,87	15,91
Área Urbana	118,66	2,07
Solo Exposto	392,57	6,83
Água	9,05	0,16
Capoeira	1338,40	23,27
Área Queimada	134,78	2,34
Silvicultura	11,11	0,19
Pastagem	2831,37	49,23

FONTE: Lobato (2003).

A distribuição espacial desses usos e coberturas da terra da bacia do ribeirão Itaim pode ser observada na Figura 5.

A vazão média do ribeirão Itaim é de 0,6 m³/s e suas águas apresentam em suspensão na água 6,85 t/dia de sedimentos (MOREIRA 2005), o que evidencia a necessidade de um programa de gestão do escoamento das águas pluviais por meio de obras e sistemas hidráulicos além da adoção de outras práticas de controle ambiental, tais como o reflorestamento e a recuperação das áreas de preservação permanente a luz do novo código florestal, com a finalidade principal de garantir a sustentabilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Itaim, promovendo a interação sustentável entre a ocupação humana e o meio ambiente da bacia hidrográfica em questão.

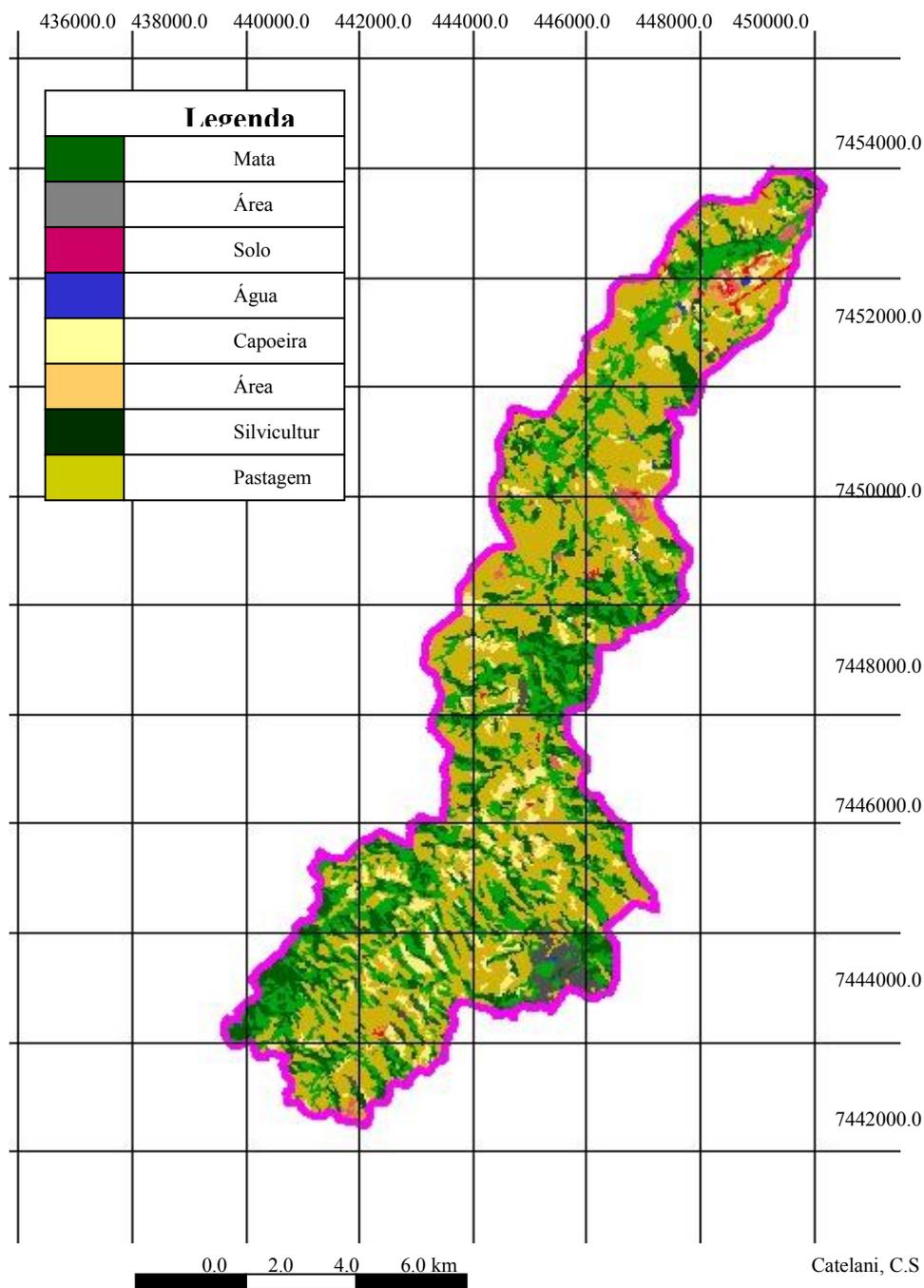


Figura 25 - Distribuição espacial desses usos e coberturas da terra da bacia do ribeirão Itaim.
FONTE: LAGEO (2003).

4.4 Relevo

O relevo ocorrente na bacia do ribeirão do Itaim é composto por compartimentos que variam de áreas de planícies até o domínio morfológico dos Mares de Morros, passando por áreas de colinas e relevo ondulado a forte ondulado,

com declividades variando de 0 a 120% (Figura 6), obtidas do projeto Una, e produzidas com base em digitalização de curvas de nível na escala de 1:10.000, com equidistância vertical de 5m da base cartográfica do IGC.

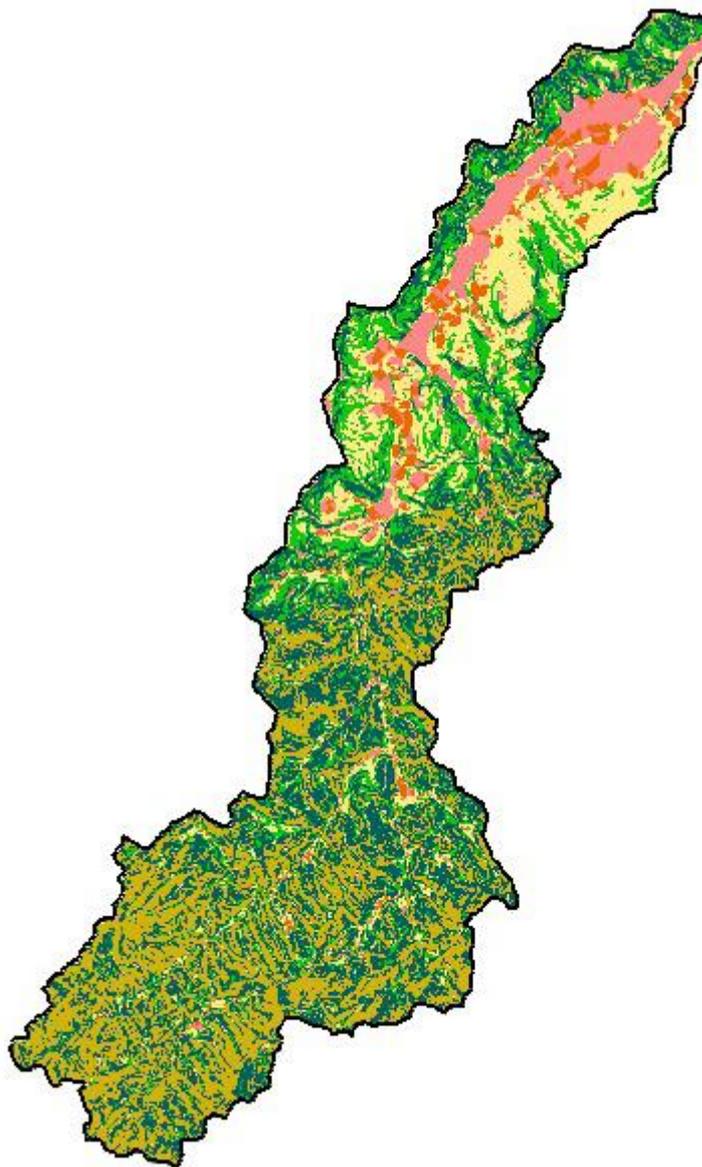


Figura 26 - Mapa de declividade.
FONTE: LAGEO (2003).

4.5 Métodos de cálculo das declividades média e equivalente

O cálculo das declividades média e equivalente das bacias ou trechos de bacia estudados são necessários como pré-requisitos para o cálculo do tempo de concentração (T_c).

Na existência de informações topográficas mais consistentes (DAEE, 2008) é possível utilizar a Declividade Equivalente (S_{eq}) em lugar do S, calculado pela Equação 2.

$$S_{eq} = \left(\frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{j_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{j_2}} + \frac{L_n}{\sqrt{j_n}}} \right)^2 \quad \text{Eq.}[2]$$

Em que:

S_{eq} é a declividade equivalente em m/km

L é o Comprimento total do talvegue ($L_1 + L_2 + L_n$)

J_n é a Declividade de cada trecho n.

A declividade média é calculada simplesmente pela divisão da distância vertical entre o ponto mais alto do talvegue e o exutório considerado, pelo comprimento do talvegue.

4.6 Métodos utilizados para o cálculo do Tempo de Concentração (T_c).

Considerando que para pequenas bacias hidrográficas, na maioria dos casos, não se dispõe simultaneamente de dados pluviométricos e fluviométricos que permitam a determinação experimental do tempo de concentração, adotam-se métodos que na literatura corrente estão disponíveis com diversas equações empíricas para estimativa do tempo de concentração em função das características da bacia hidrográficas, avaliando-se alguns parâmetros prévios para uma melhor aplicação.

4.7 Método de Kirpich

O método de Kirpich (Equação 1) foi desenvolvida empiricamente, em 1940, com dados de sete pequenas bacias rurais do Tennessee, com declividades que variaram de 3% a 10% e áreas de, no máximo 0,50 km.

$$T_c = 57 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad \text{Eq.[1]}$$

Em que:

L é o comprimento do talvegue, em km;

S é a Declividade Equivalente em m/km;

Segundo Pruski, *et al* (2004) ao utilizar um valor de comprimento de talvegue (L) maior que 10 km, a equação subestima o valor de Tc.

Onde: Tc é o tempo de concentração, em minutos; L é o comprimento do talvegue, em km; e S representa a declividade do talvegue, em m/m.

No caso de bacias urbanas, Franco (2004) indica que a formula de Kirpich deve ser usada com cautela, pois superestima o valor de Tc, e Chow et al. (1988), recomenda reduzir o tempo de concentração em 40%.

4.8 Método de Dooge

Segundo Porto (2004), esse método foi desenvolvido a partir de dados de dez bacias rurais com áreas de 140 a 930 Km², assim supõe-se que seus parâmetros reflitam melhor condições de escoamentos em canais, podendo ser calculado pela Equação 3.

$$T_c = 21,88 A^{0,41} S^{-0,17} \quad \text{Eq.[3]}$$

Em que:

Tc - tempo de concentração, em minutos;

A = área da bacia, em km²;

S = declividade do talvegue, em m/m.

4.9 Método de Picking

No método de Picking o tempo de concentração é calculado pela Equação 4

$$Tc = 5,3 \left(\frac{L^2}{S_1} \right)^{0,333} \quad \text{Eq.[4]}$$

Em que:

Tc = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do curso d'água, em Km;

S₁ = declividade equivalente constante, em m/m.

4.10 Método de Giandotti

No método de Giandotti o cálculo do tempo de concentração é feito pela Equação 5.

$$Tc = 4 \frac{\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}} \quad \text{Eq.[5]}$$

Em que:

Tc - tempo de concentração, em horas;

A - área da bacia, em Km²;

L - comprimento do curso d'água, em Km;

H - altura média da bacia em metros.

4.11 Método de Ven Te Chow

No método de Ven Te Chow a equação foi obtida para pequenas bacias hidrográficas, com áreas de até 24,28 km².

$$Tc = 52,64 \left(\frac{L}{S_0} \right)^{0,64} \quad \text{Eq.[6]}$$

Em que:

Tc - tempo de concentração, em horas;

S₀ = declividade média do talvegue, em Km⁻¹;

L - comprimento do curso d'água, em Km.

4.12 Método Califórnia Culverts Practice

O método Califórnia Culverts Practice foi desenvolvido em 1942 pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia (EUA), tem a mesma estrutura do método de Kirpich, apenas substituindo S por L/H. Aplicam-se as mesmas limitações, ou seja, declividades de 3% a 10% e áreas de no máximo 0,50 km², embora na prática seja utilizada para áreas maiores dentro da aplicabilidade do método racional.

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Eq.[7]}$$

Em que:

L é o comprimento do talvegue, em km;

H é o desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante na bacia em m.

4.13 Método Cinemático

Autores como SCS (1986), e Walesh (1989), Akan (1993) e Porto (1995) se referem ao Método Cinemático como a forma teórica mais correta de se calcular o tempo de concentração e que o uso de fórmulas empíricas deve-se limitar a bacias semelhantes, considerando-se as limitações impostas por ocasião de sua obtenção.

O método cinemático consiste em dividir a bacia hidrográfica em trechos homogêneos e calcular a velocidade do escoamento em cada um deles. O tempo de concentração é dado pelo somatório dos tempos de percurso por todos os trechos que compõem o caminho percorrido ao longo do talvegue principal.

$$T_c = \left[\frac{100}{60} \right] * \sum \frac{L_i}{V_i} \quad \text{Eq.[8]}$$

Em que:

T_c é o tempo de concentração, em minutos;

L_i é o comprimento de cada trecho homogêneo, em metros;

V_i é a velocidade de escoamento no trecho “i”, em m/s.

A velocidade de escoamento no trecho “i” (V_i), quando este é constituído por superfícies ou por calhas rasas, pode ser estimada pela seguinte Equação,:

$$V_i = C_v * S_i \quad \text{Eq.[9]}$$

Em que:

S_i é a declividade média do trecho, em porcentagem;

C_v é o coeficiente de escoamento em superfícies e calhas.

Alguns valores de Coeficiente de Escoamento em superfícies e Calhas rasas é apresentado por Tucci (1995) e pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 2 - Coeficiente de Escoamento em Superfícies e Calhas Rasas (C_v)

Uso e Ocupação do Solo	C_v
Florestas densas	0,075
Campos naturais pouco cultivados	0,135
Gramas ou pastos ralos	0,210
Solos quase nus	0,300
Canais gramados	0,450
Pavimentos ou em sarjetas e calhas rasas	0,600

FONTE: Tucci (1995).

Em bacias urbanas, com sistemas de drenagem pluvial, o tempo de concentração será composto por duas parcelas, de acordo com a Equação (9):

$$T_c = t_i + t_t \quad \text{Eq.[10]}$$

Em que: t_i é o tempo inicial, até atingir a rede de drenagem, contado na primeira boca de lobo, em minutos;

t_t é o tempo de translação na rede de drenagem, calculada pelas fórmulas do escoamento em condutos, em minutos.

4.14 Método de Arnell

O Método de Arnell, para cálculo do tempo de concentração, é baseado nos estudos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas e Obras Públicas do Ministério da Construção do Japão. Neste estudo foram coletados por Arnell (1989) 85 registros de escoamento de 23 bacias hidrográficas urbanas, contendo 14 rios, discretizados em intervalos de 10 minutos. Os dados foram comparados com os resultados obtidos em outras bacias, parcialmente urbanizadas ou rurais, com áreas de drenagem de 0,2 a 50 km².

As bacias analisadas por Arnell (1989) apresentaram variações da velocidade do escoamento em função, principalmente, da urbanização. As equações de definição do tempo de concentração foram definidas em função do tipo de bacia, naturais ou urbanas.

Para bacias naturais, com $0,50 \leq C \leq 0,70$ a equação é expressa por:

$$T_c = 1,67 * 10^{-3} * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,7} \quad \text{Eq.}[11]$$

Para bacias urbanas, com $0,7 \leq C \leq 0,9$ a equação é expressa por:

$$T_c = 2,4 * 10^{-4} * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,7} \quad \text{Eq.}[12]$$

Em que:

T_c é o tempo de concentração, em h;

S a declividade do talvegue, em m/km;

L o comprimento do talvegue, em m;

C o coeficiente de escoamento superficial.

4.15 Método da Federal Aviation Agency

O método da Federal Aviation Agency é indicado para calcular o escoamento em superfície de áreas muito pequenas e foi desenvolvida para drenagem de aeroportos nos EUA, em 1970.

$$Tc = 22,73 * (1,1 - C) * L^{0,5} * S^{-0,33} \quad \text{Eq.}[13]$$

Em que:

Tc é o tempo de concentração, em minutos;

C o coeficiente de escoamento superficial;

L o comprimento do talvegue, em km;

S a declividade do talvegue, em m/m.

4.16 Método Bransby-Willians

O método Bransby-Willians foi desenvolvido em 1922 e leva o nome de seu criador.

$$Tc = 14,6 * L * A^{-0,1} * S^{-0,2} \quad \text{Eq.}[14]$$

Em que:

Tc é o tempo de concentração em minutos;

L é o comprimento do talvegue em km;

A é área da bacia em km²;

S representa a declividade média do talvegue, em (m/m).

4.17 Método da Onda Cinemática

O método baseia-se na teoria da onda cinemática, considerando a superfície do escoamento como canal de grande largura e partindo-se das hipóteses de escoamento turbulento e chuva de intensidade constante. Foi desenvolvida para comprimento das superfícies entre 15 a 30 metros. É adequada para bacias muito pequenas, nas quais o escoamento superficial é predominante e é descrito pela Equação (14):

$$Tc = 447(nL)^{0,60} S^{-0,3} I^{-0,4} \quad \text{Eq.}[15]$$

Em que :

Tc é tempo de concentração, em minutos;

L o comprimento do talvegue, em km;

S a declividade do talvegue, em m/m;
 I representa a intensidade da chuva, em mm/h;
 n representa o coeficiente de rugosidade de Manning.

4.18 Método de Johnstone

Segundo Pinto et al. (1975), o método de Johnstone foi desenvolvido na Escócia por meio de dados de bacias com áreas de 65 a 4200 km² e pode ser expresso pela seguinte Equação.

$$T_c = 20,17 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5} \quad \text{Eq.[16]}$$

Em que:

T_c o tempo de concentração, em min;
 S a declividade do talvegue, em m/m;
 L comprimento do talvegue, em km.

4.19 Método de cálculo de vazão

Apesar da incerteza da transformação dos dados de chuva em vazão, a indisponibilidade de dados fluviométricos em bacias hidrográficas faz com que os engenheiros e hidrólogos busquem métodos que permitam transformar os dados de chuva, geralmente disponíveis em maior quantidade, em dados de vazão.

Por outro lado, existe na literatura uma série de métodos para a estimativa da vazão que aplicam somente dados físicos das bacias sem utilizar dados de chuva.

4.20 Método Racional

Um dos métodos mais simples e consagrados na estimativa da vazão de projeto em bacias hidrográficas é o método Racional.

O método Racional é, provavelmente, o mais utilizado para a determinação de vazões de pico em pequenas bacias, com área de até 2 km² e com baixa complexidade (PORTO, 2004). De acordo com FCTH (1999), a aceitação do método racional deve-se a sua simplicidade e aos resultados obtidos que são geralmente satisfatórios, desde que utilizados respeitando seus limites de aplicação.

A vazão de projeto ou pico da descarga pode ser estimada pela seguinte Equação (16) conhecida como Racional:

$$Q_p = \frac{CIA}{360} \quad [\text{Eq.17}]$$

Em que:

Q_p = descarga ou vazão de pico (m³s⁻¹)

I = intensidade uniforme da chuva de duração T_c (mmh⁻¹)

C = coeficiente de descarga, adimensional

A = área da bacia (ha)

A Equação Racional estima a Vazão de projeto em função da Área, mas principalmente em função da Intensidade de chuva e do coeficiente de escoamento C que representa a parcela da chuva que esco.

4.21 Método Curva Número (CN)

De acordo com Tomaz (2011), em junho de 1986 o Departamento da Agricultura dos Estados Unidos lançou o Technical Release 55 (TR-55) denominado “Urban Hydrology for Small Watersheds” que apresentou os procedimentos para estimativa do runoff e dos picos de descargas em bacias pequenas (250 km²), atualizada no apêndice A do TR-55 em janeiro de 1999 e mundialmente conhecido como Método Curva Número (CN).

Pode-se utilizar ainda o Método Curva Número (CN), que tem por base a estimativa de vazão ou descarga máxima de projeto a construção de hidrogramas por meio dos seguintes passos (TARGA, 2011):

- (a) Conversão de chuva em descarga usando o gráfico ou as Equações do Curva-Número (CN);
- (b) Desenvolvimento dessas descargas em um hidrograma da bacia usando a hidrógrafa unitária adimensional do NRCS.
- (c) Determinação do coeficiente de drenagem (q) como o pico do Hidrograma e da descarga ou vazão de projeto

Nesse procedimento, as condições hidrológicas na bacia são caracterizadas pelos 2 parâmetros seguintes, o valor CN e a hora do pico.

Os valores CN são obtidos da Tabela 2, e devem ser corrigidos em função das condições de umidade antecedentes (AMC) conforme classificado na Tabela 3.

Os valores CN dados na Tabela 2 são correspondentes às condições de umidade do solo da classe AMC II e para valores correspondentes às classes AMC I e AMC III, utiliza-se os valores corrigidos da Tabela 4.

O NRCS distingue em seu método 4 grupos hidrológicos de solos. São eles:

- Grupo A – Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração (arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8 %).
- Grupo B – Solos menos permeáveis que o anterior, arenosos menos profundos que os do Grupo A e com permeabilidade superior a média (teor de argila ainda inferior a 15 %).
- Grupo C – Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo considerável porcentagem de argila e pouco profundo (barrentos com teor total de argila de 20 a 30 % mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m).
- Grupo D – Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração e alta capacidade de escoamento (argilosos 30 – 40 % de argila e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade).

A definição dos solos da bacia em grupos será baseada inicialmente nas orientações de Sartori et. al. (2005).

Tabela 3 - Valores dos parâmetros CN.

Cobertura vegetal ou tipo de uso de solo	Condição da superfície	Situação hidrológica	Grupo hidrológico do solo			
			A	B	C	D
Solo arado ou quase sem cobertura	SR	Má	65	80	88	92
	SR	Boa	65	78	86	90
Cultivo de ciclo curto e arações frequentes	SR	Má	60	72	81	87
	SR	Boa	52	66	75	82
	C	Má	56	65	78	84
	C	Boa	48	60	72	78
	C-T	Má	52	62	74	80
	C-T	Boa	45	55	67	75
Cultivos de ciclo médio e arações anuais	SR	Má	58	65	73	82
	SR	Boa	54	62	70	79
	C	Má	55	64	72	78
	C	Boa	50	60	67	75
	T	Má	52	62	70	77
	T	Boa	48	55	65	73
Semeadura densa ou a lanço; cobertura curta, mas densa, como a das leguminosas e dos pastos em rodízio	SR	Má	56	64	72	80
	SR	Boa	50	58	66	76
	C	Má	54	60	69	76
	C	Boa	48	56	64	72
	T	Má	50	58	65	75
	T	Boa	45	52	60	70
Pastagem velha com arbustos		Má	65	70	78	85
		Boa	60	66	75	82
		Má	56	62	72	79
	C	Boa	55	62	70	78
	C	Má	42	59	67	75
	C	Boa	50	56	64	72
Reflorestamento	SR	Má	35	50	62	74
	SR	Boa	30	42	55	68
	C	Má	30	45	57	69
	C	Boa	25	36	52	64
Mata ou Capoeira Velha		Má	32	40	55	67
		Boa	18	25	42	58
Gramados Tratados		Má	65	72	78	84
		Boa	59	67	74	81
Estradas de Terra		Má	80	85	90	93
		Boa	74	80	85	90

Notas: SR = sulcos retos; T = terraceamento; C = cultivo em contorno, paralelamente às curvas de nível.

Para estradas de terra: SR = quando a água é alojada ao pé do barranco; C = quando não atravessa a estrada.

FONTE: Setzer & Porto (1979).

Tabela 4 - Classificação da umidade antecedente da bacia.

Classes	Total de chuva nos 5 dias antecedentes a chuva de projeto
I	Seco, chuvas não ultrapassam 15 mm
II	Na época das cheias, chuvas totalizaram entre 15 e 40 mm.
III	Úmido (próximo da saturação), as chuvas foram superiores a 40 mm.

FONTE: Setzer & Porto (1979).

Tabela 5: Correspondente valor de CN para diferentes classes de umidade.

Classes de Umidade Antecedente	Valores CN Correspondentes										
I	100	78	63	51	40	31	22	15	9	4	0
II	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
III	100	96	91	85	78	70	60	50	37	22	0

FONTE: Setzer & Porto (1979).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Considerações gerais

Os métodos de Kirpich, Dooge, Califórnia, FAA e Johnstone, para o S médio e S equivalente, possuem comportamentos muito semelhantes.

Os métodos Bransby Willians e de Ondas Cinemáticas superestimam o Tc enquanto que os métodos Giandotti e Arnell subestimam os valores de Tc.

Em uma análise envolvendo todos os trechos da bacia do Ribeirão Itaim, verificou-se os seguintes resultados:

Dos 11 métodos estudados e adotando Kirpich como referência por ser ele um dos mais utilizados nos meios técnicos, observamos que os métodos Bransby Willians e Onda Cinemáticas apresentam resultados muito acima da média dos demais, enquanto que os métodos Giandotti e Arnell apresentaram resultados muito abaixo da referida média.

Os demais métodos, ou seja, Kirpich, Dooge, Picking, Califórnia, FAA, Johnstone, apresentaram resultados relativamente coerentes entre si.

Embora nesse grupo de métodos cujos resultados foram semelhantes, apareçam métodos recomendados para bacias menores, como o caso de Kirpich, cuja recomendação é para bacias de até 0,5 km², no estudo em questão estes mesmos métodos mostraram resultados coerentes para bacias com áreas variando de 3,01 a 57,34 km² como pode ser visto na tabela 5 e figura 6 e 7.

Tabela 5 - Valores de Tc das bacias a partir de cada método (minutos).

	Bacia A	Bacia AB	Bacia AC	Bacia AD
Kirpich	20,56	114,56	201,13	344,64
Dooge	54,42	154,71	255,12	284,07
Picking	21,89	96,71	157,37	250,73
Giandotti	1,69	4,90	8,12	11,61
Ven_te_Chow	5,87	45,26	79,31	141,09
Califórnia	17,56	71,45	132,98	228,70
Federal Avviation	47,32	149,09	207,62	289,71
Arnell	12,07	38,45	60,34	90,48
Bransby-Willians	48,90	214,72	366,16	647,06
Onda Cinemática	149,84	571,37	885,94	1347,86
Johnstone	57,35	137,63	191,27	258,06

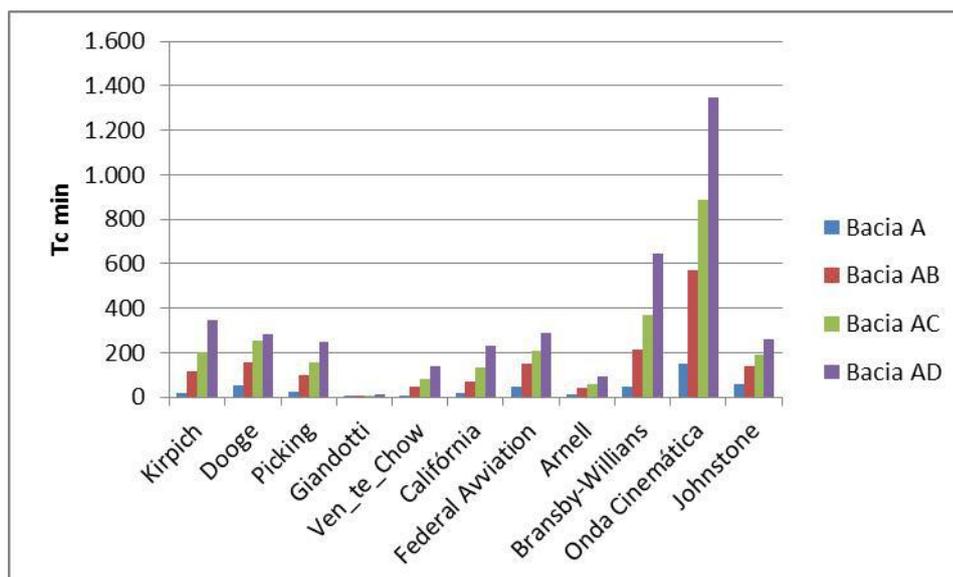


Figura 27 - Gráfico dos valores de Tc das tabelas para as bacias AB.
FONTE: O autor.

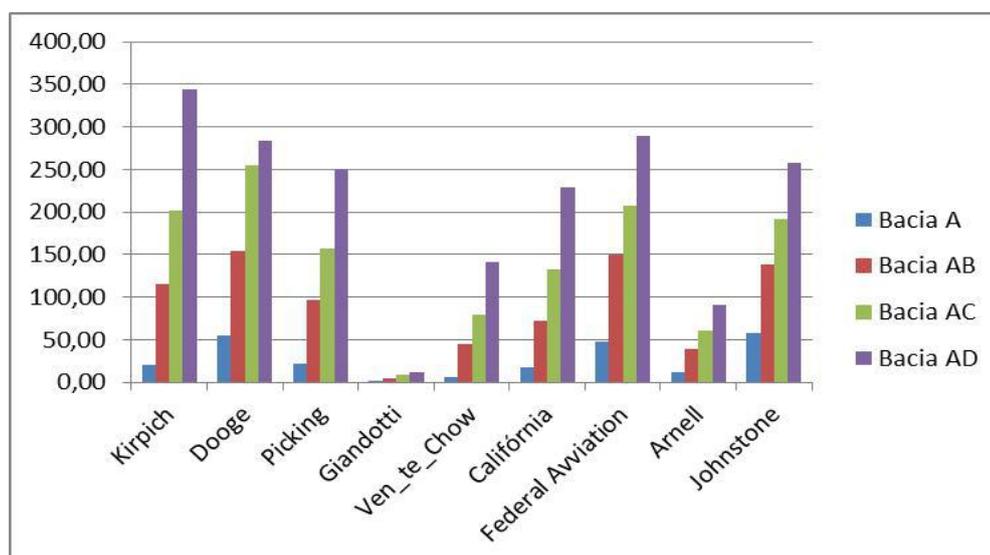


Figura 28 - Gráfico dos valores de Tcs das tabelas para as bacias AC.
FONTE: O autor.

A bacia “A” possui 3,01 km² e situa-se na extremidade mais a montante, é dentre os trechos estudados a que mais assume caráter rural. Em seu solo, desenvolvem-se usos do tipo agricultura, pastagens de animais e pequenas manchas de vegetação nativa entre propriedades de subsistência.

Neste caso o campo de variação no universo dos métodos aplicados é da ordem de 8,20 a 728,77% percentualmente.

Detalhando um pouco mais a análise verificamos que os métodos Kirpich, Picking e Califórnia apresentam resultados semelhantes, pois variam entre si na ordem de aproximadamente 20%. Entretanto os demais métodos apresentam resultados acima deste parâmetro.

A seguir é apresentada a tabela 6 e figura 8 para os Tcs encontrados na bacia “A” para as metodologias estudadas.

Tabela 6 - Valores e variação proporcional do Tc para Bacia A.

Método	Tc (minutos)	%
Kirpich	20,56	100,00
Dooge	54,42	264,69
Picking	21,89	106,47
Giandotti	1,69	8,20
Ven_te_Chow	5,87	28,56
Califórnia	17,56	85,40
Federal Avviation	47,32	230,15
Arnell	12,07	58,72
Bransby-Willians	48,90	237,82
Onda Cinemática	149,84	728,77
Johnstone	57,35	278,93

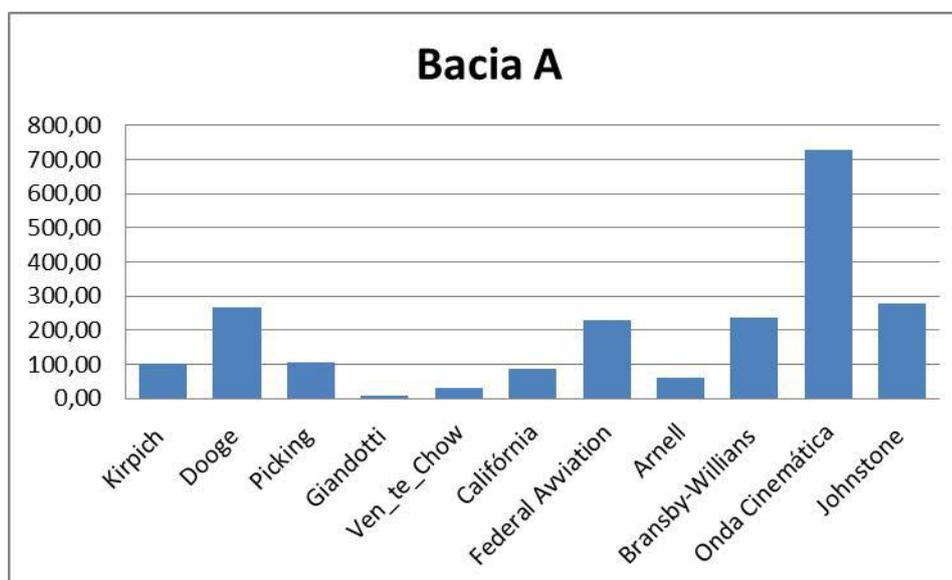


Figura 29 - Gráfico de valores de Tc para Bacia A.

Para a Bacia “AB” com área de 17,36 km² o uso do solo, sofre impacto pela expansão urbana em grau inicial.

Analogamente constata-se que a variação no universo dos métodos é da ordem de 4,28 a 498,76%.

Neste caso o detalhamento mostrou que os métodos Kirpich, Picking e Johnstone apresentaram resultados semelhantes com variação de até 20%, enquanto que os demais métodos apresentaram resultados superiores.

A seguir é apresentado na Tabela 7 e Figura 11 para os Tcs encontrados na bacia “AB” para as metodologias estudadas.

Tabela 7 - Valores de Tc para Bacia AB.

Método	Tc (minutos)	%
Kirpich	114,55	100,00
Dooge	154,71	135,05
Picking	96,71	84,42
Giandotti	4,90	4,28
Ven_te_Chow	45,25	39,50
Califórnia	71,45	62,37
Federal Avviation	149,09	130,15
Arnell	38,44	33,56
Bransby-Willians	214,71	187,43
Onda Cinemática	571,36	498,76
Johnstone	137,62	120,14

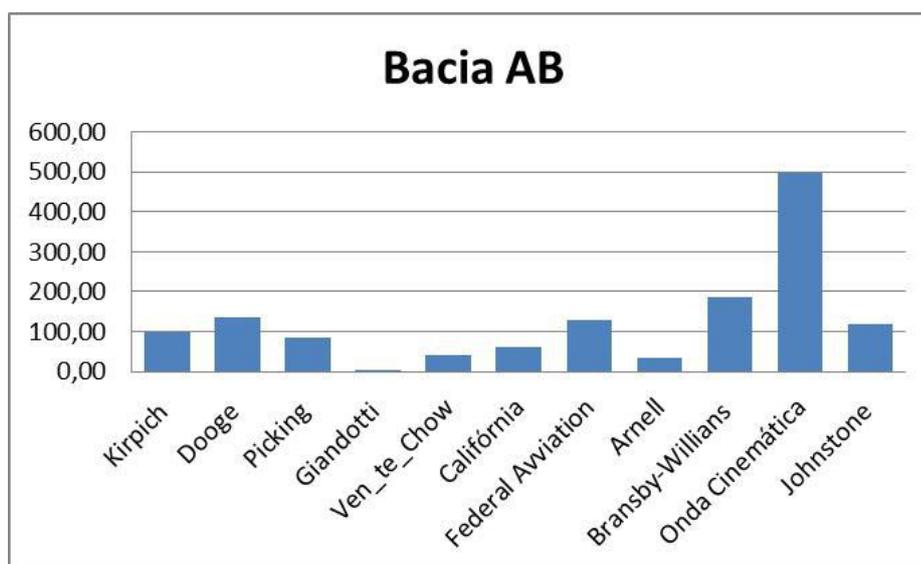


Figura 30 - Gráfico dos valores de Tc para Bacia AB.

Para Bacia “AC” com área de 52,11 km², classificada como porção média do território estudado, com predominância de ocupação urbana, a variação entre os métodos aplicados é da ordem de aproximadamente 4,04 a 440,47%.

Neste caso os métodos que apresentaram resultados semelhantes a Kirpich são: Dooge, Picking e Johnstone, cuja variação é da ordem de aproximadamente 26%. Para os demais métodos os resultados situam-se fora deste intervalo.

A seguir, é apresentada a Tabela 8 e Figura 10 para os Tcs encontrados na bacia “AC” para as metodologias estudadas.

Tabela 8 - Valores de Tc para Bacia AC.

Método	Tc (minutos)	%
Kirpich	201,13	100,00
Dooge	255,12	126,84
Picking	157,37	78,24
Giandotti	8,11	4,04
Ven_te_Chow	79,30	39,43
Califórnia	132,97	66,11
Federal Aviation	207,62	103,23
Arnell	60,33	30,00
Bransby-Willians	366,16	182,05
Onda Cinemática	885,93	440,47
Johnstone	191,26	95,10

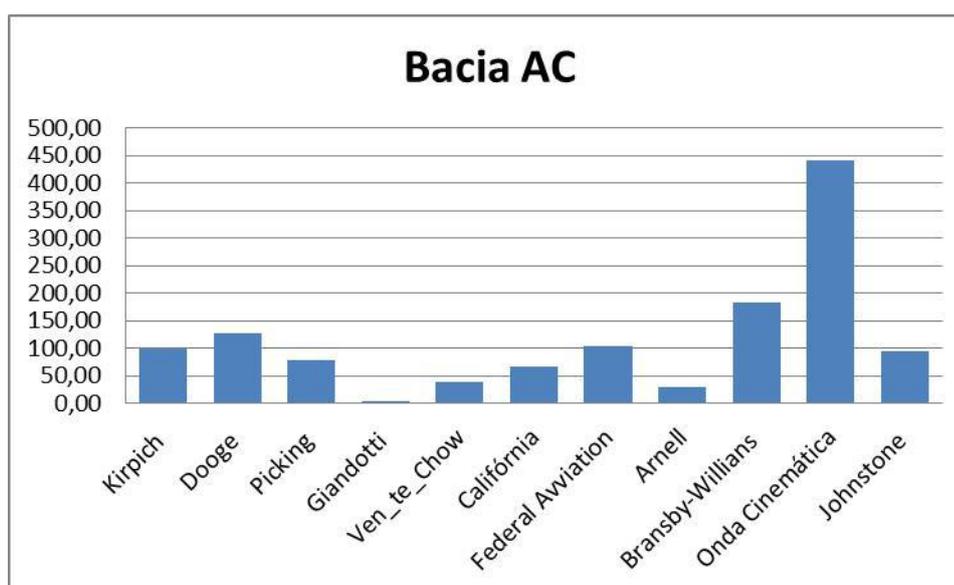


Figura 31 - Gráfico com os valores de Tc para a bacia AC.

A bacia “AD” corresponde a íntegra da bacia do Ribeirão Itaim com área de 57,34 km². Nesta análise, que compreende a somatória dos trechos acima citados. Assim o conjunto de métodos aplicados apresentaram uma variação de aproximadamente 3,37 a 391,10%. Ainda neste caso verificamos que os métodos Dooge, Picking e Johnstone produziram resultados com relativa aproximação com Kirpich, mantendo um campo de variação de aproximadamente 27%. Para os demais métodos os resultados encontram-se fora deste intervalo.

A seguir é apresentado na Tabela 9 e Figura 13 para os Tcs encontrados na bacia “AD” para as metodologias estudadas.

Tabela 9 - Valores de Tc para bacia AD.

Método	Tc (minutos)	%
Kirpich	344,63	100,00
Dooge	284,06	82,43
Picking	250,73	72,75
Giandotti	11,60	3,37
Ven_te_Chow	141,09	40,94
Califórnia	228,70	66,36
Federal Avviation	289,70	84,06
Arnell	90,48	26,26
Bransby-Willians	647,05	187,75
Onda Cinemática	1347,86	391,10
Johnstone	258,05	74,88

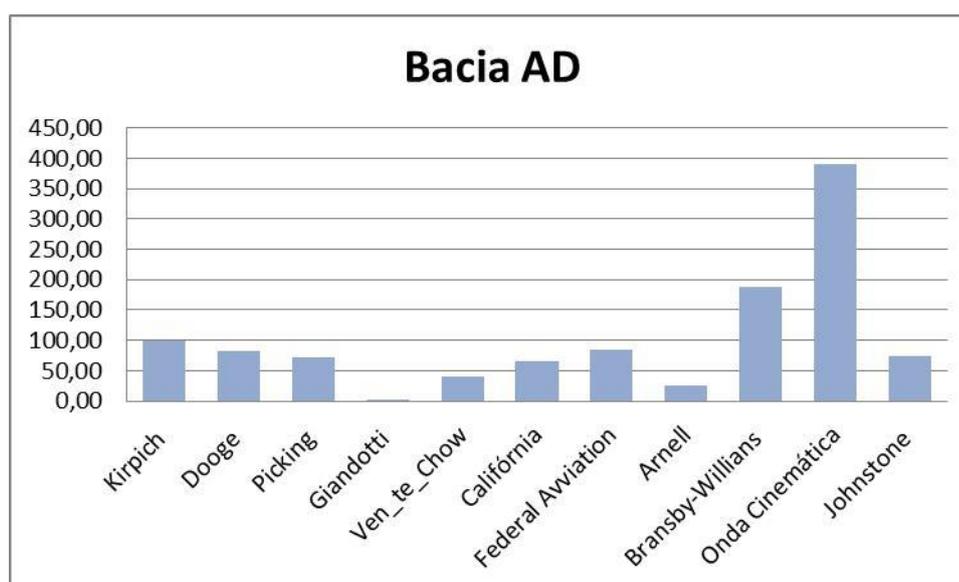


Figura 32 - Gráfico com os valores de Tc para a bacia AD.

Os resultados obtidos da avaliação do uso de vários métodos, a aplicação de vários Tcs para o cálculo de vazões de pico revelou situações que apontam tanto semelhanças, quanto discrepâncias quando utilizados para esse fim, conforme gráfico da Figura 14.

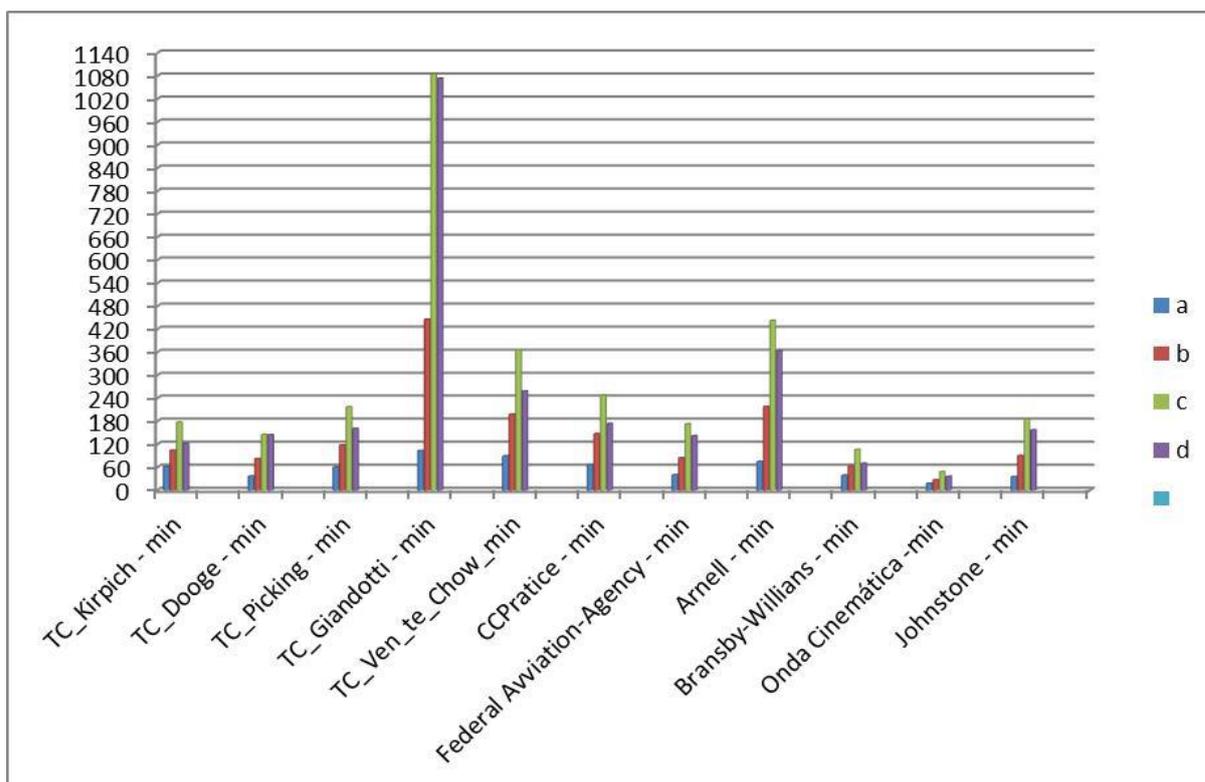


Figura 33 - Gráfico das Vazões encontradas para os diferentes Métodos utilizados.

A fórmula de Kirpich recomendada para bacias de até 0,5 km², quando aplicada em bacia maiores produz resultados semelhantes.

Caso análogo verifica-se também para a fórmula de Dooge, que por sua vez é indicada para bacias de 140 a 930 km², produzindo resultados semelhantes proporcionalmente. Estende-se este raciocínio para fórmula de Picking, Califórnia, FAA e Johnstone, ou seja, as fórmulas que compõem este conjunto, estão dotadas de varáveis que permitem corrigir matematicamente dados físicos diferentes, como área de drenagem, comprimento do talvegue e declividade, produzindo valores de Tcs semelhantes, implicando diretamente nos resultados das vazões.

Muito embora Santos 2010 recomenda aplicar redução do Tc da ordem de 40% no uso do método de Kirpich, em bacias urbanas, e que recomenda ainda neste caso cautela na aplicação deste método, verifica-se que sem prejuízo da

escolha do método pelo projetista e da análise financeira do custo da obra, o conjunto de métodos acima tratado, pode ser aplicado, em bacias com área variando entre 3,01 a 57,34km².

Em relação à variável declividade, geralmente observa-se que, quando se utiliza a declividade equivalente, ocorre um aumento no resultado de Tc e, conseqüentemente, redução na vazão. Somente para o caso das fórmulas de Giandotti e Califórnia os resultados não se alteram quando se aplica a declividade equivalente, uma vez que esses métodos não utilizam em sua fórmula original a variável S. Conforme mostra as tabelas e gráficos abaixo:

5.2 Dados de vazão com o Tc calculado pelo do Método de Kirpich

Tabela 6 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Kirpich.

Bacia	Método de Kirpich		
	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S médio
A	3,01	61,39742	65,50727
B	17,36	103,6143	146,5432
C	52,11	177,2169	248,0646
D	57,34	121,8511	173,3999

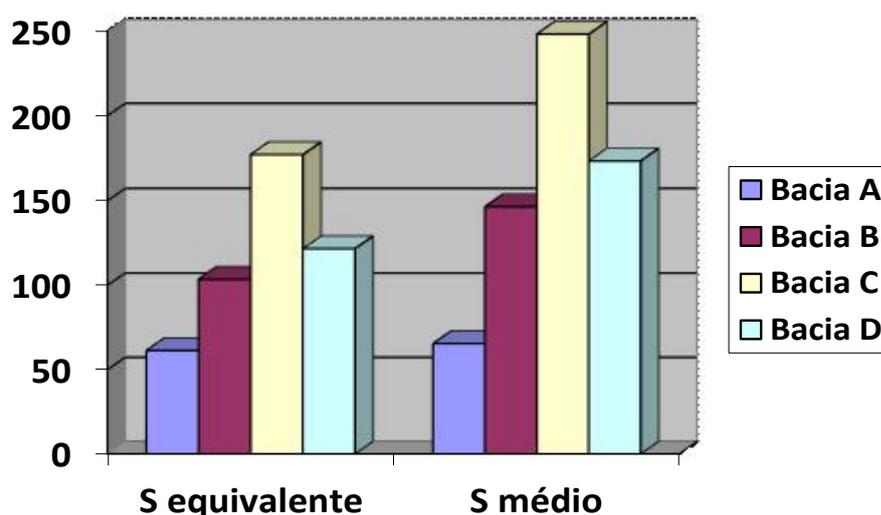


Figura 34 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Kirpich.

5.3 Resultados do Método de Dooge

Tabela 11 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Dooge.

Método de Dooge			
Bacia	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S médio
A	3,01	36,33755	37,98759
B	17,36	81,73824	96,46838
C	52,11	144,9894	169,2421
D	57,34	144,1072	168,2355

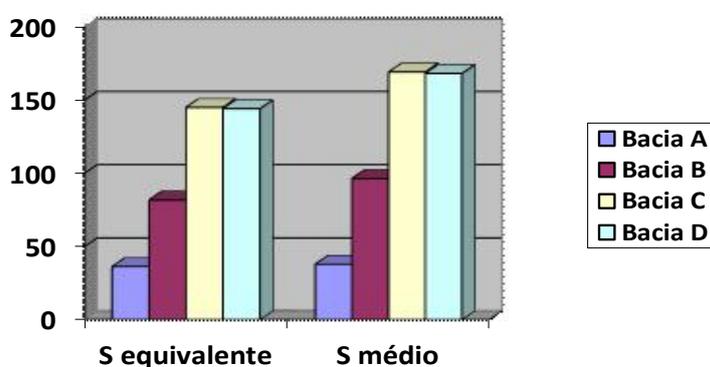


Figura 35 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Dooge.

5.4 Resultados do Método de Picking

Tabela 12 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Picking.

Método de Picking			
Bacia	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S Direto
A	3,01	59,74395	63,33191
B	17,36	117,804	157,5531
C	52,11	216,8128	287,4164
D	57,34	160,3797	215,8427

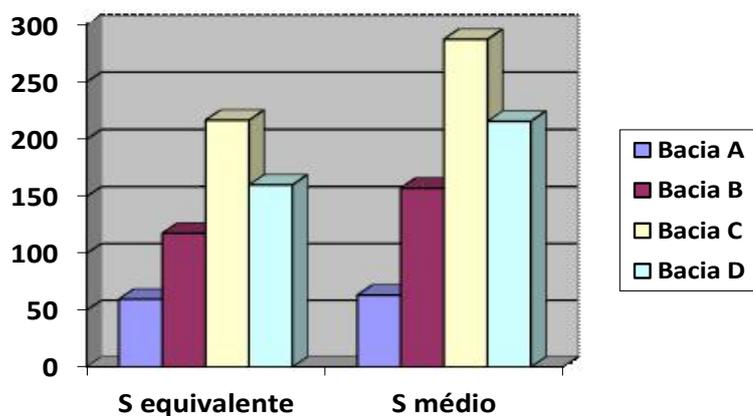


Figura 36 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Picking.

5.5 Resultados do Método de Giandotti

Tabela 13 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Giandotti.

Método de Giandotti				
Bacia	Área	Vazão m ³ /s		
		S equivalente	S (médio)	
A	3,01	102,7522	102,7522	
B	17,36	445,0354	445,0354	
C	52,11	1084,115	1084,115	
D	57,34	1073,218	1073,218	

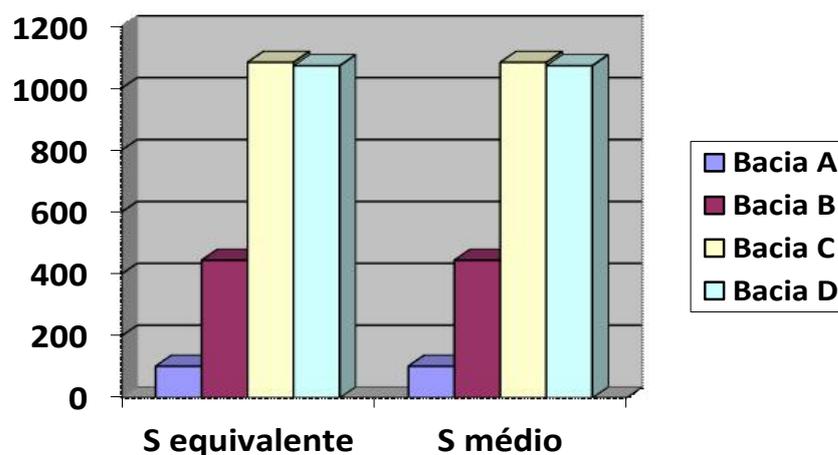


Figura 37 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Giandotti.

5.6 Resultados do Método de Ven Te Chow

Tabela 14 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ven Te Chow.

Método de Ven Te Chow			
Bacia	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S Direto
A	3,01	89,13597	93,10698
B	17,36	197,4009	296,6454
C	52,11	366,1693	572,3248
D	57,34	257,9512	429,9064

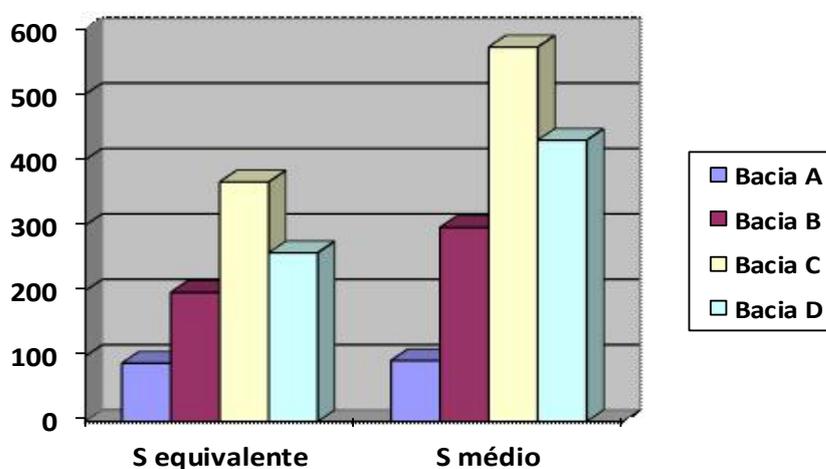


Figura 38 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ven Te Chow.

5.7 Resultados do Método de CCPratice

Tabela 15 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de CCPratice.

Método de CCPratice			
Bacia	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S Direto
A	3,01	65,50727	65,50727
B	17,36	146,5432	146,5432
C	52,11	248,0646	248,0646
D	57,34	173,3999	173,3999

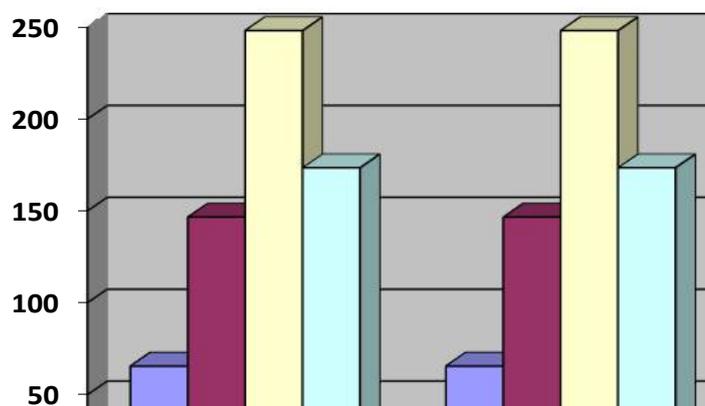


Figura 39 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de CCPratice.

5.8 Resultados do Método de Federal Aviation Agency

Tabela 16 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método Federal Aviation Agency.

Método de Federal Aviation Agency			
Bacia	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S médio
A	3,01	39,68493	43,07962
B	17,36	84,20955	115,6597
C	52,11	172,579	231,3758
D	57,34	141,6852	191,5069

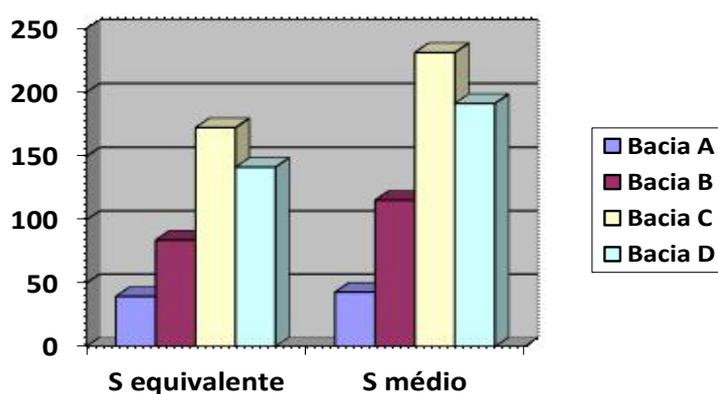


Figura 40 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método Federal Aviation Agency.

5.9 Resultados do Método de Arnell

Tabela 17 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método Arnell.

Método de Arnell			
Bacia	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S médio
A	3,01	74,73093	76,05509
B	17,36	217,2838	238,8804
C	52,11	442,1433	487,5522
D	57,34	362,7271	404,0274

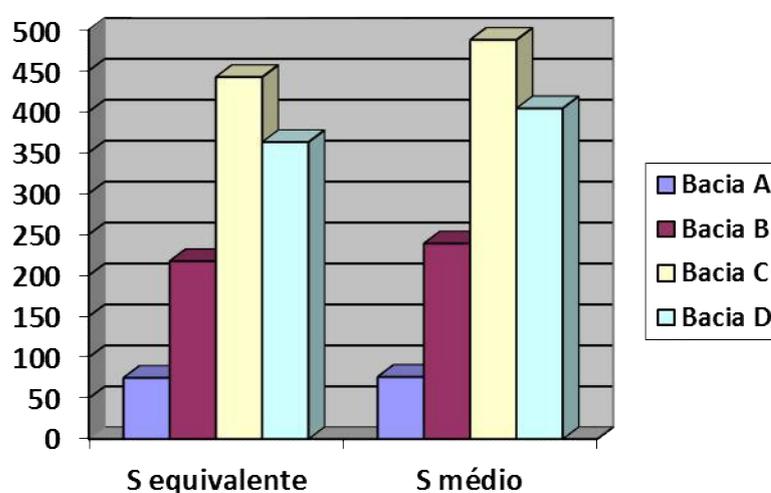


Figura 41 -Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método Arnell.

5.10 Resultados do Método de Bransby – Willians

Tabela 18 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Bransby – Willians.

Método de Bransby – Willians			
Bacia	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S médio
A	3,01	38,88731	38,88731
B	17,36	62,39126	62,39126
C	52,11	106,0241	106,0241
D	57,34	69,57918	69,57918

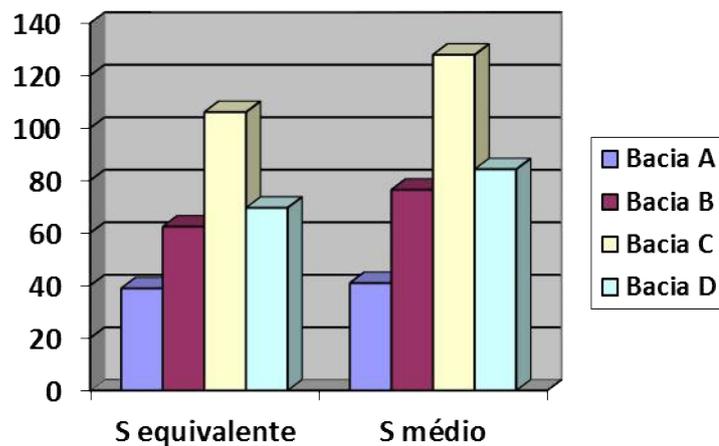


Figura 42 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Bransby – Willians.

5.11 Resultados do Método de Ondas Cinemáticas

Tabela 19 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ondas Cinemáticas.

Método de Ondas Cinemáticas				
Bacia	Área	Vazão m ³ /s		
		S equivalente	S médio	
A	3,01	17,32751	19,11037	
B	17,36	26,55197	36,83827	
C	52,11	48,00862	64,31658	
D	57,34	35,62839	47,75654	

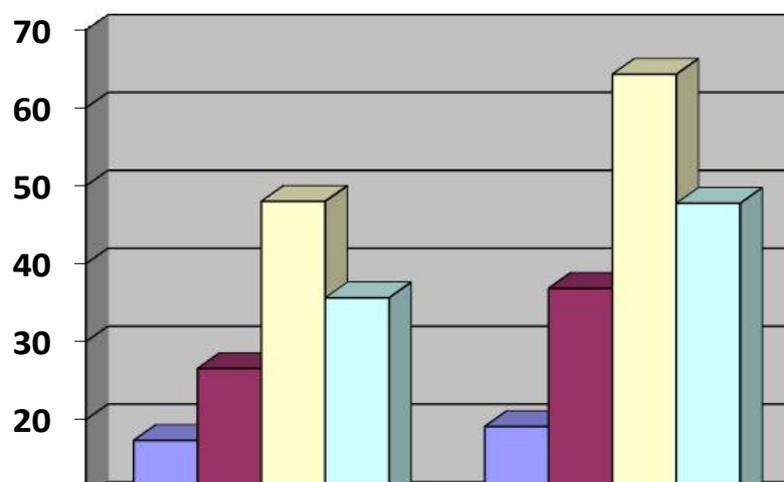


Figura 43 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ondas Cinemáticas.

5.12 Resultados do Método de Ondas Johnstones

Tabela 20 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de de Ondas Johnstones

Método de Ondas Johnstones			
Bacia	Área	Vazão m ³ /s	
		S equivalente	S médio
A	3,01	35,12229	36,31093
B	17,36	89,76456	101,224
C	52,11	184,784	206,3752
D	57,34	156,4853	175,2223

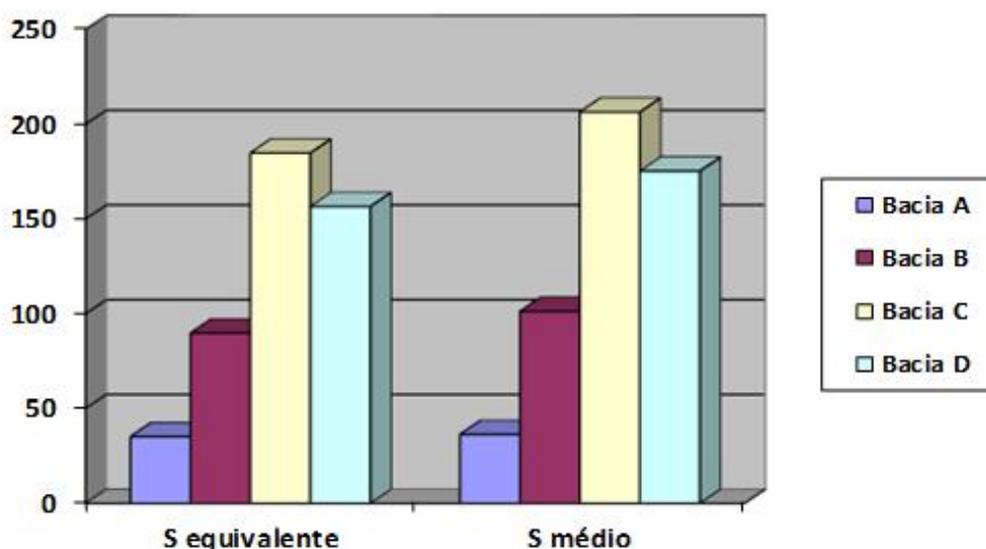


Figura 44 - Vazões obtidas após análise comparativa entre os resultados do Tempo de Concentração para o Método de Ondas Johnstones.

FONTE: O autor.

5.13 Comparações dos resultados

Mesmo considerando alguns dados extremados, verificou-se que no conjunto de variáveis a área representa pouca influência na geração dos Tcs, conforme resultados obtidos. Em contrapartida, verificamos que as variáveis declividade equivalente e média exercem papel decisivo na obtenção dos Tcs.

Considerando que o método do Kirpich é um dos mais utilizados, por ser adotado pela maioria dos organismos técnicos e seus projetistas, para o cálculo do tempo de concentração, buscou-se agrupar os métodos, considerando os resultados de vazão obtidos através da fórmula utilizada por Kirpich como 100%, comparando-se, então, com os demais.

A Bacia “A” com área de 3,01 km² as vazões para os diferentes métodos apresentam uma variação em torno de -74,37%% (Onda Cinemática) a 67,37%(Giandotti). Sendo a fórmula de Picking 59,74m³/s o resultado mais próximo da vazão obtida por Kirpich 61,39m³/s. Conforme a Tabela 21.

Tabela 21 - Resultados para a bacia A dos diferentes métodos.

Método	Vazão m³/s	Variação em relação a vazão Kirpich
Dooge	36,39	>40,82%
Picking	59,74	>2,69%
Giandotti	102,75	<67,37%
Ven-Te Chow	83,13	<45,15%
CC Praticce	65,51	<6,71%
FAA	39,68	>35,36%
Arnell	74,33	<21,08%
Bransby – Willians	38,88	>36,66%
Onda cinemática	17,32	>71,79%
Johnstone	35,12	>42,78%

Na Bacia B com área de 17,36 km² as variações foram entre - 74,37%% (Onda Cinemática) a 329,52% (Giandotti). Sendo a fórmula de Johnstone com 89,76m³/s, o resultado mais próximo da vazão obtida por Kirpich 103,61m³/s. conforme a Tabela 22.

Tabela 22 - Resultados para a bacia B dos diferentes métodos.

Método	Vazão m³/s	Variação em relação a vazão Kirpich
Dooge	81,73	>21,12%
Picking	117,80	<13,69%
Giandotti	445,03	<329,52%
Ven-Te Chow	197,40	<90,52%
CC Praticce	146,54	<41,43%
FAA	84,20	>18,73%
Arnell	217,28	<109,71%
Bransby – Willians	62,39	>39,78%
Onda cinemática	26,55	>74,37%
Johnstone	89,76	>13,37%

Para Na Bacia C com área de 52,11 km², as variações ficaram entre -72,91 (Onda Cinemática) e 511,76%(Giandotti). Sendo a fórmula de FAA com 172,57m³/s o resultado mais próximo da vazão obtida por Kirpich 177,21m³/s, conforme a Tabela 23.

Tabela 23 - Resultados para a bacia C dos diferentes métodos.

Método	Vazão m³/s	Variação em relação a vazão Kirpich
Dooge	144,58	>18,19%
Picking	216,81	<22,34%
Giandotti	1084,11	<511,76%
Ven-Te Chow	366,16	<106,62%
CC Pratices	248,06	<38,98%
FAA	172,57	>2,62%
Arnell	442,14	<149,50%
Bransby – Willians	106,02	>40,17%
Onda cinemática	48,08	>72,91%
Johnstone	184,78	<4,27%

Na Bacia “D” com área de 57,34 km², as variações ficaram entre - 70,71% (Onda Cinemática) e 780,76% (Giandotti). Sendo o método de FAA com 141,68m³/s o resultado mais próximo da vazão obtida por Kirpich 121,85 m³/s. Conforme a Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados para a bacia D dos diferentes métodos.

Método	Vazão m³/s	Variação em relação a vazão Kirpich
Kirpich	121,85	0
Dooge	144,10	< 18,26%
Picking	160,37	< 31,61%
Giandotti	1073,21	< 780,76%
Ven-Te Chow	257,95	< 111,69%
CC Pratices	173,39	< 42,29%
FAA	141,68	< 16,27%
Arnell	362,72	< 198,67%
Bransby – Willians	69,57	> 42,90%
Onda cinemática	35,62	> 70,71%
Johnstone	156,48	< 28,42%

As vazões demonstradas acima representam resultados produzidos através do conjunto de Métodos: Kirpich, Dooge, Picking, Giandotti, Ven Te Chow, Califórnia Culverts Practice, Federal Aviation Agency, Arnell, Bransby-Willians, Onda Cinemática e Johnstone, usado para o cálculo do Tempo de Concentração.

Como referência territorial utilizou-se a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Itaim, contribuinte do Rio Una pela margem esquerda. Com área de 57, 34 Km² esta bacia hidrográfica é composta de uso rural e urbano, (Figura 3). As figuras que se seguem demonstram graficamente para cada trecho de bacia definida neste estudo as variações dos Tempos de Concentrações, para os diferentes métodos.

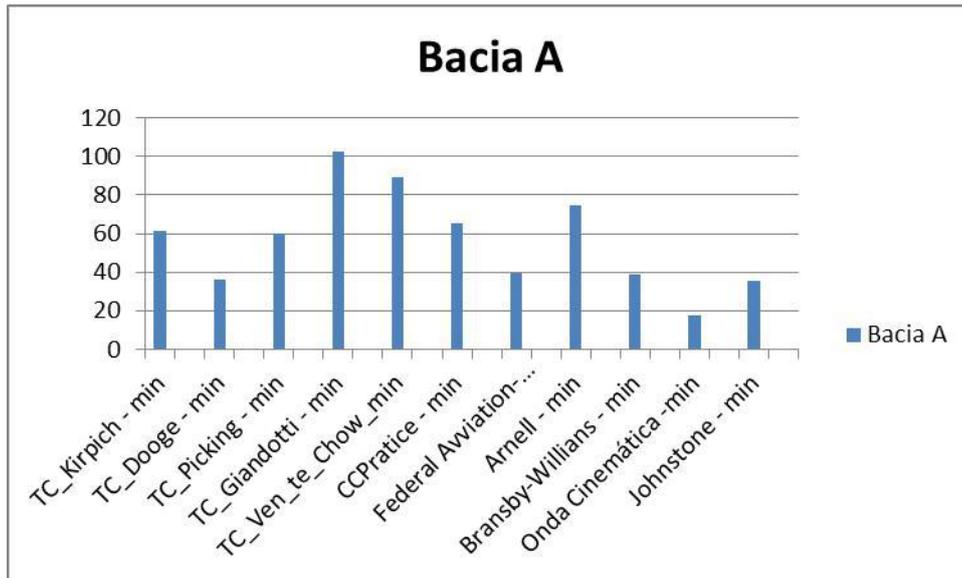


Figura 45 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia A.

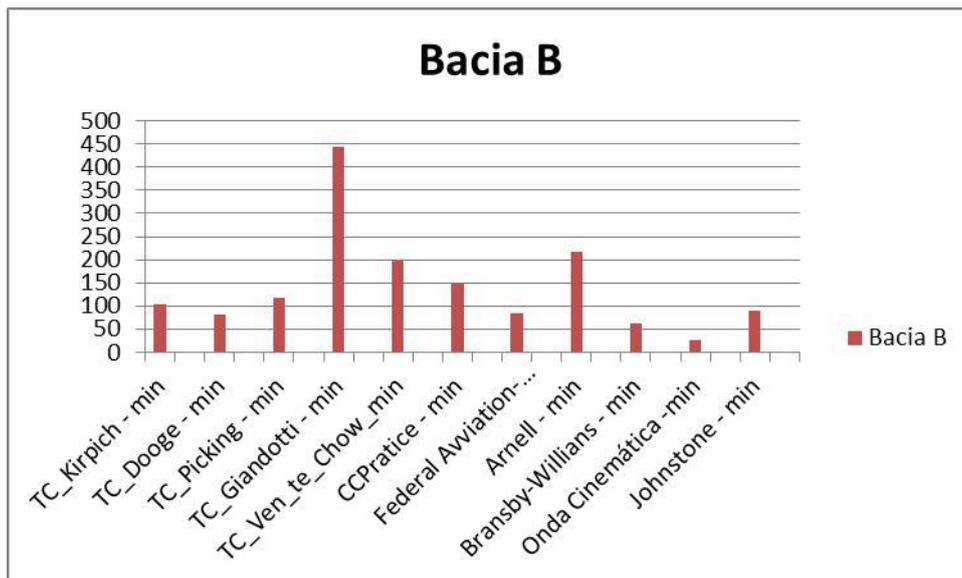


Figura 46 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia B.

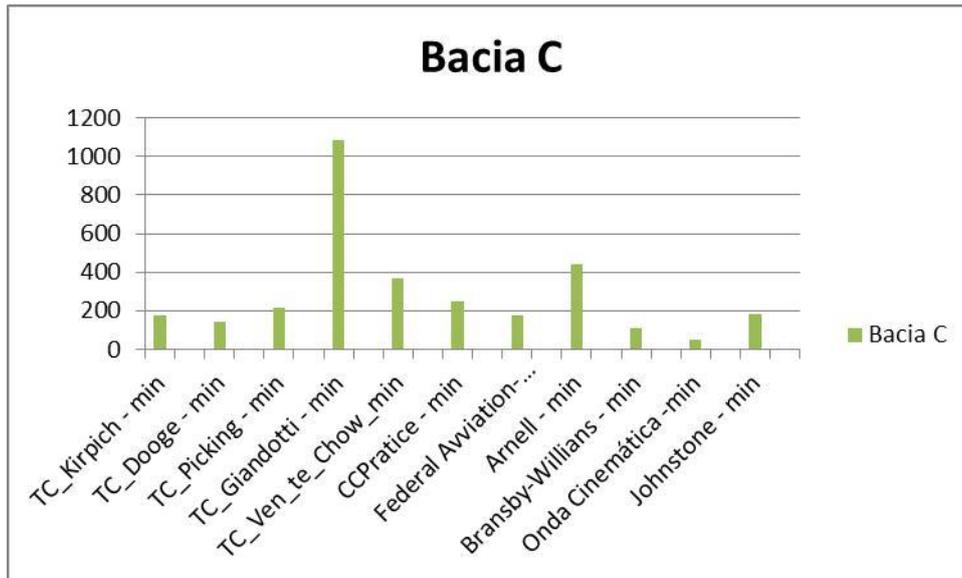


Figura 47 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia C.

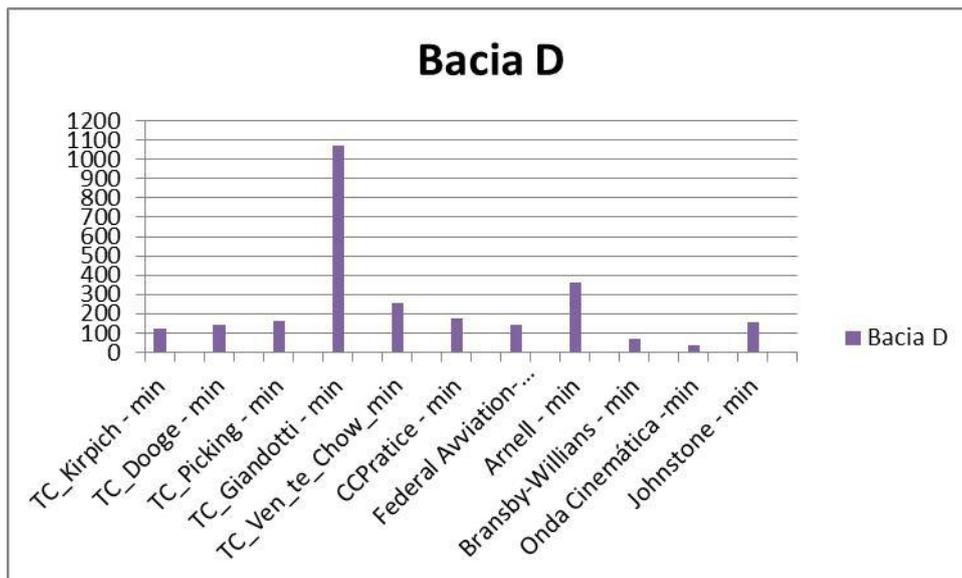


Figura 48 - Gráfico dos valores de Tc pelos os Métodos estudados para a Bacia D.

Observou-se, também, na análise dos Tcs quando aplicados no cálculo de vazões, que os resultados são inversamente proporcionais, ou seja, Tc menor Vazão maior, ou o inverso é verdadeiro.

Considerando o território da bacia na sequencia montante para jusante e com base no quadro comparativo para a bacia “A” verificou-se que os métodos: Picking, CC Praticce e Arnell apresenta uma variação em torno de 2,690% a 21,08%, em relação a Kirpich. Para os métodos Dooge, Gindotti, Ven-Te Chow, FAA, Bransby –

Willians, Onda Cinemática e Johnstone, com base no mesmo referencial, as variações foram da ordem de 35,36% a 71.79%

Tabela 25 - Variação coerente com o Método de Kirpich para Bacia A.

Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia A 3,01 Km²	
Picking	2,69%
CC Praticce	6,71%
Arnell	21,08%

Tabela 26 - Variações não coerentes com o método de Kirpich para Bacia A

Variações não coerentes com o método de Kirpich para bacia A 3,01 Km²	
Dooge	40,82%
Giandotti	67,31%
Ven-Te Chow	45,19%
FAA	35,36%
Bransby – Willians	36,66%
Onda cinemática	71,79%
Johnstone	42,79%

Quando a análise se refere ao trecho AB, ou seja, com área de 17,36 km², os métodos Dooge, Picking, FAA e Johnstone apresentaram variações de 13,27% a 21,12%. Para os métodos Giandotti, Ven-Te Chow, CC Praticce, FAA, Arnell, Bransby – Willians, Onda Cinemática as variações ficaram no intervalo entre 39,78% a 329,52%.

Tabela 27 - Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia AB.

Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia <u>AB</u> 17,36Km²	
Dooge	21,12%
Picking	13,69%
FAA	18,73%
Johnstone	13,37%
Gindotti	329,52%
Ven-Te Chow	90,52%
CC Praticce	41,43%
Arnell	109,71%
Bransby – Willians	39,78%
Onda cinemática	74,37%
Gindotti	329,52%

Para a bacia C com área de 52,11 km², os métodos Dooge, Picking, FAA e Johnstone apresentaram variações entre 2,62% a 22,34%. Enquanto que para a mesma bacia os métodos Giandotti, Ven-Te Chow, CC Praticce, Arnell, Bransby – Willians e Onda Cinemática, apresentaram variações entre 39,98% a 511,76%.

Tabela 28 - Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia AC.

Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia <u>AC</u> 52,11 Km²	
Dooge	18,19%
Picking	22,34%
FAA	2,62%
Johnstone	4,27%
Giandotti	511,76%
Ven-Te Chow	106,62%
CC Praticce	39,98%
Arnell	149,50%
Bransby – Willians	40,17%
Onda cinemática	72,91%

Já no caso da bacia AD com área de 57,34 km², os métodos Dooge e FAA, apresentaram variações entre 16,27% e 18,26%, enquanto que os métodos Picking Giandotti, Ven-Te Chow, CC Praticce, Arnell, Bransby – Willians e Onda Cinemática. Apresentaram variações entre 28,42% a 780,76%.

Tabela 29 - Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia AD.

Variações coerentes com o método de Kirpich para bacia <u>AD</u> 57,34 Km ²	
Dooge	18,26%
FAA	16,27%
Picking	86,56%
Giandotti	780,76%
Ven-Te Chow	111,69%
CC Pratices	42,29%
Arnell	198,67%
Bransby – Willians	42,90%
Onda cinemática	70,71%
Johnstone	28,42%

Com o objetivo de identificar o conjunto de métodos com aplicabilidade representativa em bacias com tais características, buscou-se agrupar os métodos cujos resultados são relativamente semelhantes.

5.14 Dimensionamento hidráulico

Com base na utilização dos diferentes métodos de cálculo do Tc, uma variedade de vazões foi obtida e, para melhor elucidar as consequências da escolha do método mais adequado para o dimensionamento hidráulico necessário a uma secção de controle, foram calculadas as dimensões de condutos para satisfazer a vazão de projeto obtida para cada item.

6 CONCLUSÃO

Concluiu-se que um conjunto de Métodos Teóricos, para calcular o Tempo de Concentração, tendo como território a Bacia Hidrográfica do ribeirão Itaim, contribuinte direto da margem esquerda do Rio Una, com área de 57,34 Km² esta bacia hidrográfica, composta de uso rural e urbano apresentou situações de métodos aplicáveis e métodos que apresentaram resultados discrepantes.

Foram identificados como métodos aplicáveis para a bacia em estudo, que são Dooge e Federação Aviação que apresentaram variações entre 16,27% e 18,26% em relação a Kirpch.

Enquanto que os métodos Picking Giandotti, Ven-Te Chow, CC Praticce, Arnell, Bransby – Willians e Onda Cinemática. Apresentaram variações entre 28,42% a 780,76%.

Disso decorre que a utilização dos métodos Dooge e FAA podem ser utilizados para cálculo de obras hidráulicas, com resultados de vazões, sem o risco de superdimensionamento de estruturas e custos.

Em contrapartida, os demais métodos estudados não devem ser utilizados em bacias similares a bacia do Itaim, sob pena de produzir resultados de vazões discrepantes e muito distantes da situação real, produzindo resultados superdimensionados de estruturas e custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARÇÃO AMBIENTAL. Revista Bimestral. Viçosa, MG. **Imprensa Universitária**. Ano I., Nº 0 Junho/Julho, 1998.
- AGUIAR, V.L.A. **Conservação da água**. In: Água desafio do século XXI. 1998.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos**. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.
- AMARAL, L.A. **Projeto de Pesquisa FAPESP de Qualidade Higiênico-Sanitária e Teor de Nitratos em Amostras de Água de Dessedentação Animal e Humana em Propriedades Leiteiras situadas na região nordeste do Estado de São Paulo**. p. 119, 2003.
- ARAÚJO, F.G. **Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes do Rio Paraíba do Sul**. Revista Brasileira de Biologia, São Carlos, v.58, n.4, nov/ 1998.
- ARCOVA, F.C.S. **Função Hidrológica da Zona Ripária**. In: **Curso sobre Recursos Hídricos: Produção, Conservação e Recuperação**. São Paulo: SIMA/SP, IF, CBH-PSM, FEHIDRO, 1999. p 70-101.
- AULICINO, L.C.M; RUDORFF, B.F.T; MOREIRA, M.A; MEDEIROS, J.S. de; SIMI, R.J. **Subsídios para o manejo sustentável da bacia hidrográfica do rio Una através do uso de técnicas de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, São Paulo, 1999. 9.p.
- Balanço Hídrico de Taubaté. In: **Banco de Dados climáticos do Brasil**. Embrapa monitoramento por Satélite e ESALQ-USP. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 abr. 2014.
- BELINAZZI, R. JR., LOMBARDI NETO, F,BOVI, J.E., PESSOA, N.S., GALETI,P.A, ASSUMPÇÃO, P.E. **Plano Diretor de Uso e Manejo da Microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha Iracemópolis**. 1987, p.41-49.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 112 p.
- BENETTI, A.; BIDONE, F. **O meio Ambiente e os Recursos Hídricos**. In: TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: ciência e aplicação. 1.ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. cap. v.4, p. 850-851, 868-869.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, F.N. **Conservação do solo**. São Paulo. Ícone, 1990, p.28.
- BRASIL, Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**: 1988. São Paulo: Saraiva, 1992. 168p.

BRASIL. Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o novo Código Florestal**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/Codigos/novo-codi.htm>>. Acesso em: 8 ago. 2017.

BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de Agosto de 1981. **Legislação Federal de Meio Ambiente**. Brasília: IBAMA, 1996. 2081p.

BRASIL. **O Caminho das Águas: Informações Básicas sobre o Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. 2 ed. Fortaleza: COGERH, 1997. 23p., il, p.3-21.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Recursos Hídricos. 2ª ed. Ver. Atual. Brasília 1999.

BRASIL. **Preserve a água e a vida: Informações Básicas sobre o Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. 2 ed. Fortaleza: COGERH, 1997. 23p., il, p.12.

BRASIL. Resolução CONAMA n.20, de 18 de junho de 1986. **Estabelece classificação das águas segundo seus usos preponderantes**, 1984 /86. Brasília: SEMA, 1986. 92p. p.72-79.

CADASTRO TÉCNICO E IMOBILIÁRIO. Prefeitura Municipal de Taubaté, 2003.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. M. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo – RJ**. Revista Árvore, Viçosa – MG, v.30, n.2, p. 241-248, 2006.

CBH-PS. **Plano das Bacias Hidrográficas - Serra da Mantiqueira e Rio Paraíba do Sul**. São Paulo, 2001. Relatório Final, Cooperativa de Serviços, Pesquisa Tecnológicas e Industriais, Cd-rom.

CBH-SM. **Relatório Técnico Preliminar Zoneamento Ambiental da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – MANTIQUEIRA (UGRHI 01)**. Comitê das bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira (CBH-SM). São Paulo. 2009. 143p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. Rev. Geomorfol, Campinas, v.18, n.9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313 p.

CONDINI, P. **Educação Ambiental - Qualidade das Águas**. São Paulo: SMA/CEAM, 1998. 31p. p. 5-7.

CORRÊA, R. C. **Avaliação das atividades antrópicas sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim**, Taubaté, São Paulo. Taubaté, 2001. 109p.il. Dissertação de mestrado, Universidade de Taubaté, UNITAU, Taubaté-SP, dez/2001. p. 50-53.

CURVELLO, R. T.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. dos S. **Estudo dos impactos da ocupação humana na microbacia do rio Batedor na serra da Mantiqueira no município de Cruzeiro, SP**. Revista Ambi-Água, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 91-107, 2008.

DAEE. **Dados pluviométricos de Campos do Jordão. Banco de Dados Hidrometeorológicos do Estado de São Paulo**, Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm2.exe/plu>>. Acesso em: 8 ago. 2017.

DAEE. **Formulário de requisitos básicos para outorga e fiscalização de uso dos recursos hídricos**, de acordo com o regulamento da Lei nº 7.663/91.

DAEE. **Os princípios fundamentais da água**. Secretaria de Energia e Saneamento Governo de São Paulo: São Paulo, 1989.

DAEE/MINTER. **Levantamento de dados para o uso e conservação da bacia do Ribeirão Itaim**, DAEE: São Paulo, 1974.

DAROLT, M.R. **As Dimensões da Sustentabilidade: Um estudo da agricultura orgânica na região metropolitana de Curitiba-PR**. Curitiba, 2000. Tese de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná/ParisVII. 310p. Cd-rom.

DeBANO, L.F & SCHMIDT, L. J. **Improving Southwestern riparian areas through watershed management**. USDA Forest Service, General Technical Report RM-182. Apud ARCOVA, F. C. S; CICCIO, V. Projeto Manejo de Bacias Hidrográficas experimentais. Função Hidrológica da Zona Ripária: São Paulo, 1999. p.72.

EMMERICH, W.; MARCONDES, M. A. P. **Algumas características no manejo de Bacias Hidrográficas**. Boletim Técnico nº 18. São Paulo. p.1.

FERNANDES, M.R. & RODRIGUES R.A. **Água, Solo e Vida**. EMATER: Minas Gerais, 1980.

FIORI, A. P.; NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C. **Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia, GO, 2006. 10p.

FISCH, G. **Caracterização climática e balanço hídrico de Taubaté, São Paulo**. Revista Biociências, Taubaté, 1995, v.1, n.1, p.81-90.

FLORENÇANO, J.C. S. **Avaliação da qualidade das águas de abastecimento em municípios da região paulista do Vale do Rio Paraíba do Sul e da Serra da Mantiqueira, Taubaté, São Paulo**. Taubaté, 2001. 117 p.il. Dissertação de mestrado, Universidade de Taubaté, UNITAU, Taubaté-SP, dez/2001. p. 96-97.

FOLHA DO MEIO AMBIENTE. **Entre no Clima**. Brasília-DF, dezembro, 2000. a.11, n.111, p.29.

FREITAS, R. O. **Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica**. Boletim Paulista de Geografia, v.11, p. 53-57, 1952.

GARCEZ, L.N. **Hidrologia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1974. cap. 3, p.46.

GNIGLER, M.L. **A poluição dos Mananciais por dejetos suínos**. Curitiba, Paraná. Curitiba. Disponível em: <www.mppr.com.br/teses>. 2002. 2003. Tese 14 aprovada em ementa modificativa no 13º Congresso Nacional do Ministério Público.

GRISOLIA, J. F. A. **Projeto de Manejo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas. Contribuição a estudos hidrológicos**. Serviço do Vale do Paraíba, Boletim Técnico 4, São Paulo. 1970. p. 4.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin, v.56, p. 807-813, 1945. <http://www.aguawebsite.hpg.fg.com.br>, 2003. Acesso em: 20 abr. 2016.

IBGE. **Censo Demográfico de 2000**. São Paulo, 2000. <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Solos do Brasil**. Brasil. 2002. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/solos.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.

IPT. Instituto de Pesquisa Tecnológica. **Relatório Técnico sobre Campos do Jordão-SP**. (Relatório nº 64.399). 2003.

KOBIYAMA, M. **Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana**. Revista OESP.Construção, São Paulo: Estado de São Paulo, Ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, M. M.; KANASHIRO, M. M.; YWANE, M. S. S.; LIMA, L. M. P. R. et al. **Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1569-1576. <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.01.10.06/doc/1569.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2016..

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P.T.A. **Análise Morfométrica da Bacia do Rio do Tanque, MG-BRASIL**. REM. Ouro Preto-MG, Vol 54(2), p. 121-126, 2001.

LEOPOLDO, P.R. **Curso Básico de Irrigação e Drenagem: Hidrologia Aplicada**. Departamento de engenharia Rural. Botucatu -SP, 1986, 50p.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1986. 242p.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. Tese de Doutorado, São Carlos, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1995.

LOMBARDI NETO, F. **Microbacia do Córrego São Joaquim**. Pirassununga, São Paulo. IAC: 1992. p.72.

LOMBARDI NETO, F. **Plano Diretor de Uso e Manejo da Microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha Iracemópolis**. 1987. p.41-49.

LORANDI & CANÇADO. **Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**, c.5. p.57. In SCHIAVETTI, A & CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilhéus-BA. 293p. Editus, 2002. p.220.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. São Paulo, 2002. 154p. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ, Piracicaba, março/2002.

MAGALHÃES, I.A.L.; JUNIOR, B.S.G.; FREITAS, C.A.A. **Comparação entre métodos de estimativa de escoamento superficial e de vazão máxima na bacia de rio novo do sul, região sul do estado do espírito santo Brasil**. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.4, p. 263 - 273 outubro/dezembro de 2011.

MANTOVANI. Apud OLIVEIRA-FILHO, A. T. **Estudos ecológicos da vegetação como subsídio para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica**. Cerne, Lavras, v.1,n.1, p.64-72,1994

MARTINEZ JUNIOR, F. & MAGNI, N.L.G. **Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo**. Convenio DAEE-USP. São Paulo DAEE/CTH, 1999. 141p.

MILARÉ, E. Revista dos Tribunais. Apud MAGALHÃES, C. S. & FERREIRA, R. M. A. **Informe Agropecuário, Manejo de microbacias**. Áreas de preservação permanente em uma microbacia. Belo Horizonte, nov/dez2000. v. 21, n.207, p. 33-39.

MORAES, J.M.; PELLEGRINO, G.Q.; BALLESTER, M.V.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L & KRUSCKE, A.V. **Water Resources Management**, p.295-311, 1998. Apud SCHIAVETTI, A & CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilhéus-BA. 293p. Editus, 2002. p.220.

NETTO, O.C. **A abundância de água no Brasil é uma ilusão**. In: Folha do Meio Ambiente. Brasília, a.12, n.124, março, 2002. p.9.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no Mapa pedológico**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. Boletim Científico, 45. 112p.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. **Edinburgh Journal of Botany**. Apud DAVIDE, A. C. et al. Apud Informe Agropecuário. **Manejo de Microbacias. Restauração de matas ciliares**. Belo Horizonte: UFLA, nov/dez 2000. v.21, n. 207. p.65-74.

PFRAFSTETTER, Otto. **Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas, registradas com pluviógrafos, em 98 postos meteorológicos**. 2a. ed.Rio de Janeiro: DNOS, 1982. 426p.

PINTO, W. D. **Legislação Federal de meio ambiente**. Brasília: IBAMA, 1996.2081p.

PIRES, J.S. & SANTOS, J.E. **A utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para conservação dos recursos naturais**, 2002. p.17-35. In: SCHIAVETTI, A &

CAMARGO, A.F.M. Conceitos de Bacias Hidrográficas. Ilhéus-BA. 293p. Editus, 2002. p.220.

RANZINI, M. **Balanço Hídrico, ciclagem geoquímica de nutriente e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com Eucaliptus saligna Smith no Vale do Paraíba, São Paulo.** Piracicaba: ESALQ, 1990. 99P. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, 1990. Apud Informe Agropecuário. Manejo de Microbacias. Restauração de matas ciliares. Belo Horizonte: UFLA, nov/dez 2000. v.21, n. 207. p.15-20.

REATTO, A.; SPERA, S. T.; CORREIA, J. R.; MILHOMEM, A. S. **Caracterização dos solos e sua associação com as fitofisionomias em uma bacia hidrográfica: aspectos pedológicos e químicos.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 23p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa, 8), 1999.

RODRIGUES, J. R. D. D. **Avaliação da qualidade sanitária da água, em áreas de recreação do Rio Piracuama, no município de Pindamonhangaba-SP.** Taubaté, 2001. 96p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade de Taubaté-SP.

ROPPA, L. **O vice-versa da criação de suínos.** Revista Globo Rural. Ano 14, n.165, julho, 1999, p.46-50.

SANCHES, F. O. **As possíveis alterações microclimáticas devido à formação do lago da hidrelétrica de Tucuruí - PA.** Taubaté, 2002. 91p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade de Taubaté-SP.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. **Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo em bacias hidrográficas do município de Campos do Jordão, SP, Brasil.** Ambi-Agua, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 110-126, 2011.

SÃO PAULO (ESTADO). **Conselho Estadual de Recursos Hídricos.** Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE, 1990. p.8, 26.

SÃO PAULO (estado). **Política Estadual de Recursos Hídricos.** Lei 7663 de 30 de dezembro de 1991. São Paulo, 19p. 1991. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

SÃO PAULO (estado). **Relatório Técnico Preliminar Zoneamento Ambiental da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – MANTIQUEIRA (UGRHI 01).** São Paulo. 143p.

SÃO PAULO (ESTADO). **Uma nova política de Mananciais-Diretrizes e Normas para a Proteção e Recuperação das Bacias Hidrográficas dos Mananciais de Interesse Regional do Estado de São Paulo.** Lei 9.866, cap. Lei Geral, São Paulo. 1997. p. 10.

SÃO PAULO. **Revista Águas e Energia Elétrica - DAEE.** Sistemas de canais e túneis vai garantir água para São Paulo. São Paulo: DAEE, 1998.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; LOMBARDI NETO, F. **Classificação Hidrológica de solos brasileiros para estimativa de chuva excedente com o método do Serviço de Conservação de solos dos Estados Unidos** Parte 2: Aplicação. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. Volume 10, n. 4. 2005. p.19-29.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de solos brasileiros para estimativa de chuva excedente com o método do Serviço de Conservação de solos dos Estados Unidos** Parte 1: Classificação. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. Volume 10, n. 4. 2005. p.5-18.

SCHIAVETTI, A & CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilhéus-BA. 293p. Editus, 2002. p.220.

SCHUMM, S.A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy**. Geological Society of America Bulletin, n.67, p. 597- 646, 1956.

SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966. 61p.

SILVEIRA, A. L. L.. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. In: **TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: ciência e aplicação**. 1.ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. cap. v.4, p. 40-41, 45-46.

SILVEIRA, A.L.L; **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.1 Jan/Mar. Porto Alegre, RS. 2005.

SMEDEMA, L.K. e RYCROFT, D.W. Design discharges. In: SMEDEMA & RYCROFT. **Land Drainage**. Planing and Desing of Agricultural Drainage Systems. London, B.T. Batsford Ltd, 1988. cap. 8, p.164-205.

SOUZA, E. R. e FERNANDES, M.R. **Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais**. In: Informe Agropecuário. Manejo de Microbacias. Belo Horizonte: UFLA, nov/dez 2000. v.21, n. 207. p.15-20.

SOUZA, E.R. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola**. Lavras, 1996, 91p. Dissertação de Mestrado – Engenharia Florestal/Manejo Ambiental, Universidade Federal de Lavras, 1996.

STRAHLER, A.N. **Hypsometric analysis and erosional topography**. Geological Society of America Bulletin, v.63, p. 1117-1142, 1952.

TARGA, M. S. **Estudo Hidrológico da Bacia do Rio Una: Subsídios para estabelecimento de planos de macrodrenagem no Vale do Paraíba do Sul - SP**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais –UNITAU. Taubaté, SP. p. 1-14. 2009.

TARGA, M.S. **VAZÃO DE PROJETO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS COM ÁREAS EM DECLIVE**. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais,

Universidade de Taubaté - UNITAU, Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Recursos Hídricos, (<http://www.agro.unitau.br/dspace>). p. 1 -20, 2011.

TECNORTE. Disponível em:<<http://www.tecnorte.rj.gov.br/conservacao>>. Acesso em: 13 set. 2016.

TIMS, J. **The role of the riparian zone as it affects water quality**. In: Symposium on Riparian Zone Management. Canadá, jan. p.17-19, 1994. Apud ARCOVA, F.C.S. Função Hidrológica da Zona Ripária. In: Curso sobre Recursos Hídricos: Produção, Conservação e Recuperação. São Paulo: SIMA/SP, IF, CBH-PSM, FEHIDRO, 1999. p 70-101.

TONELLO, K. C. et al. **Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG**. Revista Árvore, Viçosa, v. 30, n. 5, set./out. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n5/a19v30n5.pdf> >. Acesso em: 14 nov. 2007

VALENTE, O. F.; CASTRO, P. S. **Manejo de bacias hidrográficas. Informe agropecuário**. Belo Horizonte, 1981. v.7, n. 80, p.40-45. Apud INFORME AGROPECUÁRIO. Manejo de Microbacias. Belo Horizonte, nov/dez 2000. v.21, n. 207, p.15-20.

VISSMAN Jr., W. et al. **Introduction to hydrology**. New York, Intext Educational, 1972. Apud VILLELA, S. M.; MATTOS A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. cap.2. p. 6.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

WALTER , B.M.T. & RIBEIRO. J.F. **Spatial floristic patterns in Jalberz Forests in the Cerrado Region, Brazil**. In: International Symposium on Assessment and monitoring of forests in tropical dry regions with special reference to Gallery Forests, Brasília, 1997. p.138-148. Apud Informe Agropecuário. Manejo de Microbacias. Restauração de matas ciliares. Belo Horizonte: UFLA, nov/dez 2000. v.21, n. 207.

WISLER, C. D.; BRATER, E. F. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Livro Técnico. 484 p. 1964.