

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS POÇOS DE CALDAS**

LEONARDO SANTOS BARBOSA

**MODELAGEM CHUVA-VAZÃO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA À ANÁLISE
DO COEFICIENTE DE ABSTRAÇÃO INICIAL DO MÉTODO CURVA NÚMERO**

POÇOS DE CALDAS/MG

2021

LEONARDO SANTOS BARBOSA

MODELAGEM CHUVA-VAZÃO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA À ANÁLISE
DO COEFICIENTE DE ABSTRAÇÃO INICIAL DO MÉTODO CURVA NÚMERO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, *campus* Poços de Caldas. Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves

Co-Orientador: Prof. Dr. Alexandre Silveira

POÇOS DE CALDAS/MG

2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca campus Poços de Caldas

Barbosa, Leonardo Santos.

B238m Modelagem chuva-vazão: uma proposta metodológica à análise do coeficiente de abstração inicial do Método Curva Número / Leonardo Santos Barbosa. -- Poços de Caldas/MG, 2021.
63 f. --

Orientador(a): Flávio Aparecido Gonçalves.
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) –
Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2021.
Bibliografia.

1. Ciclo Hidrológico. 2. Bacia Hidrográfica. 3. Escoamento Superficial. I. Gonçalves, Flávio Aparecido. II. Título.

CDD – 628.1

LEONARDO SANTOS BARBOSA

**MODELAGEM CHUVA-VAZÃO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA À ANÁLISE
DO COEFICIENTE DE ABSTRAÇÃO INICIAL DO MÉTODO CURVA NÚMERO**

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas.
Área de Concentração: Ciência e Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 22 de fevereiro de 2021



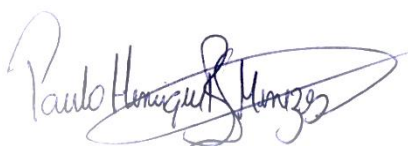
Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha

UNIFAL-MG



Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves

UNIFAL-MG



Prof. Dr. Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes
UNIFAL-MG

Dedico à minha mãe, ao meu pai, minha irmã,
meu irmão, aos meus sobrinhos, à minha
namorada e a todos aqueles que foram
importantes nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por estar sempre presente em minha trajetória, por me dar força, ânimo, coragem e fé, para alcançar os meus objetivos.

À Universidade Federal de Alfenas, em especial o Instituto de Ciência e Tecnologia, pela oportunidade de realizar este curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço em especial ao meu grande amigo, orientador e professor Dr. Flávio Aparecido Gonçalves, por todo aprendizado, paciência, esforço, ensinamentos e confiança que sempre depositou em mim.

Agradeço aos meus exemplos de vida, meus pais, Angela e Antônio, os grandes responsáveis por tudo, pelo carinho, incentivo e apoio, por nunca medirem esforços para que eu e meus irmãos atingíssemos nossos objetivos.

Aos meus irmãos Juninho e Marília, e meu cunhado Paulinho, por serem muitas vezes meus pais e exemplos. Aos meus sobrinhos Heitor, Helena e Matheus, por todo amor.

Aos amigos que fiz em Poços, principalmente a turma do Resenha Megazord, e os momentos incríveis que nunca serão esquecidos. Em especial aos irmãos de coração Vivi, Dudu e Danilin.

Aos meus amigos de infância, da grande Guaranésia, que cresceram comigo e viveram momentos que serão eternamente lembrados em todos nossos encontros, um grande obrigado.

À minha namorada, parceira e amiga, Vanessa e sua família, por sempre acreditarem em mim para obter mais essa conquista.

À Dona Neuzinha, por ser minha mãezona nos últimos anos, sempre preenchendo o vazio que a distância da minha família causava.

RESUMO

O Método Curva Número (CN) é um dos mais utilizados para a previsão do escoamento superficial direto a partir da conversão de chuva em uma bacia hidrográfica. Entretanto, apresenta incertezas quanto a sua utilização, pois depende de parâmetros fisiográficos, característicos de cada área, além da suposição de que o coeficiente de abstração inicial, pode ser definida pela constante 0,200. As propostas deste estudo foram (1) contribuir com uma proposta metodológica para analisar o coeficiente de abstração inicial a partir de dados chuva-vazão; (2) caracterizar os eventos de chuva-vazão e a separação dos escoamentos superficial e subterrâneo por diferentes métodos; (3) caracterizar o coeficiente de abstração inicial (λ) e o Curva Número (CN); (4) correlacionar as lâminas de escoamentos superficiais observadas com as estimadas por diferentes coeficientes de abstração inicial (λ). Foram utilizados 43 eventos para a Bacia Hidrográfica Rio Santana, obtidos por meio do portal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os resultados indicaram que o método de separação gráfica, para esta bacia de estudo, gerou os melhores dados para análises dos parâmetros obtidos por meio do método curva número. O coeficiente de abstração inicial variou entre 0,006 e 0,376, apresentando uma média de 0,138, menor que o proposto originalmente pelo método. A análise dos dados de escoamento superficial em blocos, possibilitada pela confirmação da distribuição normal dos dados de coeficiente de abstração inicial, gerou maiores correlações entre as lâminas estimadas e observadas, o que pode caracterizar uma menor influência dos parâmetros fisiográficos e maior concentração no comportamento hidrológico do conjunto de dados. Para os dados de vazões máximas, as análises em blocos não foram satisfatórias, entretanto, para os valores menores que 50 m³. s⁻¹, obtivemos uma correlação entre vazões estimadas e observadas. Uma nova proposta metodológica é benéfica para obtenção de resultados em bacias não estudadas, visto sua facilidade e simplicidade de aplicação.

Palavras-chave: Modelagem Hidrológica. Eventos Hidrológicos. Escoamento Superficial.

ABSTRACT

The Curve Number Method (CN) is one of the most used to prediction direct runoff from the conversion of storm rainfall in a hydrographic basin. However, it presents uncertainties regarding its use, as it depends on physiographic parameters, characteristic of each area, in addition to the assumption that the constant 0.200 can define the initial abstraction ratio. The proposals of this study were: (1) to contribute with a methodological proposal to analyze the initial abstraction ratio based on rain-flow data; (2) characterize the rain-flow events and the separation of quickflow and baseflows by different methods; (3) characterize the initial abstraction ration (λ) and the Number Curve (CN); (4) correlate the observed quickflow runoff with those estimated by different initial abstraction ratios (λ). 43 events were used for the Santana River Basin, obtained through the portal of the Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). The results indicated that the graphic separation method, for this study basin, generated the best data for analysis of the parameters obtained through the curve number method. The initial abstraction ratio varied between 0.006 and 0.376, presenting an average of 0.138, lower than that originally proposed by the method. The analysis of the runoff data in blocks, made possible by the confirmation of the normal distribution of the initial abstraction ratio data, generated greater correlations between the estimated and observed runoffs, which may characterize a lesser influence of the physiographic parameters and a greater concentration on the hydrological behavior of the data set. For maximum flow data, the block analyzes were not satisfactory, however, for values less than $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, we obtained a correlation between estimated and observed flows. A new methodological proposal is beneficial to obtain results in non-studied basins, given its ease and simplicity of application.

Keywords: Hydrological Modeling. Hydrological Events. Direct Runoff.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento dos escoamentos a partir de eventos de precipitação....	14
Figura 2 - Métodos gráficos para separação dos escoamentos superficiais e subterrâneos.	16
Figura 3 – Componentes associados ao Método Número da Curva.	20
Figura 4 – Método proposto para análise do Coeficiente de Abstração Inicial (Ia) a partir do Método Curva Número.	24
Figura 5 – Relação entre a Abstração Inicial e a Retenção Máxima Potencial	25
Figura 6 – Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Santana (BHRS)..	33
Figura 7 - Mapa de Declividade da BHRS.....	34
Figura 8 – Separação do escoamento superficial direto a partir da análise gráfica. .	35
Figura 9 – Escoamento Superficial gerado por cada método de separação para a BHRS.	40
Figura 10 – Escoamento Estimado versus Escoamento Observado para a BHRS para seus respectivos lambdas a) 0,200 b) 0,138 e c) 0,050.....	44
Figura 11 – Escoamento Estimado versus Escoamento Observado para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana para o a) bloco 1; b) bloco 2; e c) bloco 3 para os lambdas estudados.	45
Figura 12 - Vazão Máxima Estimada versus Vazão Máxima Observada para a BHRS.	48
Figura 13 - Vazão Máxima Estimada versus Vazão Máxima observada para $Q_{MO} \leq$..	48
Figura 14 - Vazão Máxima Estimada versus Vazão Máxima Observada para a BHRS para o a) bloco 1; b) bloco 2; e c) bloco 3 para os lambdas estudados..	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Valores máximo, mínimo e médio e coeficiente de variação dos coeficientes de abstração gerados pelos modelos para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana.....	41
Tabela 2 - Estatísticas calculadas para o Bloco 1 ($\lambda \leq 0,026$) da separação de dados da BHRS.	42
Tabela 3 - Estatísticas calculadas para o Bloco 2 ($0,026 \leq \lambda \leq 0,250$) da separação de dados da BHRS.....	43
Tabela 4 - Estatísticas calculadas para o Bloco 3 ($\lambda \geq 0,250$) da separação de dados da BHRS.	43
Tabela 5 - Modelos ajustados para o coeficiente de abstração inicial obtido a partir do método CN - SCS para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana, sendo a) bloco 1, b) bloco 2 e c) bloco 3.....	46
Tabela 6 - Tempos de concentração (t_c) calculados para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana	47
Tabela 7: Dados dos parâmetros calculados para cada evento estudado.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	CICLO HIDROLÓGICO E BACIA HIDROGRÁFICA.....	12
2.2	SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	14
2.2.1	MÉTODO DE SEPARAÇÃO GRÁFICA	15
2.2.2	FILTROS DIGITAIS RECURSIVOS	17
2.2.3	FILTRO DIGITAL RECURSIVO DE LYNE & HOLLICK.....	17
2.2.4	FILTRO DIGITAL RECURSIVO DE ECKHARDT.....	18
2.4	ANÁLISES DO COEFICIENTE DE ABSTRAÇÃO INICIAL	24
3	MODELAGEM CHUVA-VAZÃO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA À ANÁLISE DO COEFICIENTE DE ABSTRAÇÃO INICIAL DO MÉTODO CURVA NÚMERO	28
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O escoamento superficial é considerado o principal componente do ciclo hidrológico e é fundamental para estudos envolvendo a capacidade hídrica potencial de uma bacia hidrográfica, dimensionamentos de obras hidráulicas, prevenções de inundações e estudos acerca da erosão e sedimentação de partículas nos corpos hídricos. Os dados de vazão pelo tempo, geralmente obtidos em estudos envolvendo bacias hidrográficas, não exemplificam as características específicas dos componentes subterrâneos e superficiais, determinados como os principais, onde os componentes subsuperficiais são consideradas insignificantes em comparação a estas. Os entendimentos de cada uma destas parcelas são de grande importância para avaliar o comportamento, magnitude e suas influências no regime hidrológico de uma bacia hidrográfica.

Para a realidade brasileira acerca das informações a respeito dos recursos hídricos, a separação e estimativa dos componentes subterrâneos e superficiais são de grande valia como base de dados para suporte de vários projetos de gestão dos nossos recursos hídricos, principalmente, influenciando na melhora da calibração e validação de modelos hidrológicos com a utilização de dados baseados nas características de cada região do nosso país, que nos traz uma maior confiabilidade de aplicação de cada modelo.

Os métodos de separação dos componentes do escoamento podem utilizar desde traçadores químicos, filtros digitais que contem ou não embasamento físico, até métodos mais simples, como análises gráficas a partir dos hidrogramas de eventos. A escolha do método ideal para utilização, muitas vezes é influenciado pela aplicação mais rápida e simples de determinados métodos, juntamente com uma menor quantidade de parâmetros específicos para calibração.

O escoamento superficial também pode ser estimado a partir de modelos hidrológicos que não necessitam do monitoramento em tempo real das vazões das bacias hidrográficas de estudos e podem ser verificados a partir de variáveis conhecidas, principalmente a precipitação e o uso e ocupação de solo. O método mais conhecido e utilizado, devido principalmente à sua simplicidade e reduzido números de parâmetros, é o Método Curva Número. Este método possui duas variáveis principais, sendo elas a abstração inicial, que é resultante da parcela de precipitação retida pela cobertura vegetal e depressões do terreno; e a capacidade

máxima de infiltração, que é um parâmetro dependente do Número da Curva (CN), cujo valor é dependente de diversas características fisiográficas da bacia hidrográfica.

Tradicionalmente, o método utiliza uma relação linear entre as duas variáveis, chamada coeficiente de abstração inicial, que considera a abstração inicial como sendo 20% da capacidade máxima de infiltração. Entretanto, muitos estudos vêm comprovando que o coeficiente de abstração inicial, e os valores tabelados para CN, não podem ser generalizados, necessitando de observações regionalizadas das bacias hidrográficas estudadas para comprovar quais os valores coerentes para a utilização.

Neste sentido, realizou-se estudos a fim de contribuir com a análise do coeficiente de abstração inicial pelo Método Curva Número, a partir de dados chuva-vazão, buscando diminuir a interferência das características fisiográficas presentes na forma tradicional do método e verificar a coerência dos resultados. Os dados de chuva-vazão são de difícil acesso no Brasil para eventos de precipitação em uma mesma bacia hidrográfica. Pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), encontrou-se 43 eventos entre janeiro/2016 a dezembro/2019 para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana, localizada no Rio Grande do Sul, que possui uma área de 790 km² e possui características de área pouco antropizada.

O objetivo deste trabalho é contribuir com uma proposta metodológica para analisar o coeficiente de abstração inicial do método curva número a partir de dados chuva-vazão. Para atingir o proposto, os objetivos específicos deste estudo são: (1) caracterizar os eventos de chuva-vazão e a separação dos escoamentos superficial e subterrâneo por diferentes métodos; (2) caracterizar o coeficiente de abstração inicial (λ) e o Curva Número (CN) a partir de dados de deflúvios observados; (3) correlacionar as lâminas de escoamentos superficiais observadas com as estimadas por diferentes coeficientes de abstração inicial (λ).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO E BACIA HIDROGRÁFICA

O ciclo hidrológico por Mello e Silva (2013) é correspondente ao comportamento da água no meio ambiente, em cada um dos seus estados físicos, que ocorre simultaneamente na atmosfera, oceano, solo, montanhas, entre outros. Tucci (2000) define o ciclo hidrológico como a circulação fechada realizada pela água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionada pela energia solar, juntamente com a gravidade e a rotação terrestre.

Segundo Silva et al (2008), o principal componente hidrológico do ciclo é a precipitação onde os outros estão diretamente ligados às suas características espaciais e temporais, além das características fisiográficas. A precipitação gera a principal forma de entrada de água no ciclo hidrológico, que é dependente das variações meteorológicas e das características morfológicas da superfície. De todo valor precipitado em um evento de chuva, uma parcela é interceptada pela cobertura vegetal e a outra atinge a superfície do solo, que é subdividida em duas partes: uma que infiltra no solo e a outra que gera o escoamento (MELLO; SILVA, 2013; VIOLA, 2008).

Os escoamentos são representados em geral por superficial, caracterizado pelo fluxo sobre a superfície do solo, subsuperficial definido como o fluxo que ocorre junto às raízes da cobertura vegetal e subterrâneo que se dá pela contribuição do aquífero. Geralmente, o escoamento subsuperficial é contabilizado em um dos outros escoamentos, devido a sua contribuição ser bem menor que os demais. Para o entendimento individual dos escoamentos superficiais e subterrâneos, é necessário a análise a partir de hidrogramas (TUCCI, 2000).

Segundo Melo e Silva (2013), o escoamento superficial ocorre a partir do excesso de precipitação que escoar sobre a superfície do solo e é relacionado à saturação do solo, que gera uma diminuição da capacidade de infiltração e de armazenamento de água e, por precipitações de altas intensidades, que podem extrapolar a capacidade atual de infiltração de solo. Ribeiro, Rocha e Garcia (2011), definem o escoamento base como a drenagem natural do aquífero, na zona saturada, apresentando grande importância para a produção de água da bacia hidrográfica, sendo diretamente influenciada pelo saldo do balanço hídrico vertical e

das características fisiográficas da bacia.

A bacia hidrográfica é a parte mais importante de análise do ciclo hidrológico envolvendo a fase terrestre do comportamento da água. Ela é caracterizada por uma área de captação de água natural onde os escoamentos são direcionados para um só ponto de saída, chamado de exutório. Esse componente é muito utilizado para analisar como os principais parâmetros hidrológicos variam e se comportam, afim de entender melhor os fenômenos e estudá-los (TUCCI, 2000).

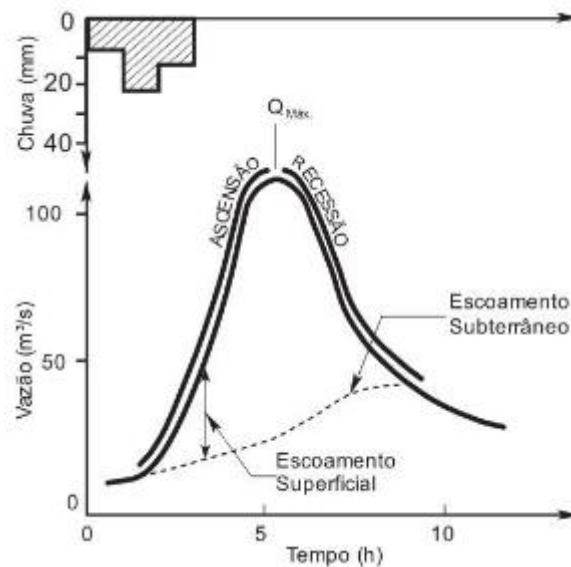
Água, solo, fauna e flora, são os principais componentes presentes em uma bacia hidrográfica, e estão em constante e dinâmica interação, onde são expostas às interferências naturais e antrópicas, que afetam todo o ecossistema. Nas bacias hidrográficas, essas interferências podem ser analisadas a partir de indicadores, como os recursos hídricos e seu comportamento (SOUZA et al., 2002).

Guerra e Cunha (1996) citam que as bacias hidrográficas são ótimas unidades de gestão natural e social, pois a partir delas é possível acompanhar, planejar e gerenciar as mudanças geradas pelo homem e pela natureza acerca dos usos e interesses, garantindo assim melhor qualidade e quantidade. A hidrologia envolvendo estudos em bacias hidrográficas, tem como importância conceituar e modelar processos distintos que interagem em condições ambientais variáveis no tempo e no espaço. Assim, verifica-se a importância de simulações hidrológicas de eventos de precipitação com o objetivo de prever qual será o comportamento e respostas hidrológicas em bacias hidrográficas (SCHULER; VICTORIA, 2003; SILVA; TUCCI; COLLISCHONN, 2006).

O comportamento e influência de vários componentes, fisiográficos, hidrometeorológicos e hidrológicos em uma bacia pode ser expresso em hidrogramas, que exemplifica em gráficos, o comportamento da vazão em função do tempo a partir de eventos de precipitação (MAGALHÃES, 1989; TUCCI, 2000). Segundo Mello e Silva (2013) os hidrogramas são análises representativas das vazões de cursos d'água pelo tempo, podendo extrair importantes informações acerca das parcelas de escoamento superficial direto e base.

Collischonn e Dornelles (2013) exemplificam a partir da Figura 1, o comportamento de um hidrograma a partir de um evento de precipitação. Entretanto, a forma do hidrograma depende de inúmeros fatores como relevo, cobertura, forma da bacia, variação espacial e temporal da precipitação, condições do solo, rede de drenagem entre outros (MELLO; SILVA, 2013, TUCCI, 2000).

Figura 1- Comportamento dos escoamentos a partir de eventos de precipitação



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013, p. 130).

Os hidrogramas são obtidos segundo Righetto (1998) a partir de dados de precipitação e vazão ao decorrer do tempo, que podem ser obtidos por linígrafos, pluviógrafos, data logger's, entre outros. Segundo Porto et al. (1999) os fatores que mais influenciam os hidrogramas e suas formas são as características da área e relevo da bacia hidrográfica, características geológicas e da precipitação, uso e ocupação do solo e modificações artificiais no corpo hídrico.

2.2 SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A separação do escoamento superficial direto do subterrâneo é utilizada para aplicações tanto práticas quanto científicas nos dias atuais. Segundo Ladson et al. (2013) a separação dos componentes em fluxo subterrâneo e superficial é comum em hidrologia e muito utilizado em modelagens de escoamento de chuva, modelagem de geração de contaminantes, estimativa de inundações, entre outros.

Segundo Brodie e Hosteller (2005), os hidrogramas gerados pela separação entre o escoamento superficial e subterrâneo permitem uma melhor análise da magnitude e da dinâmica gerada pelos dois componentes. Furey e Gupta (2001), destacam a importância da separação das séries temporais dos fluxos afim de compreender a variabilidade espacial e temporal dos escoamentos em bacias hidrográficas, estendendo as análises para locais não mensurados. Também citam que a separação dos escoamentos pode trazer um melhor gerenciamento da

quantidade e qualidade da água em uma bacia hidrográfica.

Para Mortatti et al. (2004) analisar o comportamento dos fluxos superficiais e subterrâneos tem uma importância fundamental nos dias atuais para compreender as relações hidro geoquímicas, precipitação, vazão, evapotranspiração, processos erosivos e compreender possíveis alterações nos ecossistemas estudados.

Diferentes métodos são utilizados para fazer a separação de escoamento, desde mais complexos como uso de traçadores hidro químicos e isótopos ambientais até os mais simples como métodos de separação por análises gráficas e filtros digitais, bastante utilizados atualmente.

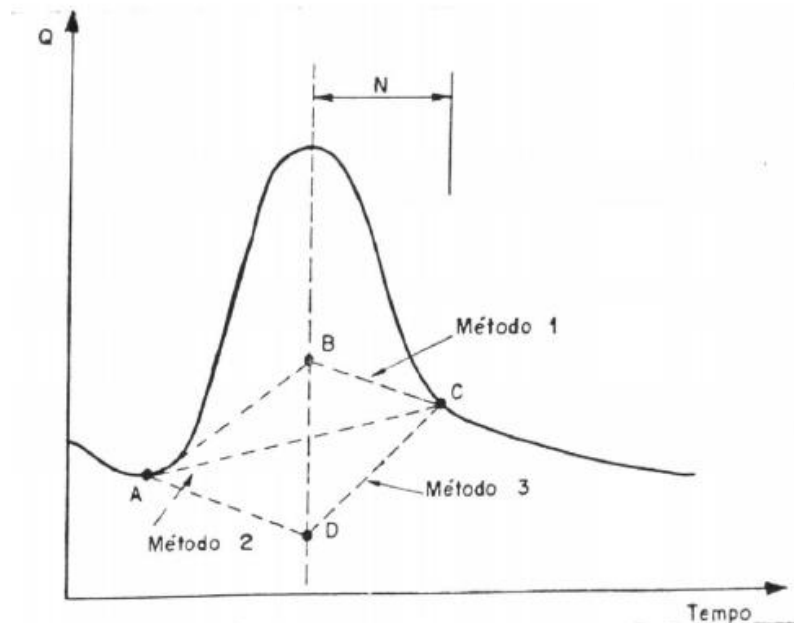
2.2.1 Método de Separação Gráfica

As técnicas envolvendo a separação dos escoamentos tendem a definir pontos nos hidrogramas que representem o escoamento base no início e no fim dos picos de vazão, os interligando a partir de ajustes de curvas, de tal forma que o escoamento subterrâneo é representado naquele intervalo de tempo (BRODIE; HOSTETLER, 2005).

Barnes (1939) desenvolveu um dos métodos de separação gráfica mais tradicionais. Este método é baseado na linearidade da recessão num gráfico semi-logarítmico, sendo um procedimento manual e, portanto, um método que apresenta características individualizadas para cada evento analisado. Os métodos gráficos facilitam a identificação dos escoamentos superficiais e subterrâneos a partir da análise direta dos hidrogramas. Estes métodos em comparação às outras formas de separação dos escoamentos superficiais e subterrâneos são mais fáceis de implementar, pois é definido a partir de suposições empíricas e utiliza a sensibilidade do pesquisador, entretanto, este método pode se apresentar mais demorado e subjetivo.

Diversos métodos distintos de separação gráficas são utilizados para análises dos fluxos superficiais e subterrâneos. Tucci (2000) descreveu os três mais comumente usados e que são demonstrados na Figura 2:

Figura 2 - Métodos gráficos para separação dos escoamentos superficiais e subterrâneos.



Fonte: Tucci (2000, p. 397).

- Método 1: deve-se extrapolar a curva de recessão a partir do ponto C até localizar o ponto B, situado abaixo da vertical do pico. A ligação dos pontos ABC define, como acima da curva o volume de escoamento superficial e abaixo como volume de escoamento subterrâneo;
- Método 2: É o método mais simples, onde basta ligar os pontos A e C, considerados os pontos de inflexão da curva de escoamento, por uma reta e identificar os escoamentos abaixo e acima da reta criada;
- Método 3: neste método deve-se extrapolar a tendência anterior ao ponto A até localizar o ponto D, situado na vertical do pico. A ligação dos pontos ADC define, como acima da curva o volume de escoamento superficial e abaixo como volume de escoamento subterrâneo.

Um dos maiores problemas envolvendo os métodos por separação gráfica é a subjetividade que este método pode apresentar na sua aplicação, feita manualmente, e com isso, a utilização por diferentes pesquisadores ou técnicos podem levar a resultados distintos para uma mesma área de estudo. Portanto, softwares que apresentam filtros digitais recursivos vêm sendo utilizados para padronizar os métodos de separação, diminuindo a subjetividade nos resultados obtidos e o tempo gasto nas aplicações de métodos gráficos.

2.2.2 Filtros Digitais Recursivos

Segundo Eckhardt (2005), os filtros digitais consistem em rotinas computacionais que processam dados de vazão, a partir de parâmetros ajustados à bacia ou área de contribuição estudadas, e dão como respostas os dados de escoamento subterrâneo para cada intervalo de tempo, sendo possível obter as curvas de separação dos escoamentos.

Os filtros digitais recursivos, apesar de não apresentarem embasamento físico, são métodos simples e fáceis de utilizar, no qual apresentam sistemas objetivos e de simples replicações (CHAPMAN; MAXWELL, 1996; LYNE; HOLLICK, 1979; NATHAN; MCMAHON, 1991).

Segundo Brodie e Hosteller (2005), os métodos de filtragem digital têm como procedimento derivar o escoamento base a partir de um hidrograma de fluxo total de escoamento. Tais filtros, entretanto, são muito sensíveis aos seus parâmetros utilizados em cada método, necessitando uma calibração destes para que os resultados sejam considerados numericamente coerentes.

Reichert et al. (2015) utilizou dois filtros digitais para aumentar o poder preditivo dos modelos para a separação do escoamento total. Utilizou-se dois dos principais filtros, o Lyne e Hollick e o Eckhardt. Constatou-se que os valores obtidos são adequados para análises da separação do escoamento total das séries contínuas.

2.2.3 Filtro Digital Recursivo de Lyne & Hollick

Lyne e Hollick (1979) propuseram um dos primeiros filtros digitais recursivos para a separação do fluxo em dois componentes, fluxo base e fluxo superficial, utilizando apenas um parâmetro. Segundo Nathan e McMahon (1991), este filtro apresenta uma técnica fácil de automatização, objetiva e repetível, o que o torna útil para aplicação e comparação hidrológica entre várias áreas de contribuição. O Filtro Lyne e Hollick determina os sinais de escoamento subterrâneo e assim encontra os valores de escoamento superficial pela diferença com o escoamento total (LI et al. 2013).

Diversas abordagens envolvendo o Filtro Lyne e Hollick vem sendo utilizadas nos dias atuais. Nathan e Weinmann (1993), utilizaram este filtro para obter o

escoamento subterrâneo de 117 corpos hídricos para 28 bacias hidrográficas. Nathan e McMahon (1991) aplicou este filtro em dados de 184 bacias hidrográficas localizadas no sudeste da Austrália, e identificaram o valor do coeficiente de depleção de 0,925 para a estimativa do escoamento subterrâneo, comumente usados para outras aplicações. Arnold et al. (1995), utilizaram o Filtro Lyne e Hollick devido a sua facilidade de manipulação e também pelo fato deste poder ser ajustado, onde o coeficiente de depleção pode ser estimado através de características específicas de cada bacia hidrográfica estudada, na separação do escoamento superficial e subterrâneo.

Amplamente utilizado por softwares, o Filtro Lyne e Hollick possui algumas limitações comparados aos outros Filtros Digitais presentes na literatura, principalmente na sua ineficiência para encontrar o escoamento subterrâneo quando não há presença de escoamento superficial, mas devido a sua facilidade de aplicação é um dos mais utilizados nos dias atuais. Este filtro é indicado principalmente para estudos envolvendo dados diários de vazão e seus resultados apresentam picos de hidrogramas mais suavizados.

2.2.4 Filtro Digital Recursivo de Eckhardt

Eckhardt (2005), propôs a partir de dois parâmetros, um filtro para a separação do escoamento subterrâneo em grandes bacias hidrográficas. Este filtro vem apresentando resultados coerentes às metodologias convencionais, e vem sendo aplicado a diversas regiões do mundo.

Segundo Collischonn e Fan (2012), o parâmetro “a” é obtido diretamente pela análise de recessão do hidrograma e reproduz a descarga do aquífero em determinado tempo quando não há escoamento superficial e nem recarga subterrânea. Já o índice de escoamento de base, BFI_{max}, necessita de mais cuidado, pois é estimado a partir de valores dependentes das características geológicas predominantes da área de estudo. Após testes de aplicação do seu próprio método de filtragem em algumas bacias hidrográficas, Eckhardt (2005) estimou o BFI_{max} para três características hidrológicas e hidrogeológicas distintas. Para rios perenes com aquíferos porosos, o valor aconselhado para utilização é de 0,8, para riachos efêmeros com aquíferos porosos, utiliza-se 0,50 e para riachos perenes com aquíferos oriundos de rochas similares ao granito, 0,25. O próprio autor

afirmou que utilizar estes valores é aceitável para uma primeira abordagem, onde o ideal seria obter valores a partir do uso de traçadores químicos.

Mattiuzi et al. (2016), realizaram um estudo na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, Rio Grande do Sul, para estimar a recarga subterrânea desta bacia com a utilização do Filtro de Eckhardt. Os resultados obtidos comprovaram que este método é eficaz e rápido para obtenção das contribuições subterrâneas.

2.3 MÉTODO CURVA NÚMERO

Um dos modelos chuva – vazão mais utilizados, o Método CN – SCS (Curve Number – Soil Conservation Service) estima o escoamento superficial direto a partir de uma aproximação empírica entre dados de eventos de chuva e das condições de superfície de uma bacia hidrográfica. Desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS, 1972), este método é um dos modelos mais utilizados na hidrologia para calcular o escoamento superficial em um evento de precipitação (JAIN et al., 2006; ELDHO et al., 2007).

Segundo Shi et al. (2009), os resultados gerados pelo Método Curva Número para a estimativa do escoamento superficial são importantes para analisar a capacidade hídrica de uma bacia hidrográfica, planejar medidas de uso e conservação de solo e água, analisar riscos de sedimentação e inundações à jusante da bacia, entre outros fatores.

Vários métodos também são utilizados para a previsão do escoamento superficial, entretanto, devido à grande necessidade de dados de entrada e incertezas nas determinações dos parâmetros, apresentam limitada utilização. Com isso, os modelos utilizados para as análises de escoamento devem ser simples, com poucos dados de entradas e suposições bem estabelecidas (GRAYSON et al., 1992; MOORE; MACMAHON, 1992; SHI et al., 2009).

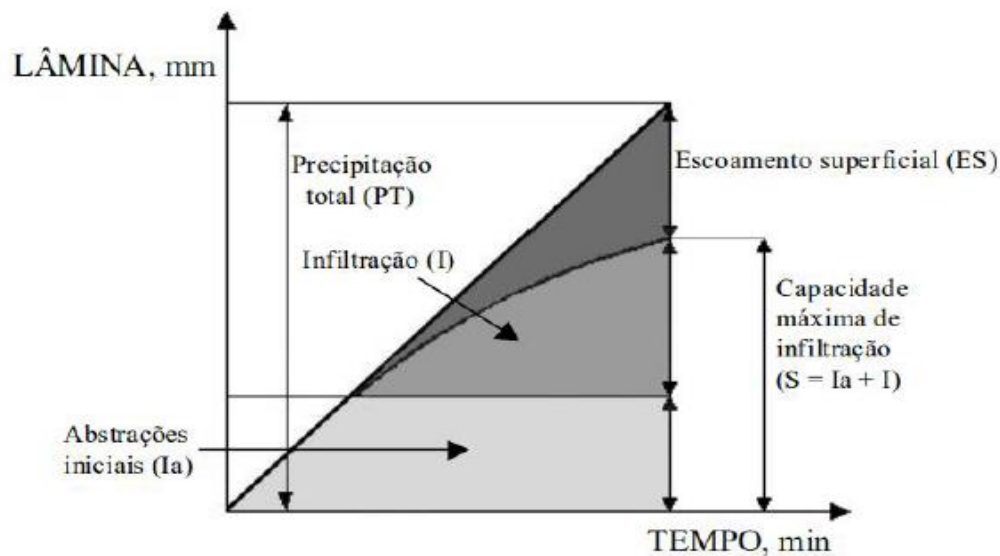
Durán-Barroso, Gonzáles e Valdés (2016), descrevem a intensa utilização do Método CN devido a sua simplicidade e aplicabilidade, englobando os principais fatores que afetam diretamente o escoamento superficial, em um único parâmetro, o CN. Este parâmetro foi desenvolvido a partir de um estudo empírico, para pequenas bacias hidrográficas localizadas nos Estados Unidos, e são apresentados em tabelas para diferentes características de fatores.

Originalmente, este método foi desenvolvido para estimar o escoamento

superficial em pequenas bacias, com áreas menores a 250 km², onde a capacidade máxima de infiltração do solo é obtida a partir de um parâmetro, conhecido como Curve-Number (CN). O CN leva em consideração as características físico-hídricas do solo, condições da cobertura vegetal, umidade antecedente, entre outros (MELLO; SILVA, 2013; PONCE; HAWKINS, 1996).

O método SCS – CN é baseado na equação do balanço hídrico e assume a proporcionalidade entre a retenção e o escoamento superficial (PONCE; HAWKINS, 1996; SHI et al., 2009). O Método CN afirma que a proporcionalidade entre o escoamento superficial para o escoamento superficial máximo é igual a proporção da infiltração acumulada para a capacidade máxima de infiltração. Pruski, Griebeler e Silva (2001) apresentam a partir da Figura 3 as variáveis contidas no Método Número da Curva.

Figura 3 – Componentes associados ao Método Número da Curva.



Fonte: Pruski, Griebeler e Silva (2001, p. 405).

Aplicar o Método CN em bacias hidrológicas não monitoradas consiste no entendimento de algumas características principais da área, como tipo, uso, ocupação e condições de solo, características da superfície e umidade antecedente dos eventos analisados. Estes dados estão incluídos nos dois principais parâmetros que calculam o escoamento superficial a partir de eventos de precipitação, que são a abstração inicial e a capacidade máxima de infiltração (MISHRA et al., 2006; PONCE; HAWKINS, 1996).

A abstração inicial é considerada toda precipitação que ocorre antes do início

do escoamento superficial. Ponce e Hawkins (1996) caracterizam as abstrações iniciais como uma quantidade de chuva retida como interceptação, infiltração e armazenamento antes do início do escoamento superficial. Segundo Mello e Silva (2013), considera-se a abstração inicial a parcela da precipitação total, que antecede a precipitação efetiva, ou seja, toda a precipitação que ocorre anteriormente ao início do escoamento superficial. Esta parcela pode ter infiltrado no solo e ou ficado retida na vegetação e obstáculos do solo.

A capacidade máxima de infiltração (S), ou retenção potencial máxima, é referente às perdas ocorridas em um evento devido a infiltração contínua na bacia hidrográfica. Este parâmetro está associado às características físicas da área de estudo, como uso e ocupação de solos e cobertura vegetal. Segundo Mullem et al. (2002), apesar das suas associações com os parâmetros físicos, a capacidade máxima de infiltração não é uma propriedade física identificável, podendo ser correlacionada apenas para eventos particulares de precipitação.

A retenção potencial máxima é encontrada a partir do parâmetro CN, que apresenta valores tabelados para combinações de uso e cobertura de solo, classificações hidrológicas de solo e condições de umidades antecedentes. A retenção potencial máxima é inversamente proporcional ao CN, que varia de 0 a 100, sendo assim, quando CN for próxima a 0, S tenderá ao infinito, quanto mais próxima a 100 for o CN, mais próximo a 0 será S. A mesma relação também acontece com o escoamento superficial (MELLO; SILVA 2013; TUCCI, 2000;).

Segundo SCS (2004), a variabilidade envolvendo o parâmetro CN, resultante das condições de umidade de solo, intensidade e duração da chuva, total precipitado, entre outros fatores, estão englobados no parâmetro AMC (condições de umidade antecedente), dividida em três classes, como apresenta Mello e Silva (2013):

- AMC I: solos secos, com precipitação antecedente nos últimos 5 dias menores que 13 mm no período seco e menores que 36 mm no período úmido;
- AMC II: solos com umidade próxima à capacidade de campo, com precipitação antecedente nos últimos 5 dias entre 13 a 28 mm no período seco, e no período úmido entre 36 a 53 mm;
- AMC III: solo úmido próximo à saturação, com precipitação antecedente nos últimos 5 dias maiores que 28 mm no período seco e 53 mm no período úmido.

Além das classificações das condições da umidade antecedente, Mello e Silva

(2013), também classificam em quatro grupos as características de solo:

- Grupo A: Solos caracterizados por escoamento baixo e infiltração alta, arenosos e com baixo teor de argila. Solos muito profundos e com alta permeabilidade;
- Grupo B: Maior potencial de gerar escoamento que o solo A devido sua menor permeabilidade. Arenosos com menor profundidade e maior teor de argila;
- Grupo C: Solos com profundidade entre 0,5 a 2,0 m e que produzem escoamento superficial direto maior que o solo 2, com baixa permeabilidade superficial;
- Grupo D: Solos com pouca profundidade, constituída por solos argilosos e com baixa capacidade de infiltração, sendo assim o solo que apresenta maior capacidade de geração de escoamento superficial direto.

Uma relação linear entre a abstração inicial (I_a) e a capacidade máxima de infiltração (S) é utilizada, visando reduzir os números dos parâmetros do Método CN. Tradicionalmente, a abstração inicial é definida como 20 % da capacidade máxima de infiltração, entretanto, essa correlação vem sendo muito questionada em relação a sua aplicabilidade e validade. Segundo Hjelmfelt (1991), a validação desta correlação não pode ser obtida, pois a perda inicial da precipitação total é ocasionada por muitos fatores físicos e características especiais de cada evento. Já Elhakeen e Papanicolaou (2009), verificaram em seus estudos que essa correlação não é linearmente proporcional como é descrito pelo método.

O Método Curva Número, entretanto, vem sendo questionado a respeito dos aspectos ligados ao coeficiente de abstração inicial (I_a), parâmetro CN, condições de umidade antecedente e aplicações em bacias com as mais variadas características (JAIN et al., 2006). Segundo Ponce e Hawkins (2006), o Método Curva Número pode ser considerado inconsistente devido à fatores como variabilidade espacial e temporal da precipitação, modificações relacionadas às precipitações antecedentes e qualidade dos dados analisados.

Segundo Cunha et al. (2005) a utilização dos valores definidos como referências pelo Método Curva Número, superestimam os valores de vazões de cheias analisados por pesquisadores na área de recursos hídricos quando aplicados a bacias com características distintas da que foi determinado o método. O número CN tabelado, por exemplo, pode apresentar um desempenho ruim, quando utilizados em bacias com características geomorfológicas distintas, e pode ser muito

influenciada pela precipitação antecedente de cada evento estudado.

O coeficiente de abstração inicial (I_a) é o parâmetro mais contestado do método. Normalmente, a abstração inicial vem sendo definida como sendo 20% da capacidade máxima de infiltração (S). Entretanto, estudos recentes vêm questionando a veracidade e validação da relação $I_a - S$, afim de verificar o comportamento para eventos de precipitação em determinada bacia hidrográfica (MISHRA et al., 2006; JAIN et al., 2006; PONCE; HAWKINS, 1996).

Ponce e Hawkins (1996) listaram os principais problemas à cerca do Método Curva Número descritos pela literatura ao longo do tempo:

1. O método foi desenvolvido usando dados de bacias regionais do centro-oeste do Estados Unidos e desde então é utilizado em outros locais dos Estados Unidos e outros países com os mesmos parâmetros, sem as necessárias adaptações das tabelas de CN para as bacias estudadas;

2. Para valores de CN e volumes de chuva baixos, o método se torna muito sensível à escolha do parâmetro e da umidade antecedente;

3. O Método Curva Número foi desenvolvido para calcular o escoamento superficial em áreas agrícolas e, posteriormente, sua aplicação foi estendida a áreas urbanas. Em áreas florestais, tal método não apresenta bom desempenho, sendo mais apropriado para regiões onde o escoamento subterrâneo é baixo, com o escoamento superficial correspondendo a grande parte do escoamento total;

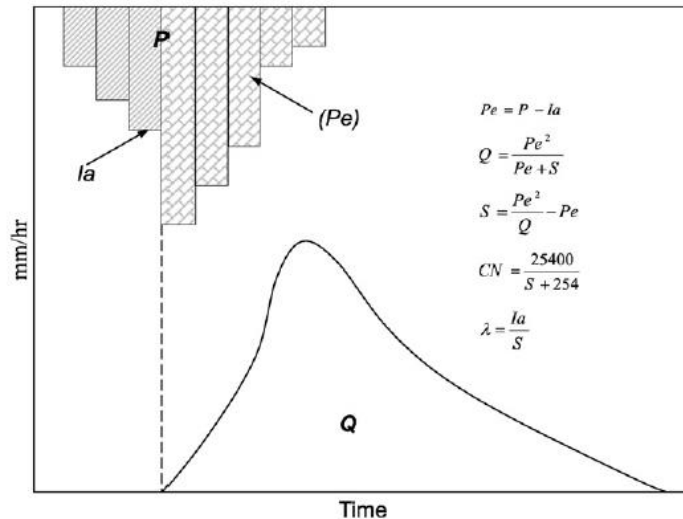
4. O Método é indicado para bacias menores que 250 km² pois não leva em consideração efeitos em escala espacial. Na literatura, alguns autores já destacaram que o Número da Curva tende a diminuir com o aumento da área de drenagem da bacia estudada;

5. O coeficiente de abstração inicial, definido como 0,2 pelo desenvolvimento do método, deveria ser interpretado como um parâmetro regional, para entender melhor o comportamento do método para uma bacia hidrográfica e suas características hidrogeológicas;

Analisando todas essas incertezas, Hawkins et al. (2001) propôs um método de análise para determinar o coeficiente de abstração inicial, a partir do Método Curva Número, em que os parâmetros, capacidade máxima de infiltração (S) e coeficiente de abstração inicial (I_a) são calculados a partir de dados de precipitação total, deflúvio superficial e abstração inicial, obtendo a partir de dados hidrológicos valores específicos para cada evento. Este procedimento foi replicado por Shi et al.

(2008), e a sua forma de aplicação está disposta na Figura 4.

Figura 4 – Método proposto para análise do Coeficiente de Abstração Inicial (I_a) a partir do Método Curva Número.



Fonte: Shi et al. (2008, p. 5).

Inicialmente, este processo determina o deflúvio superficial da razão entre o volume do escoamento superficial pela área da bacia hidrográfica para cada evento estudado. Para este método, é muito importante a separação dos escoamentos, pois esta análise utiliza apenas os dados de escoamentos superficiais. Em seguida, com os hidrogramas gerados para cada evento, a partir dos dados de precipitação e vazão pelo tempo, utiliza-se a definição que toda precipitação ocorrida antes do início do escoamento superficial é considerada como a abstração inicial do evento. Então, com os valores da precipitação total, deflúvio superficial e abstração inicial para cada evento, é possível obter a capacidade máxima de infiltração e em seguida definir o coeficiente de abstração inicial.

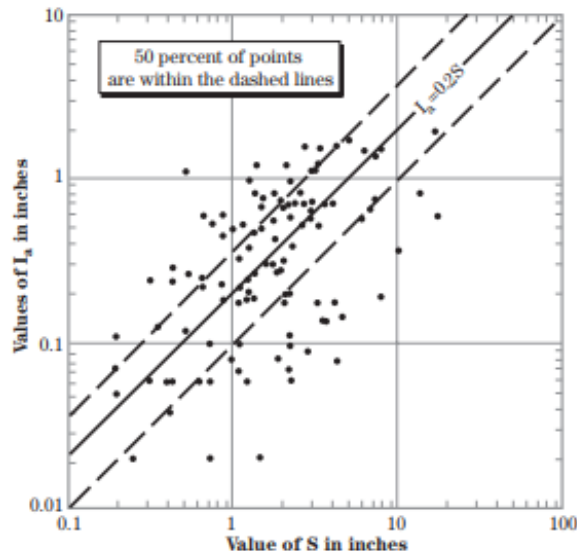
Este novo modelo de análise proposto por Hawkins et al. (2001), também foi utilizado por Shi et al. (2009), para analisar as lâminas de escoamento superficial geradas para coeficientes de abstração iniciais pré-definidos e correlacionadas com os valores observados a partir dos dados reais.

2.4 ANÁLISES DO COEFICIENTE DE ABSTRAÇÃO INICIAL

O fato do coeficiente de abstração inicial ser apresentado como 0,200 se baseia na documentação oficial da National Engineering Handbook, capítulo 10

(SCS, 2004), que a partir de dados de campo para bacias hidrológicas de vários locais dos Estados Unidos, plotou-se o seguinte gráfico, apresentado na Figura 5, para definir este valor constante.

Figura 5 – Relação entre a Abstração Inicial e a Retenção Máxima Potencial



Fonte: SCS (2004, p. 9).

Porém, muitos estudos foram apresentando resultados inconsistentes com a utilização do coeficiente de abstração inicial como 0,200, e conseqüentemente, a suposição indicada pelo Método Curva Número Tradicional. Segundo Ling e Yusop (2014), o principal fator para essa incoerência são as características fisiográficas de cada bacia de estudo, e com isso, muitos pesquisadores estão realizando estudos regionais para obter associações com o método original, validando seus modelos em determinada área de atuação.

Mello (2003) a partir da análise de dados de deflúvio, precipitação total e abstração inicial, notou que a relação entre I_a/S não apresenta nenhum padrão de comportamento, o que determina uma grande sensibilidade da variável abstração inicial. Para a bacia estudada, o valor do coeficiente de abstração inicial variou de 0 a 0,081, com o valor médio de 0,015, muito inferior aos 0,200 sugeridos pelo método CN.

O coeficiente de abstração inicial predefinido pode não corresponder às diferenças apresentadas em cada evento de precipitação, pois tal parâmetro não será constante em eventos curtos e intensos e longos e menos intensos. Também pode-se sugerir que o λ pode ser interpretado como um parâmetro característico de

regiões que apresentem características fisiográficas semelhantes, podendo aumentar assim a capacidade de amenizar as diversidades climáticas e geológicas (PONCE; HAWKINS, 1996; SMITH, 1976). Em estudos de áreas rurais em Illinois, EUA, Yuan et al. (2001) concluíram que a relação entre a abstração inicial e a capacidade máxima de infiltração não permite uma associação direta, sendo assim, os valores devem ser adquiridos para cada evento isoladamente.

Definir a abstração inicial como sendo uma porção da capacidade máxima de infiltração pode negligenciar a magnitude real dos parâmetros, que são diretamente dependentes das mudanças fisiográficas nas bacias hidrográficas. Em estudos simplificados, a padronização de valores de coeficientes de abstração inicial pode ser aceitável, caso contrário, o conhecimento das bacias hidrográficas e suas características são imprescindíveis para diminuir os erros envolvidos nos cálculos do Método Curva Número (BOSZNAVY, 1989).

Estudos realizados por Sheeder et al. (2002), em bacias hidrográficas localizadas na Pensilvânia, EUA, definiram que abstração inicial é o parâmetro que apresenta maiores erros na estimativa do escoamento superficial, concluindo que o coeficiente de abstração inicial é menor que o 0,200 proposto. Jiang (2001), utilizou dados de 307 bacias hidrográficas e verificou que a interação entre a abstração inicial e a capacidade máxima de abstração não apresenta nenhuma interação. Os valores do coeficiente de abstração inicial variaram de 0 a 0,996, onde o valor de 0,05 apresentou melhor ajuste que 0,200.

Mishra et al. (2006), utilizando dados de cinco bacias hidrográficas, mostraram que utilizar valores variáveis de λ , para cada área e evento estudado, apresenta uma performance mais satisfatória, do que utilizar o valor fixo de 0,200. Shi et al. (2009), em uma bacia hidrográfica localizada na área de Três Gargantas, na China, utilizaram dados de seis anos de eventos chuva-vazão e verificaram que o coeficiente de abstração inicial variou de 0,010 a 0,154, média igual a 0,053, concluindo que o método subestimava eventos com grandes escoamentos, apontando o valor de λ igual a 0,050 como ideal.

Em uma bacia hidrográfica localizada na Ática, Grécia, utilizando dados de eventos de chuvas e escoamentos observados, o coeficiente de abstração na área total da bacia hidrográfica foi correspondente a 0,014, para uma sub-bacia, encontrou-se um valor de 0,037. Tal diferença foi explicada pela diferente distribuição dos tipos de solo e formações geológicas (BALTAS; DERVOS; MIMKOU,

2007).

Hawkins et al (2001) propôs dois métodos diferentes para determinação do coeficiente de abstração inicial a partir de dados de eventos de chuva vazão. Os resultados identificaram que um valor de 0,05 apresenta melhor ajuste de dados e seria mais apropriado na utilização no Método Curva Número. Tal modificação é notada principalmente em eventos de precipitação que geram escoamento superficial menores ou apresentam menores CN's.

3 MODELAGEM CHUVA-VAZÃO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA À ANÁLISE DO COEFICIENTE DE ABSTRAÇÃO INICIAL DO MÉTODO CURVA NÚMERO

Leonardo Santos Barbosa, Flávio Aparecido Gonçalves, Alexandre Silveira

Revista Engenharia Sanitária e Ambiental

Submetido em: 03/02/2021

RESUMO

O Método Curva Número (CN) é um dos mais utilizados para a previsão do escoamento superficial direto a partir da conversão de chuva em uma bacia hidrográfica. Entretanto, apresenta incertezas quanto a sua utilização, pois depende de parâmetros fisiográficos, característicos de cada área, além da suposição de que o coeficiente de abstração inicial, pode ser definida pela constante 0,200. As propostas deste estudo foram (1) contribuir com uma proposta metodológica para analisar o coeficiente de abstração inicial a partir de dados chuva-vazão; (2) caracterizar os eventos de chuva-vazão e a separação dos escoamentos superficial e subterrâneo por diferentes métodos; (3) caracterizar o coeficiente de abstração inicial (λ) e o Curva Número (CN); (4) correlacionar as lâminas de escoamentos superficiais observadas com as estimadas por diferentes coeficientes de abstração inicial (λ). Foram utilizados 43 eventos para a Bacia Hidrográfica Rio Santana, obtidos por meio do portal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os resultados indicaram que o método de separação gráfica, para esta bacia de estudo, gerou os melhores dados para análises dos parâmetros obtidos por meio do método curva número. O coeficiente de abstração inicial variou entre 0,006 e 0,376, apresentando uma média de 0,138, menor que o proposto originalmente pelo método. A análise dos dados de escoamento superficial em blocos, possibilitada pela confirmação da distribuição normal dos dados de coeficiente de abstração inicial, gerou maiores correlações entre as lâminas estimadas e observadas, o que pode caracterizar uma menor influência dos parâmetros fisiográficos e maior concentração no comportamento hidrológico do conjunto de dados. Para os dados de vazões máximas, as análises em blocos não foram satisfatórias, entretanto, para os valores menores que 50 m³. s⁻¹, obtivemos uma correlação entre vazões estimadas e observadas. Uma nova proposta metodológica é benéfica para obtenção de

resultados em bacias não estudadas, visto sua facilidade e simplicidade de aplicação.

Palavras chave: Modelagem Hidrológica, Eventos Hidrológicos, Escoamento Superficial.

ABSTRACT

The Curve Number Method (CN) is one of the most used to prediction direct runoff from the conversion of storm rainfall in a hydrographic basin. However, it presents uncertainties regarding its use, as it depends on physiographic parameters, characteristic of each area, in addition to the assumption that the constant 0.200 can define the initial abstraction ratio. The proposals of this study were: (1) to contribute with a methodological proposal to analyze the initial abstraction ratio based on rain-flow data; (2) characterize the rain-flow events and the separation of quickflow and baseflows by different methods; (3) characterize the initial abstraction ration (λ) and the Number Curve (CN); (4) correlate the observed quickflow runoff with those estimated by different initial abstraction ratios (λ). 43 events were used for the Santana River Basin, obtained through the portal of the Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). The results indicated that the graphic separation method, for this study basin, generated the best data for analysis of the parameters obtained through the curve number method. The initial abstraction ratio varied between 0.006 and 0.376, presenting an average of 0.138, lower than that originally proposed by the method. The analysis of the runoff data in blocks, made possible by the confirmation of the normal distribution of the initial abstraction ratio data, generated greater correlations between the estimated and observed runoffs, which may characterize a lesser influence of the physiographic parameters and a greater concentration on the hydrological behavior of the data set. For maximum flow data, the block analyzes were not satisfactory, however, for values less than 50 m³. s⁻¹, we obtained a correlation between estimated and observed flows. A new methodological proposal is beneficial to obtain results in non-studied basins, given its ease and simplicity of application.

Keywords: Hydrological Modeling, Hydrological Events, Direct Runoff.

3.1 INTRODUÇÃO

A análise das lâminas de escoamento superficial é de fundamental importância para avaliar a capacidade hídrica de uma bacia hidrográfica, planejar medidas de uso e conservação do solo e água, analisar riscos de sedimentação e inundações à jusante da bacia, entre outras aplicações (SHI et al., 2009).

No Brasil, a disponibilidade de dados chuva-vazão ainda é muito limitada, onde grande parte são obtidos a partir de estações telemétricas, que não caracterizam qualitativa e quantitativamente os componentes de escoamento. Assim, é muito utilizada em estudos e modelagens hidrológicas, a aplicação de métodos para a separação destes componentes, sendo os principais os componentes superficiais e subterrâneos. Dos diversos métodos existentes, os mais utilizados, devido a suas praticidades de aplicação, são os métodos de separação gráfica (TUCCI, 2000) e os filtros digitais de Lyne e Hollick (LYNE; HOLLICK, 1979) e Eckhardt (ECKHARDT, 2005), que utilizam um e dois parâmetros de calibração, respectivamente, apenas.

O Método Curva Número, desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS, 1972), também é amplamente utilizado para a estimativa do escoamento superficial para eventos de chuvas, sendo capaz de englobar várias características, como dito por Mishra et al. (2006), importantes no processo de geração de escoamento superficial, como a duração, intensidade e quantidade de precipitação, uso, ocupação, umidade e tipo de solo, declividade da bacia hidrográfica, entre outros. Estes dados estão incluídos nos dois principais parâmetros que calculam o escoamento superficial a partir de eventos de precipitação, que são a abstração inicial e a capacidade máxima de infiltração (PONCE; HAWKINS, 1996; MISHRA et al., 2006).

Entretanto, este método vem sendo questionado em relação aos valores utilizados para os principais parâmetros de aplicação, onde, tradicionalmente, a abstração inicial é definida como 20 % da capacidade máxima de infiltração. O coeficiente de abstração inicial predefinido pode não corresponder às diferenças apresentadas em cada evento de precipitação, e pode ser interpretado como um parâmetro característico de regiões que apresentem características fisiográficas semelhantes, aumentando assim a capacidade de amenizar as diversidades climáticas e geológicas (SMITH, 1976; PONCE; HAWKINS, 1996).

Mello (2003) a partir da análise de dados de deflúvio, precipitação total e abstração inicial, notou que a relação entre Ia/S não apresenta nenhum padrão de comportamento, o que determina uma grande sensibilidade da variável abstração inicial. Mishra et al. (2006), utilizando dados de cinco bacias hidrográficas, mostraram que utilizar valores variáveis de λ , para cada área e evento estudado, apresenta uma performance mais satisfatória, do que utilizar o valor fixo de 0,200. Shi et al. (2009), em uma bacia hidrográfica localizada na área de Três Gargantas, na China, utilizaram dados de seis anos de eventos chuva-vazão e verificaram que o coeficiente de abstração inicial variou de 0,010 a 0,154, média igual a 0,053, concluindo que o método subestimava eventos com grandes escoamentos, apontando o valor de λ igual a 0,050 como ideal.

Hawkins et al. (2001) propôs um método de análise para determinar o coeficiente de abstração inicial, a partir do Método Curva Número, em que os parâmetros, capacidade máxima de infiltração (S) e coeficiente de abstração inicial (Ia) são calculados a partir de dados de precipitação total, deflúvio superficial e abstração inicial, obtendo a partir de dados hidrológicos valores específicos para cada evento.

Neste sentido, realizou-se estudos a fim de contribuir com a análise do coeficiente de abstração inicial pelo Método Curva Número, a partir de dados chuva-vazão, buscando diminuir a interferência das características fisiográficas presentes na forma tradicional do método e verificar a coerência dos resultados. Os dados de chuva-vazão foram obtidos a partir do portal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), onde analisou-se 43 eventos entre janeiro/2016 a dezembro/2019 para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana, localizada no Rio Grande do Sul, que possui uma área de 790 km² e possui características de área pouco antropizada.

O objetivo deste trabalho é contribuir com uma proposta metodológica para analisar o coeficiente de abstração inicial do método curva número a partir de dados chuva-vazão. Para atingir o proposto, os objetivos específicos deste estudo são: (1) caracterizar os eventos de chuva-vazão e a separação dos escoamentos superficial e subterrâneo por diferentes métodos; (2) caracterizar o coeficiente de abstração inicial (λ) e o Curva Número (CN) a partir de dados de deflúvios observados; (3) correlacionar as lâminas de escoamentos superficiais observadas com as estimadas por diferentes coeficientes de abstração inicial (λ).

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Obtenção de Dados e Determinação da Área de Estudo

Para a elaboração deste presente estudo, inicialmente foram analisadas, a partir do portal de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), estações telemétricas em funcionamento no Brasil que apresentam dados simultâneos de chuva-vazão. A seleção da estação e eventos, basearam-se a partir de alguns critérios como: análises de estações telemétricas que contém eventos registrados entre 2015 e 2019, além de uma boa quantidade; eventos que não apresentam falhas de dados, e que fossem possíveis extrair também informações da precipitação antecedente de 5 dias; e hidrogramas bem definidos, que facilitam o entendimento dos eventos e a separação dos componentes de escoamento.

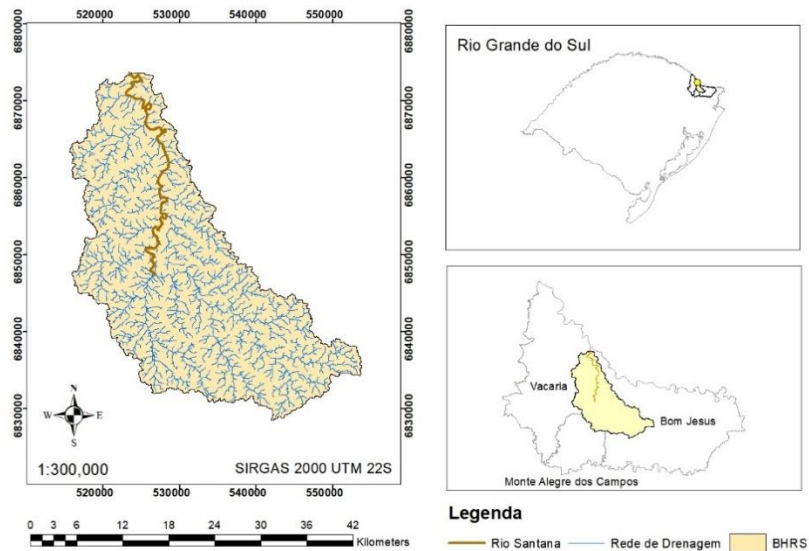
Assim, definiu-se para o desenvolvimento do estudo, utilizar os dados da estação telemétrica UHE Barra Grande Santana - 70710000, localizada no Rio Grande do Sul, devido suas informações se aproximarem do que necessitamos para esta proposta metodológica. A estação telemétrica UHE Barra Grande Santana está localizada nas coordenadas de longitude e latitude de, 523490 E e 6873565 S respectivamente, e é uma das cinco estações telemétricas instaladas em afluentes do Rio Pelotas, utilizadas para previsões de vazões de afluência para a Usina Hidrelétrica Barra Grande.

Para avaliar a área de contribuição que envolve essa estação telemétrica, utilizou-se o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) para obtenção dos Modelos Digitais de Elevação (MDE's) da região e em seguida utilizou-se o Software ArcGis® 10.3 para a aplicação do ArcHydro, que consiste em uma série de procedimentos para a delimitação de uma bacia hidrográfica a partir de uma coordenada, neste caso, a estação telemétrica UHE Barra Grande Santana. Para facilitar o entendimento, agora trataremos a nossa área de estudo como Bacia Hidrográfica Rio Santana.

A Bacia Hidrográfica Rio Santana (BHRS), abrange os municípios de Vacaria, Bom Jesus e Monte Alegre dos Campos, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 6), e possui uma área de drenagem de 790 km², com boa densidade de drenagem, 2,35 km.km⁻², e coeficiente de compacidade de 2,20, caracterizando uma bacia

hidrográfica com menor propensão a grandes enchentes. O clima é definido, segundo Koppen (1948), como Cfb, que indica um clima temperado úmido com verão ameno, onde a precipitação anual varia de 1.100 a 2.000 mm, não apresentando uma estação seca bem definida, com temperatura média do mês mais quente sendo inferior a 22°C.

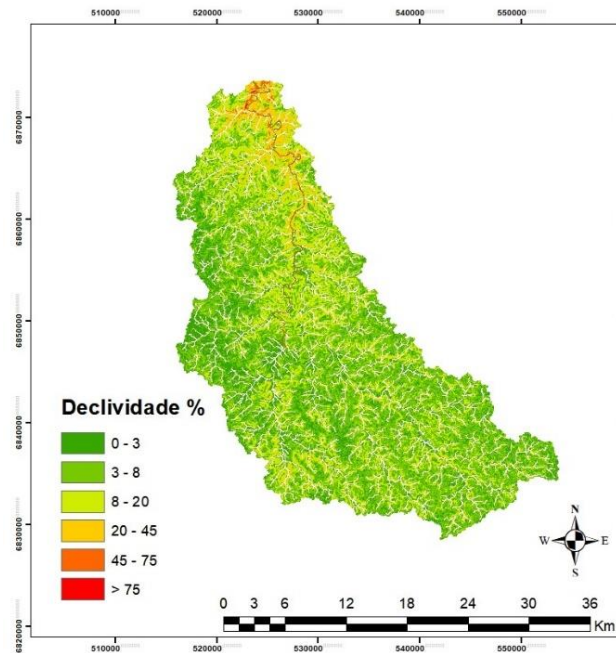
Figura 6 – Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Santana (BHRS)



Fonte: Do Autor.

O relevo, como nos mostra a Figura 7, está concentrado predominantemente entre plano (24,50 %), em que a declividade está entre 0% a 3%; suave ondulado (46,30 %) que varia entre 3% e 8%; e ondulado (24,88%), entre 8% e 20%.

Figura 7 - Mapa de Declividade da BHRS



Fonte: Do autor.

3.2.2 Separação dos componentes de escoamento

A separação do escoamento total em seus dois componentes principais, superficial e subterrâneo, a partir dos dados obtidos pelos eventos chuva-vazão, foi realizada utilizando os métodos de Filtros Digitais Recursivos Eckhardt (2005) (Equação 1) e Lyne e Hollick (1979) (Equação 2) e pelo método de separação gráfica. Os Filtros Digitais Recursivos escolhidos são os mais utilizados atualmente, onde necessitam apenas de um ou dois parâmetros para suas aplicações, gerando uma simplicidade na obtenção de resultados consistentes. O método de separação gráfica, possui diversas maneiras de análises e aplicações, e para este projeto, utilizou-se o descrito por Mello e Silva (2013), exemplificado na Figura 8, que considera o escoamento subterrâneo como linear entre dois pontos principais de inflexão em um hidrograma, encontrando-se seu valor a cada intervalo de tempo.

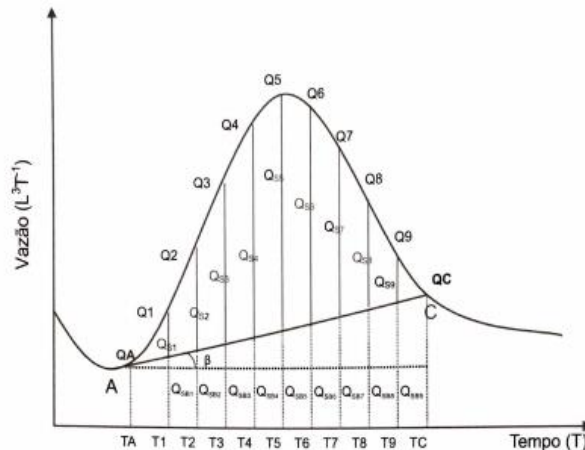
$$b_k = \frac{(1 - BFI_{max}) \cdot a \cdot b_{k-1} + (1 - a) \cdot BFI_{max} \cdot y_k}{1 - (a \cdot BFI_{max})} \quad (1)$$

$$b_k = a \cdot b_{k-1} + \frac{1-a}{2} \cdot (y_k + y_{k-1}) \quad (2)$$

onde: b_k é a vazão base no intervalo de tempo k ($m^3 \cdot s^{-1}$); BFI_{max} é o índice de escoamento base, a é o decaimento exponencial no período de recessão; e y_k é a vazão total no intervalo de tempo k ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Os valores do decaimento exponencial no período de recessão utilizados foram de 0,925 e 0,995 para o Filtro Lyne e Hollick e Filtro Eckhardt respectivamente, e o índice de escoamento base, presente no equacionamento do Filtro Eckhardt foi utilizado como 0,750.

Figura 8 – Separação do escoamento superficial direto a partir da análise gráfica.



Fonte: Mello e Silva (2013).

Os procedimentos mencionados visam encontrar o escoamento subterrâneo de cada intervalo de tempo, portanto, o escoamento superficial é obtido a partir da diferença entre o escoamento total e o escoamento subterrâneo.

3.2.3 Obtenção de λ a partir do Método Curva Número (CN)

O Método Curva Número (CN), desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS, 1972), e muito utilizado para cálculos de deflúvios superficiais diretos gerados por eventos de precipitações em bacias hidrográficas, é definido pela Equação 3:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a - S)} \quad (3)$$

Onde: Q é o deflúvio superficial direto; P, a precipitação total do evento; I_a , as perdas por abstração inicial; e S, a capacidade máxima de retenção de água pelo solo, sendo todos os parâmetros dados em mm.

A capacidade máxima de retenção (S) é obtida com base nos valores de CN, parâmetro associado às características fisiográficas da bacia, tais como, cobertura vegetal, umidade antecedente e classe de solo. Este parâmetro pode ser encontrado pela Equação 4:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

O modelo ainda enfatiza que exista uma relação entre as duas principais variáveis do Método CN, a abstração inicial e a capacidade máxima de retenção, sendo o coeficiente de abstração inicial (λ) a constante de proporcionalidade entre estas variáveis, conforme nos mostra a Equação 5:

$$\lambda = \frac{I_a}{S} \quad (5)$$

Na literatura, o valor do coeficiente de abstração inicial (λ) é considerado como sendo 0,200, em que a abstração inicial corresponde a 20% da capacidade máxima de infiltração e o valor de CN é determinado a partir da análise crítica do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica estudada (MELLO; SILVA, 2013).

Visando neste trabalho, propor uma nova metodologia de análise a partir do Modelo CN, foram realizadas associações para definir o coeficiente de abstração inicial (λ) e o curva número (CN) para cada evento estudado, apenas pelos dados chuva-vazão. Primeiramente, definiu-se o deflúvio superficial direto como a razão entre o volume total do escoamento superficial pela área total da bacia, conforme a Equação 6:

$$Q = \frac{VES}{A \cdot 10^3} \quad (6)$$

Onde: VES é dado em m^3 e obtido pelo somatório das vazões superficiais multiplicado pelo intervalo de tempo em segundos e A é a área da bacia dada em

km².

O valor de abstração inicial (I_a) foi definido a partir das hidrógrafas geradas para cada evento, sendo considerado toda precipitação ocorrida antes do início do escoamento superficial. Assim, com os valores de deflúvio superficial (Q), precipitação total (P) e abstração inicial (I_a), foi possível a partir da manipulação da Equação 3, calcular o valor de S (Equação 7) para cada evento, sem a necessidade da análise das características fisiográficas da bacia:

$$S = \frac{(P - I_a)^2}{Q} - (P - I_a) \quad (7)$$

Com o valor de S calculou-se então a curva número (CN) e coeficiente de abstração inicial (λ) pelas equações 4 e 5, respectivamente. Os cálculos dos parâmetros foram realizados considerando os três métodos de separação do escoamento superficial direto, a fim de analisar qual apresentou valores mais coerentes.

3.2.4 Análise do Coeficiente de Abstração Inicial (λ) e Tratamento de Dados

Análises estatísticas foram realizadas para verificar o comportamento do coeficiente de abstração inicial (λ) para os três métodos de separação de escoamento e assim, avaliar qual apresentava melhores correlações. Com os valores de média e desvio padrão obtidos para a análise de λ , analisou-se, se a BHRS apresentava distribuição normal de dados, verificada pelo teste de Kolgomorov–Smirnov.

Alguns parâmetros apresentam maior interferência em um processo de escoamento superficial, como umidade média antecedente à um evento de precipitação, intensidade média de precipitação, tempo para atingir a intensidade média precipitação e o tempo para atingir a intensidade máxima da chuva (MELLO; SILVA, 2013). Assim, foram desenvolvidos modelos de regressão linear para analisar o comportamento do coeficiente de abstração inicial em relação aos outros parâmetros estudados neste trabalho, afim de verificar se estes apresentam uma boa correlação e significância com o parâmetro principal.

Utilizou-se a ferramenta de análise Regressão do Software Excel 2016 que

executa análise pelo método de “mínimos quadrados” para realizar os ajustes em um conjunto de observações. Os modelos foram analisados a partir do nível descritivo do teste, p-valor da regressão, que define se existe relação entre as variáveis, e a partir do coeficiente de determinação (R^2) que define a representatividade de uma variável “x” explicar o comportamento da variável “y”, onde quanto mais próximo de 100%, maior a representatividade.

3.2.5 Análise do escoamento superficial em relação ao coeficiente de abstração inicial (λ)

O escoamento superficial foi estimado para diferentes coeficientes de abstração inicial (λ) de forma a analisar e comparar com os valores observados, gerados pela Equação 6, para cada evento. Os valores de λ , definidos a serem utilizados neste processo foram, 0,200, utilizado na literatura como referência para o modelo CN; a média dos valores encontrados para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana; e, o valor de 0,050 que Jiang (2001) e Hawkins et al. (2001) encontram como bom valor estimado para suas respectivas bacias de estudos, e pode ser testado para a BHRS. O procedimento consistiu em calcular a capacidade máxima de infiltração pela Equação 5, para cada λ específico, gerando a partir da Equação 3, os novos escoamentos superficiais, chamados de escoamentos superficiais estimados.

3.2.6 Análise da vazão máxima de pico pelo Método Racional

De forma análoga às associações realizadas para o método curva número (CN), foram realizadas alterações nos parâmetros utilizados pelo método racional (Equação 8) para comparar a vazão máxima de pico observada pelos eventos chuva-vazão e a vazão máxima de pico estimada pelo método. Tal método é muito utilizado, pois a partir de apenas um parâmetro, o coeficiente de escoamento (C), que representa a interação entre a infiltração e escoamento de um evento, transformamos um processo complexo de análise de um evento de precipitação em uma análise simples (MELLO; SILVA, 2013).

$$Q_{\max} = \frac{C.i_{\max}.A}{360} \quad (8)$$

Onde: Q_{\max} é a vazão máxima calculada em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, i_{\max} é a intensidade máxima de precipitação em $\text{mm}.\text{h}^{-1}$, C é o coeficiente de escoamento superficial e A , a área da bacia estudada em ha.

O coeficiente de escoamento superficial (C) foi determinado a partir da relação entre o escoamento superficial e a precipitação total de determinado evento (Equação 9) e a intensidade máxima de precipitação (Equação 10), pela relação entre precipitação total e o tempo de concentração:

Onde: t_c é o tempo de concentração, em horas.

$$C = \frac{Q}{P_{\text{total}}} \quad (9)$$

$$i_{\max} = \frac{P_{\text{total}}}{t_c} \quad (10)$$

A importância da análise do tempo de concentração em uma bacia hidrográfica está direcionada à relação entre características físicas da bacia hidrográfica junto aos eventos de chuva, condições climáticas, entre outros fatores. O tempo de concentração consiste no tempo necessário para a precipitação que cai no ponto mais remoto de uma bacia hidrográfica ou área de contribuição, chegar ao exutório.

Existem métodos empíricos e de análises do comportamento de hidrograma para encontrar o tempo de concentração (t_c). Segundo Mello (2003), o método de Airport (Equação 10) apresenta uma melhor coerência de análise do tempo de concentração comparado aos demais métodos, e está representado na Equação 10.

$$t_c = \frac{3,26.(1,1-C).L^{0,5}}{DL^{0,33}} \quad (11)$$

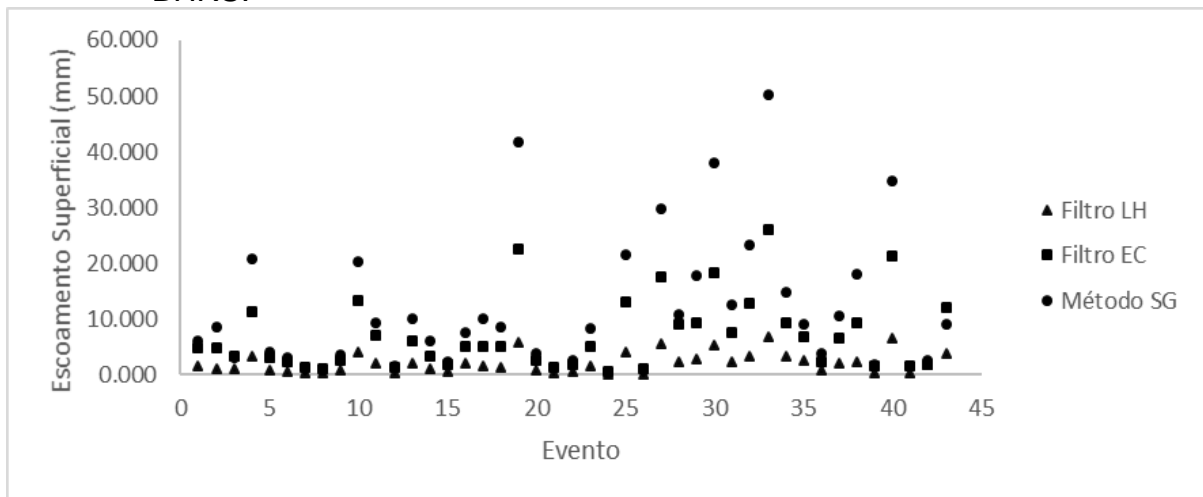
Onde: L o comprimento do canal principal em metros e DL a declividade média em $\text{m}.\text{m}^{-1}$.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quarenta e três eventos de precipitação, entre janeiro/2016 e dezembro/2019, foram selecionados para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana (BHRS) a partir dos critérios pré-determinados. No Apêndice A estão apresentados os eventos estudados juntamente com seus parâmetros calculados.

Os métodos utilizados para a separação do escoamento em componentes de deflúvio subterrâneo e superficial, influenciam diretamente no deflúvio superficial gerado para cada evento e, conseqüentemente, nos valores do coeficiente de abstração inicial. Os valores calculados para cada método demonstraram uma grande variação de resultados entre eles, conforme nos mostra a Figura 9:

Figura 9 – Escoamento Superficial gerado por cada método de separação para a BHRS.



Fonte: Do Autor.

O Filtro LH subestima a vazão superficial e conseqüentemente apresenta menores volumes de deflúvio superficial que os outros métodos trabalhados, gerando elevada capacidade máxima de infiltração (S) e baixo CN . O Filtro EC, apresenta maiores vazões superficiais que o método anterior, entretanto, analisando as perdas por abstração inicial (I_a) obtidos para cada um dos eventos, observamos que o início do escoamento superficial é instantâneo à ocorrência de precipitação, gerando baixos valores de I_a . A partir de uma análise superficial da região da bacia hidrográfica, que apresenta um relevo basicamente plano - suave ondulado, áreas pouco antropizadas e uso e ocupação em grande parte pela agricultura, era esperado maiores volumes de perdas por abstração inicial. Já o Método SG, em sua

aplicação, apresentou maiores volumes de perdas por abstração inicial que os outros dois métodos, entretanto, também mostrou que os volumes obtidos para escoamento superficial também eram mais elevados, e com isso obteve para todos os parâmetros observados, valores mais significativos para análises futuras, devido a facilidade e simplicidade de utilização deste método. Em relação ao cálculo de CN, os dados apresentaram uma grande variação, entretanto, como é um parâmetro dependente das características fisiográficas da bacia hidrográfica, não se pode descartar tais valores.

3.3.1 Análise do coeficiente de abstração inicial (λ)

Na Tabela 1 estão apresentadas as estatísticas dos coeficientes de abstração inicial (λ) gerados pelos eventos da BHRS, onde os valores maiores que 0,500 foram retirados destas análises, visto que não apresentam coerência e distorcem as médias estudadas. Destaca-se que o método de separação gráfica (SG) apresenta as maiores médias e o menor coeficiente de variação dos dados analisados. Os Filtros de Lyne & Hollick (LH) e Eckhardt (EC), apresentaram muitos coeficientes de abstração inicial (λ) iguais a zero, além de uma baixa média e maiores coeficientes de variação.

Tabela 1- Valores máximo, mínimo e médio e coeficiente de variação dos coeficientes de abstração gerados pelos modelos para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana.

	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)
$\lambda_{\text{Eckhardt}}$	0,140	0,000	0,014	191,272
$\lambda_{\text{Lyne\&Hollick}}$	0,267	0,000	0,012	333,647
$\lambda_{\text{SeparaçãoGráfica}}$	0,376	0,006	0,138	81,045

Fonte: Do Autor.

Os altos coeficientes de variação se dão, pois, o parâmetro coeficiente de abstração inicial apresenta grande dependência da precipitação, que por natureza apresenta alta variabilidade e amplitude de dados. Ao avaliar os dados do coeficiente de abstração inicial (λ), juntamente com os demais parâmetros apresentados no

Apêndice A, definiu-se que para o proposto pela metodologia, os dados gerados pelo método de separação gráfica (SG) podem apresentar mais coerência para utilização que os demais, principalmente por apresentar maiores volumes de perdas por abstração inicial, menores coeficientes de variação e não apresentar valores de coeficiente de abstração inicial iguais a zero. Sendo assim, os estudos posteriores foram realizados apenas com os valores deste método.

Assim, a Bacia Hidrográfica do Rio Santana, possui 65,78 % dos dados de λ inferiores a 0,200 e uma média que significa que para esta bacia hidrográfica a abstração inicial equivale a 13,80% da capacidade máxima de infiltração, utilizando o método de separação gráfica (SG).

Pelo Teste de Kolgomorov-Smirnov, ao nível de significância de 5%, verificou-se que os dados de λ calculados apresentavam distribuição normal, com desvio padrão encontrado de 0,112 ($0,138 \pm 0,112$). Com a amplitude dos dados de coeficiente de abstração inicial variando de 0,006 a 0,376, observou-se mais dois pontos de análises além da média dos dados, sendo eles uma variação da “média menos desvio padrão ($0,138 - 0,112$) ” e da “média mais desvio padrão ($0,138 + 0,112$) ”, definindo os valores de 0,026 e 0,250 respectivamente.

Verificou-se que 15,8% dos dados de coeficiente de abstração inicial encontrados para a BHRS são menores ou iguais a 0,026 e 15% são maiores ou iguais a 0,250, formando blocos com a mesma abrangência de λ . Assim, os dados foram analisados em blocos, com os eventos separados conforme apresentados nas Tabelas 2,3 e 4:

Tabela 2 - Estatísticas calculadas para o Bloco 1 ($\lambda \leq 0,026$) da separação de dados da BHRS.

	P (mm)	ES (mm)	C	la (mm)	S (mm)	λ	CN	P5 (mm)
Maior	59,4	10,472	0,176	8,0	519,964	0,026	50,360	33,8
Menor	28,8	1,038	0,036	1,6	250,373	0,006	32,818	0,8
Amplitude	30,6	9,434	0,140	6,4	269,591	0,020	17,542	33,0
Média	45,0	4,966	0,095	5,5	373,723	0,015	41,619	14,1
Desvio Padrão	14,0	4,396	0,064	2,5	116,492	0,008	7,827	14,3
CV (%)	321,2	112,970	148,341	216,8	320,815	186,363	531,748	98,5

Fonte: Do Autor.

Tabela 3 - Estatísticas calculadas para o Bloco 2 ($0,026 \leq \lambda \leq 0,250$) da separação de dados da BHRS.

	P (mm)	ES (mm)	C	la (mm)	S (mm)	λ	CN	P5 (mm)
Maior	155,4	50,345	0,640	40,0	999,323	0,245	94,972	83,6
Menor	19,2	0,337	0,010	2,8	13,448	0,032	20,266	0,0
Amplitude	136,2	50,008	0,630	37,2	985,875	0,213	74,706	83,6
Média	62,2	12,660	0,179	15,6	222,290	0,110	60,165	13,5
Desvio Padrão	36,0	13,438	0,153	8,8	210,991	0,076	18,118	21,4
CV (%)	172,7	94,205	117,240	177,6	105,355	145,550	332,078	63,0

Fonte: Do Autor.

Tabela 4 - Estatísticas calculadas para o Bloco 3 ($\lambda \geq 0,250$) da separação de dados da BHRS.

	P (mm)	ES (mm)	C	la (mm)	S (mm)	λ	CN	P5 (mm)
Maior	78,6	20,656	0,476	28,4	110,490	0,376	91,082	67,40
Menor	16,0	0,744	0,046	7,8	24,871	0,254	69,686	0,0
Amplitude	62,6	19,912	0,430	20,6	85,619	0,122	21,396	67,4
Média	44,3	9,602	0,200	17,7	60,749	0,302	81,344	32,7
Desvio Padrão	19,8	7,663	0,145	7,8	30,339	0,047	7,672	24,7
CV (%)	224,1	125,298	138,229	227,4	200,235	646,967	1060,284	132,1

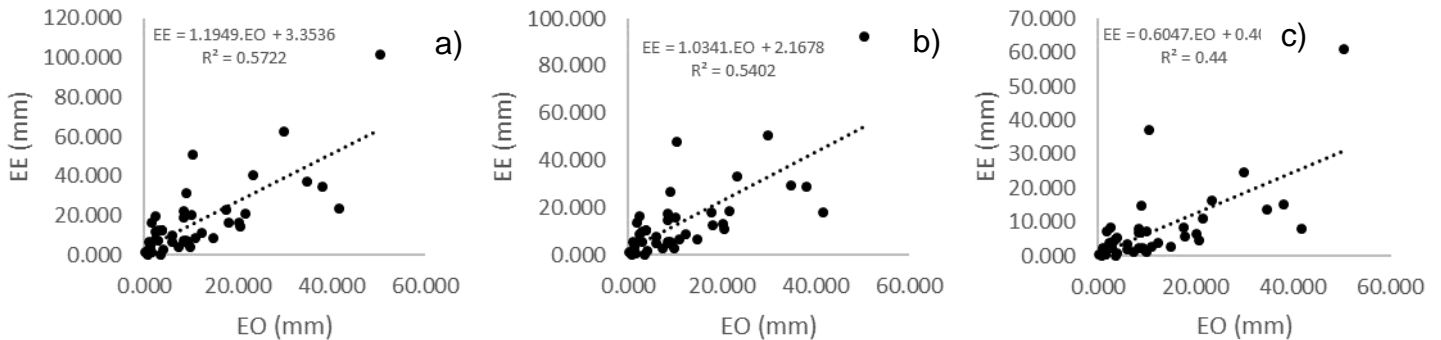
Fonte: Do Autor.

3.3.2 Análise do escoamento superficial em relação ao coeficiente de abstração inicial (λ)

Utilizando λ pré-definidos para relacionar o Escoamento Estimado (EE) com o Escoamento Observado (EO) obtivemos curvas com baixas correlações, onde os dados analisados com coeficiente de abstração inicial (λ) igual a 0,200, apresentaram melhor resultado, entretanto, com uma diferença pouco significativa para os demais, conforme nos mostra a Figura 10.

Tais dados mostram que para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana, ao padronizar valores de coeficiente de abstração inicial, eventos com maior volume de escoamento superficial observado são subestimados. Essas ocorrências reforçam o fato de que para a análise do escoamento superficial a partir do coeficiente de abstração inicial é necessário muito cuidado para padronizar valores de λ e também para o CN, pois as características, tipo, umidade e uso e ocupação do solo podem se diferir entre os eventos.

Figura 10 – Escoamento Estimado versus Escoamento Observado para a BHRS para seus respectivos lambdas a) 0,200 b) 0,138 e c) 0,050.

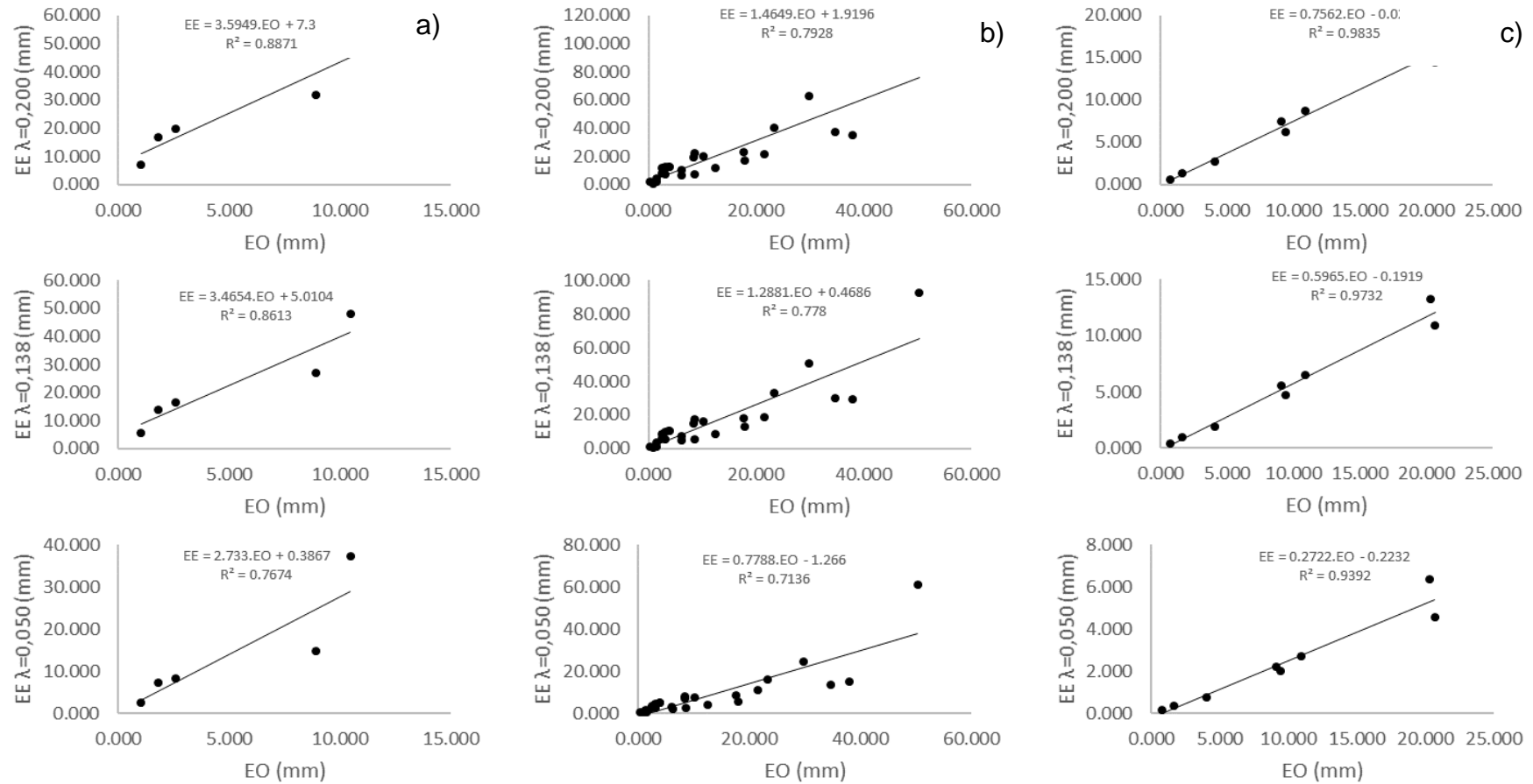


Fonte: Do Autor.

Afim de tentar diminuir a influência desses fatores nos dados calculados e melhorar a correlação entre eles, foi realizada a análise em blocos, conforme definido anteriormente após a distribuição normal, com o entendimento de que cada grupo estudado poderia apresentar características semelhantes e melhorar os resultados. Os dados estão dispostos na Figura 11.

A análise em blocos apresentou boas correlações, (R^2 acima de 0,70), melhorando os resultados para os três coeficientes de abstração iniciais, onde o $\lambda=0,200$ apresentou os melhores resultados independente do bloco estudado. O bloco 3, composto por dados que apresentavam coeficiente de abstração inicial maior ou igual a 0,250, apresentou correlações maiores que 90%. Sendo assim, podemos concluir que, como tratamos de eventos de precipitação com grande amplitude e variabilidade de dados, e utilizando o método curva número a partir da manipulação dos parâmetros de equacionamento, trabalhar com os dados em blocos nos traz uma melhor representatividade dos valores.

Figura 11 - - Escoamento Estimado versus Escoamento Observado para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana para o a) bloco 1; b) bloco 2; e c) bloco 3 para os lambdas estudados.



Fonte: Do Autor.

3.3.3 Correlação da abstração inicial (λ) com os parâmetros estudados

Os parâmetros utilizados para análise da regressão linear neste projeto foram a abstração inicial (I_a), capacidade máxima de infiltração (S), curva número (CN) e precipitação antecedente dos 5 dias anteriores ($P5$). Para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana (BHRS), as correlações para cada bloco analisadas separadamente estão dispostas abaixo:

Tabela 5 - Modelos ajustados para o coeficiente de abstração inicial obtido a partir do método CN - SCS para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana, sendo a) bloco 1, b) bloco 2 e c) bloco 3.

Variáveis	Parâmetro	Intersecção	Variáveis	Parâmetro	Intersecção	Variáveis	Parâmetro	Intersecção
I_a	0,0025 ^{ns}	0,0016 ^{ns}	I_a	0,0005 ^{ns}	0,102*	I_a	-0,0015*	0,3286 ^{ns}
C	0,0059 ^{ns}	0,0157 ^{ns}	C	0,2723*	0,0615*	C	0,1750 ^{ns}	0,2672*
I_a	0,0039***	-0,0147 ^{ns}	I_a	0,0021 ^{ns}	0,0226 ^{ns}	I_a	-0,0003 ^{ns}	0,2731*
C	0,0897 ^{ns}		C	0,3075*		C	0,1694 ^{ns}	
S	0,00E+00 ^{ns}	0,0214 ^{ns}	S	-2,00E-04*	0,1565*	S	-0,0008 ^{ns}	0,3500*
I_a	0,0033**	0,014***	I_a	0,0045*	0,1087*	I_a	0,0144*	0,3081*
S	0,00E+00***		S	-3,00E-04*		S	-0,0043*	
C	0,1249 ^{ns}	0,0555 ^{ns}	C	0,1778***	0,1117*	C	0,1238 ^{ns}	0,3076*
S	1,00E-04 ^{ns}		S	-1,00E-04**		S	-0,0005 ^{ns}	
C	0,025 ^{ns}		C	0,1942**		C	0,0462 ^{ns}	
S	0,00E+00 ^{ns}	0,068 ^{ns}	S	-2,00E-04*	0,0573*	S	-0,0040**	0,2943*
I_a	0,0035 ^{ns}		I_a	0,0047*		I_a	0,0137**	
CN	0,0002 ^{ns}	0,0049 ^{ns}	CN	0,0032*	-0,0839**	CN	0,0031 ^{ns}	0,0520 ^{ns}
P5	0,0003 ^{ns}	0,0106 ^{ns}	P5	0,0003 ^{ns}	0,1068*	P5	0,0002 ^{ns}	0,2957*
CN	0,0001 ^{ns}	0,076 ^{ns}	CN	0,0032*	-0,0862**	CN	0,0030 ^{ns}	0,0516 ^{ns}
P5	3,00E-04 ^{ns}		P5	2,00E-04*		P5	0,0001 ^{ns}	
CN	0,0016 ^{ns}	-0,0333 ^{ns}	CN	0,0029*	-0,0755**	CN	0,0019 ^{ns}	0,1260 ^{ns}
C	0,1791 ^{ns}		C	0,0686 ^{ns}		C	0,1236 ^{ns}	

Fonte: Do Autor.

Legenda: *significativo a 1%
 ** significativo a 5%
 *** significativo a 10%
 ns não significativo.

Para os três blocos, o coeficiente de abstração inicial (λ) apresentou boas correlações com os parâmetros abstração inicial (I_a) e capacidade máxima de infiltração (S), onde para os blocos 2 e 3, apresentaram uma significância de 1%, e

R^2 acima de 50%. Para o bloco 2, juntamente com esses dois parâmetros, o coeficiente de escoamento superficial também apresentou boa correlação. Por causa da forma como o λ foi obtido, a partir de análises envolvendo estes parâmetros, isso já era esperado. Já a precipitação antecedente e o parâmetro CN, que possuem associação com a umidade, características e uso e ocupação do solo, e são fatores de grande importância para o Modelo CN, não apresentaram boas correlações em nenhum dos modelos estudados. Logo, a partir da forma como estes foram encontrados e correlacionados, demonstram que esta forma de análise do escoamento superficial não leva em consideração as características fisiográficas da bacia hidrográfica, apenas parâmetros de precipitação dos eventos.

3.3.4 Vazões Máximas Estimadas versus Vazões Máximas Observadas pelo Método Racional

Na Tabela 6 estão apresentados os valores para o tempo de concentração (t_c) de cada evento calculados com base na Equação de Airport para a BHRS:

Tabela 6 - Tempos de concentração (t_c) calculados para a Bacia Hidrográfica do Rio Santana

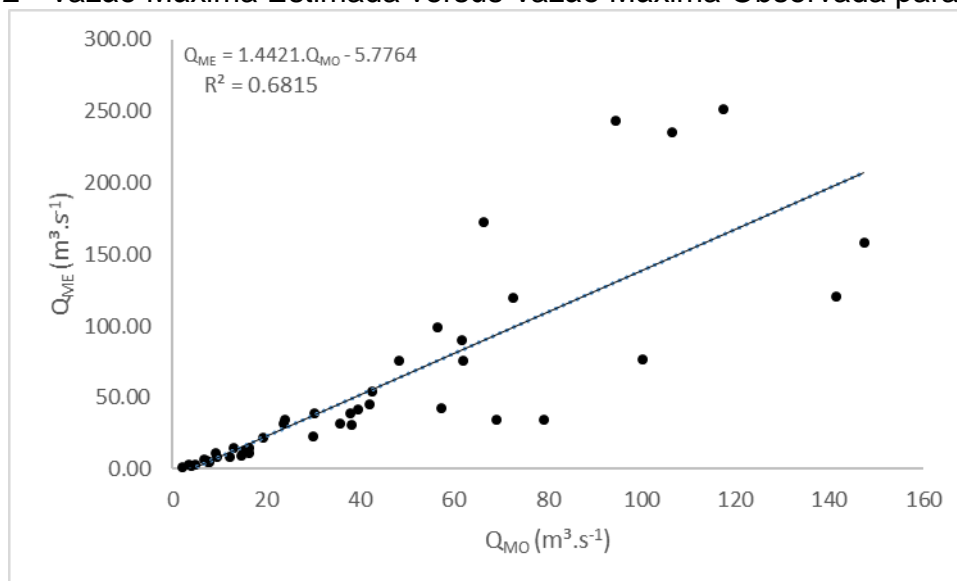
Evento	t_c (h)	Evento	t_c (h)	Evento	t_c (h)	Evento	t_c (h)	Evento	t_c (h)
1	58,2	10	37,3	19	38,9	28	52,63	37	55,3
2	53,8	11	48,6	20	58,7	29	50,7	38	51,9
3	62,2	12	63,1	21	62,6	30	34,3	39	62,6
4	50,1	13	56,6	22	64,1	31	50,2	40	48,2
5	58,8	14	61,3	23	58,2	32	51,8	41	61,3
6	60,9	15	61,9	24	65,3	33	44,0	42	62,4
7	63,7	16	52,5	25	27,6	34	43,4	43	57,5
8	63,2	17	56,0	26	63,1	35	56,7		
9	59,4	18	59,3	27	54,4	36	58,2		

Fonte: Do autor.

Na Figura 12 analisamos a relação entre as vazões máximas estimadas (Q_{ME}) e as vazões máximas observadas (Q_{MO}) a partir dos parâmetros encontrados em cada evento, para os 43 eventos estudados, ($R^2 = 68,15\%$), notando que para vazões observadas maiores que $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, há a presença de dados outliers, distantes da curva de regressão. Assim, para vazões observadas menores ou iguais a $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, plotou-se o gráfico disposto na Figura 13, onde percebeu-se que até essa faixa, a predição realizada a partir do método racional, com análise de variáveis

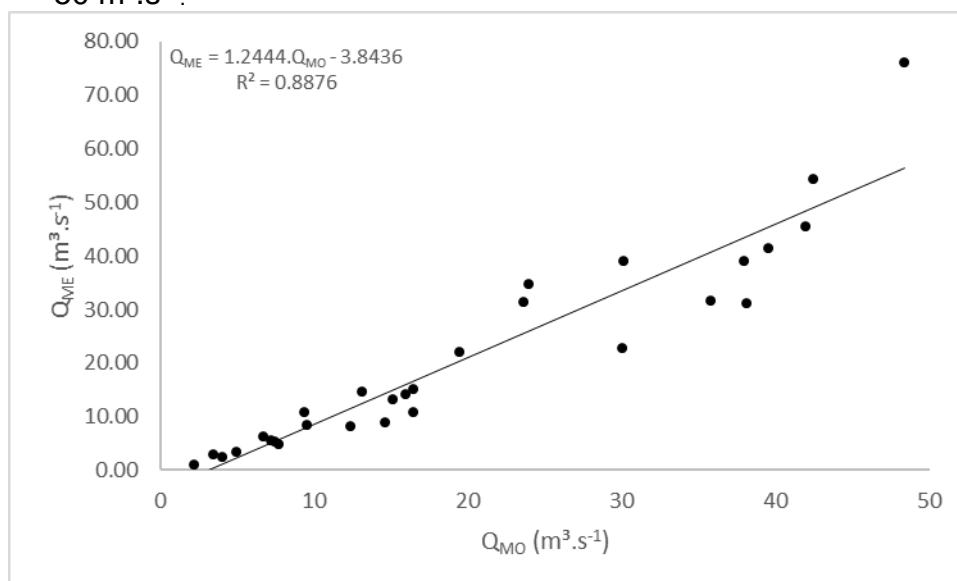
modificadas, apresenta uma tendência de 88,76%.

Figura 12 - Vazão Máxima Estimada versus Vazão Máxima Observada para a BHRS.



Fonte: Do Autor.

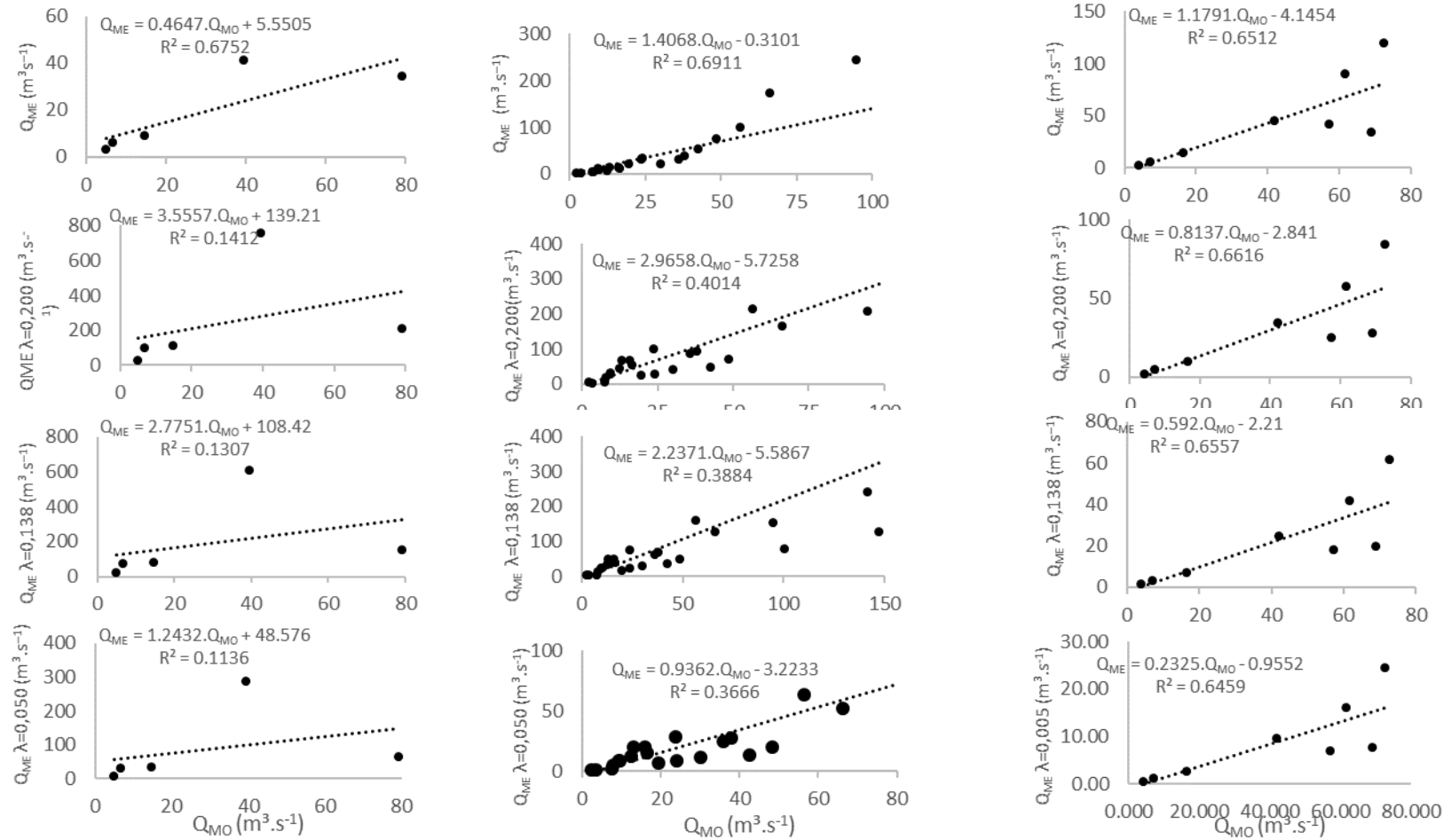
Figura 13 - Vazão Máxima Estimada versus Vazão Máxima observada para $Q_{MO} \leq 50 m^3 \cdot s^{-1}$.



Fonte: Do Autor.

Similar ao realizado para análise dos escoamentos estimados e observados, analisou-se as vazões separando-as em blocos, onde foi analisado os eventos obtidos inicialmente, e as vazões geradas a partir dos dados de lambdas pré-definidos, assim, plotou-se os gráficos presentes na Figura 14.

Figura 14 - Vazão Máxima Estimada versus Vazão Máxima Observada para a BHRS para o a) bloco 1; b) bloco 2; e c) bloco 3 para os lambdas estudados.



Fonte: Do Autor.

Para os cálculos envolvendo as análises das vazões máximas estimadas versus vazões máximas observadas, quando separadas em blocos, não apresentam boas correlações para os blocos analisados, quando o coeficiente de abstração inicial é exclusivo de cada evento. Quando as vazões são projetadas para os valores de λ pré-definidos, os blocos 1 e 2 ocorre uma diminuição nos valores de tendência. Já para o bloco 3, a correlação se mostrou semelhante aos dados calculados diretamente para cada evento.

3.4 CONCLUSÃO

O coeficiente de abstração inicial do Modelo Curva Número, foi determinando a partir das análises dos eventos chuva – vazões para a Bacia Hidrográfica Rio Santana, obtidos pela base de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), afim de minimizar a influência dos parâmetros fisiográficos presentes no modelo.

Após os cálculos, dos parâmetros presentes na manipulação do modelo curva-número, obtidos para os métodos de separação dos componentes de escoamento, definiu-se que o método de separação gráfica apresentou os melhores resultados para o que era proposto. Os resultados para este método indicaram que o valor médio do coeficiente de abstração inicial é de 0,138, variando entre 0,006 e 0,376.

Uma comparação entre valores de escoamento superficial, estimados por determinados coeficientes de abstração inicial, e valores de escoamento superficial, observados pelos dados característicos dos eventos, apresenta uma melhora na correlação entre os dados, quando analisamos os resultados separando os coeficientes de abstração inicial em blocos, o que caracteriza uma menor influência dos parâmetros fisiográficos e maior concentração no comportamento hidrológico do conjunto de dados.

O método racional, utilizado para analisar os valores de vazões máximas estimadas em relação às vazões máximas observadas pelos eventos – chuva vazão, apresentou uma correlação de 68,15%, onde para vazões menores que $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, melhorou significativamente a capacidade preditiva do método para 88,76 %. Entretanto, para se trabalhar em blocos, os resultados não foram satisfatórios.

Este estudo apresenta então uma nova metodologia de análise do modelo

curva-número, utilizando apenas dados de chuva-vazão, o que facilita e simplifica a aplicação deste em bacias ainda não estudadas. Os principais problemas relatados à certa do modelo são referentes aos parâmetros tabelados, que são utilizados para analisar os parâmetros fisiográficos das bacias, entretanto, sabemos que para diferentes locais de estudos, as características se diferem, portanto, utilizar esta nova metodologia pode ser benéfico para resultados mais conclusivos.

3.5 REFERÊNCIAS

ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 507-515, 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.5675>.

HAWKINS, R. H. et al. Another Look at SCS-CN Method. **Journal Of Hydrologic Engineering**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 451-452, out. 2001. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2001\)6:5\(451\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2001)6:5(451)).

JIANG, R. **Investigation of Runoff Curve Number Initial Abstraction Ratio**. 2001. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Master Of Science With A Major In Watershed Management, University Of Arizona, Tucson, 2001.

KOPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

LYNE, V. D; HOLLICK, M. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. In: **Hydrology and Water Resources Symposium**. Institution of Engineers Australia, Perth, Australia, 1979. p. 89 – 92.

MELLO, C. R. **Estudo Hidrológico em microbacia hidrográfica com regime de escoamento efêmero**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas**. Lavras: Ufla, 2013. 455p.

MISHRA, S. K. et al. SCS-CN-based modeling of sediment yield. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 324, n. 1-4, p. 301-322, jun. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.10.006>.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff Curve Number: has it reached maturity?. **Journal Of Hydrologic Engineering**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 11-19, jan. 1996. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(1996\)1:1\(11\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(1996)1:1(11)).

SCS (Soil Conservation Service). SCS National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service. **US Department of Agriculture**, Washington, DC. 1972.

SHI, Z. H. et al. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. *Catena*, [S.L.], v. 77, n. 1, p. 1-7, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.11.006>.

SMITH, Roger E. Approximations for Vertical Infiltration Rate Patterns. **Transactions Of The Asae**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 0505-0509, 1976. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/2013.36058>.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ufrs, 2000. 943p.

APÊNDICE A – Tabela de Dados

Tabela 7: Dados dos parâmetros calculados para cada evento estudado.

(Continua)

Evento	Tipo de Separação	P (mm)	ES (mm)	C	la (mm)	S (mm)	λ	CN	P5 (mm)
Evento 1	Filtro EC	47,0	4,877	0,104	0,2	402,294	0,001	38,702	14,6
Evento 1	Filtro LH	47,0	1,615	0,034	1,0	1264,109	0,001	16,731	14,6
Evento 1	Análise Gráfica	47,0	6,051	0,129	14,6	141,081	0,104	64,291	14,6
Evento 2	Filtro EC	42,2	4,819	0,114	1,6	301,471	0,005	45,727	0,0
Evento 2	Filtro LH	42,2	1,143	0,027	1,6	1401,279	0,001	15,345	0,0
Evento 2	Análise Gráfica	42,2	8,533	0,202	14,6	61,670	0,237	80,464	0,0
Evento 3	Filtro EC	50,0	3,210	0,064	1,4	687,256	0,002	26,985	0,0
Evento 3	Filtro LH	50,0	0,967	0,019	1,4	2392,820	0,001	9,596	0,0
Evento 3	Análise Gráfica	50,0	3,085	0,062	13,6	393,033	0,035	39,256	0,0
Evento 4	Filtro EC	78,6	11,268	0,143	0,6	461,933	0,001	35,478	50,0
Evento 4	Filtro LH	78,6	3,314	0,042	0,6	1757,916	3,00E-04	12,625	50,0
Evento 4	Análise Gráfica	78,6	20,656	0,263	26,8	78,098	0,343	76,483	50,0
Evento 5	Filtro EC	34,6	2,985	0,086	13,4	129,354	0,104	66,257	1,4
Evento 5	Filtro LH	34,6	0,893	0,026	25,0	93,557	0,267	73,082	1,4
Evento 5	Análise Gráfica	34,6	4,053	0,117	17,8	52,831	0,337	82,782	1,4
Evento 6	Filtro EC	36,4	2,180	0,060	0,2	533,226	4,00E-04	32,265	34,6
Evento 6	Filtro LH	36,4	0,442	0,012	11,6	1258,301	0,009	16,796	34,6
Evento 6	Análise Gráfica	36,4	3,029	0,083	11,6	163,210	0,071	60,881	34,6
Evento 7	Filtro EC	28,8	1,298	0,045	1,6	542,580	0,003	31,886	3,2
Evento 7	Filtro LH	28,8	0,244	0,008	8,0	1750,618	0,005	12,671	3,2
Evento 7	Análise Gráfica	28,8	1,038	0,036	8,0	396,009	0,020	39,076	3,2
Evento 8	Filtro EC	19,2	0,940	0,049	0,8	341,735	0,002	42,636	0,4
Evento 8	Filtro LH	19,2	0,186	0,010	1,4	1681,735	0,001	13,122	0,4
Evento 8	Análise Gráfica	19,2	0,861	0,045	11,4	62,846	0,181	80,165	0,4
Evento 9	Filtro EC	33,8	2,604	0,077	5,4	281,285	0,019	47,451	22,4
Evento 9	Filtro LH	33,8	0,790	0,023	5,4	992,987	0,005	20,369	22,4
Evento 9	Análise Gráfica	33,8	3,622	0,107	24,8	13,365	1,856	95,001	22,4
Evento 10	Filtro EC	42,6	13,359	0,314	7,8	55,854	0,140	81,974	67,4
Evento 10	Filtro LH	42,6	4,068	0,095	7,8	262,887	0,030	49,140	67,4
Evento 10	Análise Gráfica	42,6	20,295	0,476	7,8	24,871	0,314	91,082	67,4
Evento 11	Filtro EC	32,6	7,037	0,216	3,0	94,916	0,032	72,797	28,4
Evento 11	Filtro LH	32,6	2,146	0,066	10,8	199,654	0,054	55,990	28,4
Evento 11	Análise Gráfica	32,6	9,405	0,288	10,8	28,731	0,376	89,838	28,4
Evento 12	Filtro EC	35,8	1,301	0,036	0,2	938,192	2,00E-04	21,305	0,0
Evento 12	Filtro LH	35,8	0,371	0,010	0,2	3380,573	1,00E-04	6,988	0,0
Evento 12	Análise Gráfica	35,8	1,646	0,046	22,8	89,680	0,254	73,906	0,0
Evento 13	Filtro EC	65,2	6,086	0,093	8,4	473,346	0,018	34,921	6,0
Evento 13	Filtro LH	65,2	2,038	0,031	10,4	1418,395	0,007	15,188	6,0
Evento 13	Análise Gráfica	65,2	10,105	0,155	14,8	200,972	0,074	55,828	6,0
Evento 14	Filtro EC	80,8	3,426	0,042	0,4	1806,277	2,00E-04	12,328	0,6

Tabela 8: Dados dos parâmetros calculados para cada evento estudado.

(Continuação)

Evento	Tipo de Separação	P (mm)	ES (mm)	C	la (mm)	S (mm)	λ	CN	P5 (mm)
Evento 14	Filtro LH	80,8	1,081	0,013	0,6	5871,916	1,00E-04	4,146	0,6
Evento 14	Análise Gráfica	80,8	6,160	0,076	40,0	229,423	0,174	52,542	0,6
Evento 15	Filtro EC	36,0	1,747	0,049	0,4	689,760	0,001	26,914	23,4
Evento 15	Filtro LH	36,0	0,498	0,014	3,8	2049,678	0,002	11,026	23,4
Evento 15	Análise Gráfica	36,0	2,376	0,066	11,0	238,025	0,046	51,623	23,4
Evento 16	Filtro EC	33,2	5,091	0,153	1,8	162,263	0,011	61,019	3,2
Evento 16	Filtro LH	33,2	1,934	0,058	1,8	478,513	0,004	34,675	3,2
Evento 16	Análise Gráfica	33,2	7,432	0,224	14,4	28,758	0,501	89,830	3,2
Evento 17	Filtro EC	61,0	5,157	0,085	5,0	552,125	0,009	31,509	1,6
Evento 17	Filtro LH	61,0	1,445	0,024	5,0	2114,335	0,002	10,725	1,6
Evento 17	Análise Gráfica	61,0	10,004	0,164	33,2	49,452	0,671	83,703	1,6
Evento 18	Filtro EC	77,8	4,967	0,064	1,4	1098,780	0,001	18,776	8,2
Evento 18	Filtro LH	77,8	1,341	0,017	4,4	3943,857	0,001	6,051	8,2
Evento 18	Análise Gráfica	77,8	8,486	0,109	19,0	348,617	0,055	42,150	8,2
Evento 19	Filtro EC	92,4	22,541	0,244	0,4	283,485	0,001	47,257	38,0
Evento 19	Filtro LH	92,4	5,824	0,063	0,4	1361,333	3,00E-04	15,724	38,0
Evento 19	Análise Gráfica	92,4	41,674	0,451	25,0	41,607	0,601	85,925	38,0
Evento 20	Filtro EC	31,6	2,638	0,083	0,6	333,278	0,002	43,250	4,6
Evento 20	Filtro LH	31,6	0,833	0,026	5,4	797,394	0,007	24,158	4,6
Evento 20	Análise Gráfica	31,6	3,785	0,120	5,4	155,147	0,035	62,080	4,6
Evento 21	Filtro EC	25,8	1,314	0,051	0,2	472,980	4,00E-04	34,939	10,4
Evento 21	Filtro LH	25,8	0,378	0,015	0,2	1707,520	1,00E-04	12,949	10,4
Evento 21	Análise Gráfica	25,8	1,386	0,054	9,0	186,820	0,048	57,620	10,4
Evento 22	Filtro EC	83,0	1,805	0,022	32,4	1367,645	0,024	15,663	6,8
Evento 22	Filtro LH	83,0	0,589	0,007	32,4	4298,632	0,008	5,579	6,8
Evento 22	Análise Gráfica	83,0	2,439	0,029	32,4	999,323	0,032	20,266	6,8
Evento 23	Filtro EC	66,2	5,052	0,076	10,2	564,781	0,018	31,022	83,6
Evento 23	Filtro LH	66,2	1,520	0,023	10,2	2007,777	0,005	11,230	83,6
Evento 23	Análise Gráfica	66,2	8,417	0,127	16,0	249,194	0,064	50,478	83,6
Evento 24	Filtro EC	34,4	0,663	0,019	0,2	1729,362	1,00E-04	12,807	0,0
Evento 24	Filtro LH	34,4	0,137	0,004	0,2	8516,087	0,00E+00	2,896	0,0
Evento 24	Análise Gráfica	34,4	0,337	0,010	20,0	601,605	0,033	29,687	0,0
Evento 25	Filtro EC	33,8	13,074	0,387	2,8	42,507	0,066	85,664	17,2
Evento 25	Filtro LH	33,8	3,952	0,117	2,8	212,172	0,013	54,486	17,2
Evento 25	Análise Gráfica	33,8	21,621	0,640	2,8	13,448	0,208	94,972	17,2
Evento 26	Filtro EC	16,0	0,967	0,060	0,8	223,716	0,004	53,170	17,6
Evento 26	Filtro LH	16,0	0,177	0,011	1,2	1221,737	0,001	17,212	17,6
Evento 26	Análise Gráfica	16,0	0,744	0,047	10,2	39,426	0,259	86,563	17,6
Evento 27	Filtro EC	155,4	17,634	0,113	5,2	1129,158	0,005	18,364	0,6
Evento 27	Filtro LH	155,4	5,639	0,036	5,2	3850,847	0,001	6,188	0,6

Tabela 9: Dados dos parâmetros calculados para cada evento estudado.

(Continuação)									
Evento	Tipo de Separação	P (mm)	ES (mm)	C	la (mm)	S (mm)	λ	CN	P5 (mm)
Evento 27	Análise Gráfica	155,4	29,840	0,192	27,0	424,103	0,064	37,457	0,6
Evento 28	Filtro EC	49,2	8,956	0,182	0,2	219,099	0,001	53,689	48,4
Evento 28	Filtro LH	49,2	2,291	0,047	0,6	982,509	0,001	20,542	48,4
Evento 28	Análise Gráfica	49,2	10,909	0,222	17,2	61,866	0,278	80,414	48,4
Evento 29	Filtro EC	69,8	9,319	0,134	1,6	430,931	0,004	37,084	0,6
Evento 29	Filtro LH	69,8	2,743	0,039	15,2	1032,414	0,015	19,745	0,6
Evento 29	Análise Gráfica	69,8	17,704	0,254	15,2	113,791	0,134	69,061	0,6
Evento 30	Filtro EC	72,2	18,182	0,252	2,6	196,832	0,013	56,340	6,6
Evento 30	Filtro LH	72,2	5,215	0,072	9,8	684,252	0,014	27,072	6,6
Evento 30	Análise Gráfica	72,2	38,048	0,527	9,8	39,939	0,245	86,412	6,6
Evento 31	Filtro EC	47,6	7,514	0,158	5,4	194,811	0,028	56,594	0,8
Evento 31	Filtro LH	47,6	2,197	0,046	13,4	498,176	0,027	33,769	0,8
Evento 31	Análise Gráfica	47,6	12,430	0,261	13,4	59,901	0,224	80,917	0,8
Evento 32	Filtro EC	99,6	12,757	0,128	0,2	675,092	3,00E-04	27,339	0,6
Evento 32	Filtro LH	99,6	3,240	0,033	3,8	2737,114	0,001	8,492	0,6
Evento 32	Análise Gráfica	99,6	23,362	0,235	17,0	209,448	0,081	54,807	0,6
Evento 33	Filtro EC	137,8	26,018	0,189	0,2	590,118	3,00E-04	30,091	0,0
Evento 33	Filtro LH	137,8	6,708	0,049	4,6	2511,619	0,002	9,184	0,0
Evento 33	Análise Gráfica	137,8	50,345	0,365	7,4	207,355	0,036	55,055	0,0
Evento 34	Filtro EC	39,6	9,260	0,234	3,6	103,958	0,035	70,958	27,0
Evento 34	Filtro LH	39,6	3,179	0,080	3,6	371,661	0,010	40,597	27,0
Evento 34	Análise Gráfica	39,6	14,887	0,376	12,0	23,571	0,509	91,508	27,0
Evento 35	Filtro EC	58,6	6,673	0,114	6,6	353,190	0,019	41,832	33,8
Evento 35	Filtro LH	58,6	2,466	0,042	6,6	1044,399	0,006	19,563	33,8
Evento 35	Análise Gráfica	58,6	8,943	0,153	6,6	250,373	0,026	50,360	33,8
Evento 36	Filtro EC	30,4	2,414	0,079	0,2	347,627	0,001	42,219	8,8
Evento 36	Filtro LH	30,4	0,703	0,023	5,0	891,959	0,006	22,165	8,8
Evento 36	Análise Gráfica	30,4	3,903	0,128	5,0	139,904	0,036	64,483	8,8
Evento 37	Filtro EC	59,4	6,635	0,112	1,6	445,734	0,004	36,299	8,4
Evento 37	Filtro LH	59,4	2,131	0,036	1,6	1510,034	0,001	14,399	8,4
Evento 37	Análise Gráfica	59,4	10,472	0,176	1,6	261,238	0,006	49,298	8,4
Evento 38	Filtro EC	77,0	9,397	0,122	4,8	482,541	0,010	34,486	59,4
Evento 38	Filtro LH	77,0	2,308	0,030	4,8	2186,358	0,002	10,408	59,4
Evento 38	Análise Gráfica	77,0	17,982	0,234	23,4	106,165	0,220	70,523	59,4
Evento 39	Filtro EC	33,6	1,456	0,043	0,6	715,185	0,001	26,208	0,8
Evento 39	Filtro LH	33,6	0,338	0,010	4,4	2494,861	0,002	9,240	0,8
Evento 39	Análise Gráfica	33,6	1,813	0,054	4,4	441,029	0,010	36,545	0,8
Evento 40	Filtro EC	117,6	21,358	0,182	11,0	425,444	0,026	37,384	48,0
Evento 40	Filtro LH	117,6	6,602	0,056	11,0	1614,554	0,007	13,593	48,0
Evento 40	Análise Gráfica	117,6	34,733	0,295	26,2	149,120	0,176	63,009	48,0

Tabela 10: Dados dos parâmetros calculados para cada evento estudado.

(Conclusão)									
Evento	Tipo de Separação	P (mm)	ES (mm)	C	la (mm)	S (mm)	λ	CN	P5 (mm)
Evento 41	Filtro EC	19,4	1,606	0,083	0,2	210,271	0,001	54,709	0,6
Evento 41	Filtro LH	19,4	0,380	0,020	0,2	949,960	2,00E-04	21,097	0,6
Evento 41	Análise Gráfica	19,4	1,471	0,076	9,0	63,110	0,143	80,098	0,6
Evento 42	Filtro EC	44,6	1,846	0,041	6,8	736,087	0,009	25,654	24,4
Evento 42	Filtro LH	44,6	1,846	0,041	6,8	736,087	0,009	25,654	24,4
Evento 42	Análise Gráfica	44,6	2,562	0,057	6,8	519,964	0,013	32,818	24,4
Evento 43	Filtro EC	65,0	11,925	0,183	0,2	287,329	0,001	46,922	48,2
Evento 43	Filtro LH	65,0	3,783	0,058	0,2	1045,110	2,00E-04	19,552	48,2
Evento 43	Análise Gráfica	65,0	9,107	0,140	28,4	110,490	0,257	69,686	48,2

Fonte: Do Autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método curva número é um dos mais conhecidos e aplicados para determinação dos volumes de escoamentos superficiais devido sua simplicidade e tradição. Entretanto, alguns questionamentos veem sendo realizados, principalmente em relação ao coeficiente de abstração inicial, que é o coeficiente de linearidade entre as duas principais variáveis do método, a abstração inicial e a capacidade máxima de infiltração. O presente estudo visou analisar este método a partir apenas de dados chuva-vazão, retirando as influências fisiográficas incluídas na formulação e parametrização do método curva número, gerando uma nova proposta metodológica.

Este artigo utilizou a base de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), para verificar a disponibilidade de dados chuva-vazão para estações telemétricas brasileiras e selecionou os dados da UHE Barra Grande Santana – 70710000, localizada no estado do Rio Grande do Sul. Para o desenvolvimento do proposto, foram aplicados métodos de separação dos componentes do escoamento e, posteriormente, a análise dos parâmetros do método curva número a partir de manipulações do método original, para entender o comportamento destes pelos dados chuva vazão.

O método de separação gráfica apresentou maiores volumes de perdas por abstração inicial, menor coeficiente de variação e não apresentou valores de coeficiente de abstração inicial iguais a zero, sendo o método escolhido para a continuação do trabalho. Encontrou-se então um coeficiente de abstração inicial médio de 0,138 (13,80%) com desvio padrão de 0,116, Estes dados apresentaram uma amplitude que varia de 0,006 a 0,376, onde 65,78% dos dados foram inferiores do valor utilizado no desenvolvimento do método, de 0,200. Os dados de coeficiente de abstração inicial (λ) apresentaram distribuição normal, confirmada pelo teste de Kolgomorov – Smirnov.

A comparação dos escoamentos superficiais estimados com os observados pelos dados de chuva vazão nos mostrou que ao utilizarmos a separação dos dados em blocos, obtemos maiores resultados de correlação, pois conseguimos diminuir a influência de fatores fisiográficos na obtenção dos escoamentos.

Pelo Método Racional, a estimativa de vazão máxima em relação à observada nos gerou uma correlação de 68,15 %, entretanto, notou-se que os dados mais

distantes da curva de correlação estavam todos concentrados em vazões maiores que 50 m. s^{-1} . Sendo assim, uma nova curva de regressão foi gerada para valores inferiores, e com isso obtivemos uma correlação a 88,76%. Para o caso do Método Racional, a separação das análises em blocos não apresentou bons resultados.

Por mais que o presente estudo tenha gerado resultados, o foco neste trabalho foi voltado principalmente na análise de uma nova metodologia para analisar o escoamento superficial gerado por eventos de precipitação. A busca por uma estação telemétrica para realizar as análises de dados, mostrou toda a dificuldade de obtenção de dados chuva-vazão no Brasil, o que dificulta e muito a ampliação de estudos em diversas áreas ligadas ao meio ambiente.

Portanto, a análise de um método tão conceituado, como é o Curva Número, tentando eliminar as influências fisiográficas, dados tão distintos entre bacias de estudos, pode gerar um grande benefício e simplicidade para futuras análises, e incentivar ainda mais a obtenção de dados chuva-vazão.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. et al. Automated Base Flow Separation and Recession Analysis Techniques. **Ground Water**, [S.L.], v. 33, n. 6, p. 1010-1018, nov. 1995. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.1995.tb00046.x>.
- BALTAS, E. A.; DERVOS, N. A.; MIMIKOU, M. A.. Technical Note: determination of the scs initial abstraction ratio in an experimental watershed in greece. **Hydrology And Earth System Sciences**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 1825-1829, 26 nov. 2007. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-11-1825-2007>.
- BARNES, B. S. The structure of discharge-recession curves. **Transactions, American Geophysical Union**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 721-735, 1939. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/tr020i004p00721>.
- BOSZNAY, M. Generalization of SCS Curve Number Method. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [S.L.], v. 115, n. 1, p. 139-144, fev. 1989. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(1989\)115:1\(139\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1989)115:1(139)).
- BRODIE, R. S.; HOSTETLER, S. A review of techniques for analysing baseflow from stream hydrographs. Bureau of Rural Sciences. Australian Government, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. **International Association of Hydrogeologist Conference**. Canberra, 2005, 13 p.
- CHAPMAN, T.G.; MAXWELL, A. I. Baseflow Separation – Comparison of Numerical Methods with Tracer Experiments. In: **Hydrology and Water Resources Symposium**. Barton, ACT: Institution of Engineers, Australia, National conference publication, n. 96/05, 1996, p. 539 – 545.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.
- COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Defining parameters for Eckhardt's digital baseflow filter. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 27, n. 18, p. 2614-2622, 8 jun. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9391>.
- CUNHA, S. et al. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia /Evaluation of the SCS method for effective rainfall and flood hydrograph estimation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 837-848, 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p837-848>.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. Relaciones entre las escorrentías superficial y subterránea. In: CUSTÓDIO; LLAMAS. **Hidrologia subterránea**. 2 ed. Editora Omega, Barcelona, 1983. Cap. 11.2, p. 1121 – 1157.
- DURÁN-BARROSO, P.; GONZÁLEZ, J.; VALDÉS, J. B. Improvement of the integration of Soil Moisture Accounting into the NRCS-CN model. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 542, p. 809-819, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.053>.

- ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 507-515, 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.5675>.
- ELDHO, T. I. et al. An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method. **Hydrological processes**, [S.L.], v. 21, n. 21, p. 2872-2881, 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.6503>.
- ELHAKEEM, M.; PAPANICOLAOU, A. N. Estimation of the Runoff Curve Number via Direct Rainfall Simulator Measurements in the State of Iowa, USA. **Water Resources Management**, [S.L.], v. 23, n. 12, p. 2455-2473, 17 jan. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-008-9390-1>.
- FERNANDES, R. O.; COSTA, C. T. F.; STUDART, T. M. C. Análise de sensibilidade em hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método do SCS em uma bacia urbana. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 243-254, 7 jul. 2017. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i3.28812>.
- FUREY, P. R.; GUPTA, V. K. A physically based filter for separating base flow from streamflow time series. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 37, n. 11, p. 2709-2722, nov. 2001. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2001wr000243>.
- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-339.
- GRAYSON, R. B.; MOORE, I. D.; MCMAHON, T. A. Physically based hydrologic modeling: 2. is the concept realistic?. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 28, n. 10, p. 2659-2666, out. 1992. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/92wr01259>.
- HAWKINS, R. H. et al. Another Look at SCS-CN Method. **Journal Of Hydrologic Engineering**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 451-452, out. 2001. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2001\)6:5\(451\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2001)6:5(451)).
- HJELMFELT, A. T. Investigation of Curve Number Procedure. **Journal Of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 117, n. 6, p. 725-737, jun. 1991. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1991\)117:6\(725\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1991)117:6(725)).
- JAIN, M.K. et al. On the Ia-S relation of the SCS-CN method. **Hydrology Research**, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 261-275, 1 jun. 2006. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/nh.2006.011>.
- JIANG, R. **Investigation of Runoff Curve Number Initial Abstraction Ratio**. 2001. 121 f. Thesis (Masters) - Science With A Major In Watershed Management, University Of Arizona, Tucson, 2001.
- KOPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

- LADSON, A. et al. A standard approach to baseflow separation using the Lyne and Hollick filter. **Australian Journal Of Water Resources**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 25-34, 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.7158/w12-028.2013.17.1>.
- LI, L. et al. Framework for assessing and improving the performance of recursive digital filters for baseflow estimation with application to the Lyne and Hollick filter. **Environmental Modelling & Software**, [S.L.], v. 41, p. 163-175, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.009>.
- LING, L; YUSOP, Z. A micro focus with macro impact: exploration of initial abstraction coefficient ratio (λ) in soil conservation curve number (cn) methodology. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 18, p. 1-5, 25 fev. 2014. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012121>.
- LYNE, V. D; HOLLICK, M. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. In: Hydrology and Water Resources Symposium. Institution of Engineers Australia. **Proceedings [...]**. Perth, Australia, 1979. p. 89 – 92.
- MAGALHÃES, P. C. **Engenharia hidrológica: hidrologia superficial**. Rio de Janeiro: Ed. da UFRJ, 1989. cap. 4, p. 201.
- MATTIUZI, C. P. et al. Estimativa de recarga subterrânea a partir da Separação de escoamento de base na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí (América do Sul). **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 285-300, 1 fev. 2016. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v29i3.28487>.
- MELLO, C. R. **Estudo Hidrológico em microbacia hidrográfica com regime de escoamento efêmero**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas**. Lavras: Ufla, 2013. 455p.
- MIRANDA, A. et al. Métodos de Separação dos Escoamentos Superficial Direto e Subterrâneo: estudo de caso para a bacia do rio das velhas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 169-181, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n2.p169-181>.
- MISHRA, S. K. et al. SCS-CN-based modeling of sediment yield. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 324, n. 1-4, p. 301-322, jun. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.10.006>.
- MORTATTI, J. et al. Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: Séries Temporais de Vazão e Hidrogramas de Cheia. **Revista Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 12, n. 23, p. 55-68, jun. 2004.
- MULLEM, V. A. J. et al. Runoff Curve Number Method: Beyond the Handbook. Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference. **Proceedings [...]**. NOAA, Las Vegas. 2002.

NATHAN, R. J.; MCMAHON, T. A. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 26, n. 7, p. 1465-1473, 1991. American Geophysical Union (AGU).
<http://dx.doi.org/10.1029/wr026i007p01465>.

NATHAN, R.J.; WEINMANN, E. Australian rainfall and runoff. Discussion paper: Monte-Carlo simulation techniques. **AR&R D2**, Engineers Australia: Water Engineering, Barton, 2013, Australia.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff Curve Number: has it reached maturity?. **Journal Of Hydrologic Engineering**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 11-19, jan. 1996. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(1996\)1:1\(11\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(1996)1:1(11)).

PORTO, R. L. L et al. **Escoamento Superficial: Análise do Hidrograma**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 1999.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, D. D.. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 403-410, jun. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832001000200016>.

REICHERT, J. M. et al. Filtros digitais para separação dos componentes do escoamento total e produção de sedimentos durante eventos chuvosos em bacias hidrográficas florestais embutidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais [...]**. Natal: Sbcs, 2015. p. 1-4.

RIBEIRO, D.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V. Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação da sub-bacia do Rio Siriri, Sergipe. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 91-102, 5 abr. 2011. Lepidus Tecnologia.
<http://dx.doi.org/10.14295/ras.v25i1.19366>.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 1ª ed. São Carlos: Editora Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) -USP, 1998. 819 p.

ROJAS, R.M. **Drenaje superficial de tierras agrícolas**. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Águas y Tierras. CIDIAT. Mérida, Venezuela, 1984. 96p.

SCHULER, A. E.; VICTORIA, R. L. **Fluxos hidrológicos em microbacias com floresta e pastagem na Amazônia Oriental, Paragominas, Pará**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2003.

SCS (Soil Conservation Service). SCS National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service. **US Department of Agriculture**, Washington, DC. 1972.

SCS (Soil Conservation Service). SCS National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service. **US Department of Agriculture**, Washington, DC. 2004.

SHEEDER, S.A. et al. DUAL URBAN AND RURAL HYDROGRAPH SIGNALS IN THREE SMALL WATERSHEDS. **Journal Of The American Water Resources Association**, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 1027-1040, ago. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2002.tb05543.x>.

SHI, Z. H. et al. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. **Catena**, [S.L.], v. 77, n. 1, p. 1-7, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.11.006>.

SILVA, P. M. O. et al. Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 258-265, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662008000300006>.

SILVA, B.; TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. Previsão de Vazão com Modelos Hidroclimáticos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 15-29, 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v11n3.p15-29>.

SMITH, Roger E. Approximations for Vertical Infiltration Rate Patterns. **Transactions Of The Asae**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 0505-0509, 1976. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/2013.36058>.

SOARES, M. R. G. J. EFICIÊNCIA DO MÉTODO CURVE NUMBER DE RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, n. 1, p. 1-16, jan. 2017. <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16001>.

SOUZA. C.G., et al. **Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER, 2002. 124p.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ufrs, 2000. 943p.

VIOLA, M. R. **Simulação hidrológica na região do Alto Rio Grande a montante do reservatório de Camargos/CEMIG**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

WELLS, L. G. et al. Comparison of Four Infiltration Models in Characterizing Infiltration through Surface Mine Profiles. **Transactions Of The Asae**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 0785-0793, 1986. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/2013.30230>.

YUAN, Yongping; NIE, Wenming; MCCUTCHEON, Steven C.; TAGUAS, Encarnación V.. Initial abstraction and curve numbers for semiarid watersheds in Southeastern Arizona. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 774-783, 21 nov. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9592>.