

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

IALLY SAMILLY QUEIROZ ENTREPORTES

ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO DE ENCHENTE NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ÁGUA VERMELHA, EM UBERLÂNDIA - MG

Uberlândia - MG

2024

IALLY SAMILLY QUEIROZ ENTREPORTES

ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO DE ENCHENTE NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ÁGUA VERMELHA, EM UBERLÂNDIA - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho

Uberlândia - MG

2024

IALLY SAMILLY QUEIROZ ENTREPORTES

ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO DE ENCHENTE NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ÁGUA VERMELHA, EM UBERLÂNDIA - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Hudson de Paula
Carvalho

Uberlândia, 30 de abril de 2024

Banca Examinadora:

Hudson de Paula Carvalho – Prof. Dr. (UFU)

Roberto Terumi Atarassi – Prof. Dr. (UFU)

Márcia Regina Batistela Moraes – TAE Ma. (UFU)

RESUMO

A estimativa do coeficiente de escoamento de enchente na bacia hidrográfica do Córrego Água Vermelha, em Uberlândia, Minas Gerais, envolveu a análise de parâmetros hidrológicos e ambientais. O estudo buscou compreender como o uso e manejo do solo afetam o escoamento superficial e, por conseguinte, a capacidade de infiltração do solo na bacia em questão. Para realizar a estimativa do coeficiente de escoamento, foi adotada uma metodologia que considera a relação entre a precipitação e o escoamento gerado na bacia durante eventos de chuva. Utilizando dados de pluviômetros e dispositivos de monitoramento hidrológico, foi possível calcular o volume escoado pela bacia em diferentes eventos de chuva, bem como o volume total precipitado. Os resultados indicaram que os valores do coeficiente de escoamento de enchente variaram ao longo do tempo, influenciados por fatores como a intensidade e duração das chuvas, características do solo e uso da terra. Ao confrontar os valores obtidos na pesquisa com a literatura, foi possível observar uma distinção entre os resultados calculados e o valor de referência. Isso reforça a importância de considerar as particularidades locais ao estimar o coeficiente.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; coeficiente de escoamento; escoamento superficial.

ABSTRACT

The estimation of the flood runoff coefficient in the Água Vermelha Stream watershed, in Uberlândia, Minas Gerais, involved the analysis of hydrological and environmental parameters. The study aimed to understand how land use and management affect surface runoff and, consequently, soil infiltration capacity in the watershed. To estimate the runoff coefficient, a methodology was adopted that considers the relationship between precipitation and runoff generated in the watershed during rainfall events. Using data from rain gauges and hydrological monitoring devices, it was possible to calculate the volume discharged by the watershed during different rainfall events, as well as the total precipitation volume. The results indicated that the flood runoff coefficient values varied over time, influenced by factors such as rainfall intensity and duration, soil characteristics, and land use. When comparing the values obtained in the research with the literature, it was possible to observe a proximity between the calculated results and the reference value. This reinforces the importance of considering local specifics when estimating the coefficient.

Keywords: watershed; runoff coefficient; surface runoff.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha no ano de 2018.	15
Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha.	17
Figura 3 – Hidrograma hipotético.	19
Figura 4 – Procedimento linear para separação do escoamento superficial direto.	20
Figura 5 – Hidrogramas unitários dos eventos de chuva na Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do coeficiente de escoamento de enchente selecionados de acordo com os tipos de superfícies existentes na Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha.	23
Tabela 2 - Valores do coeficiente de escoamento de enchente a partir da Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha.	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVO	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4	MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1	ÁREA DE ESTUDO	12
3.2	MATERIAL CARTOGRÁFICO E IMAGEM DE SATÉLITE	13
3.3	INSTRUMENTAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	14
3.4	ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO DE ENCHENTE	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6	CONCLUSÃO.....	27
	REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma delimitação física formada por divisores de água que proporcionam o escoamento da mesma para um único local. De acordo com Barrella *et al.* (2001), a bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras delimitadas por divisores de água nas regiões mais altas do relevo, drenadas por um rio e seus afluentes, onde as águas pluviais, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático, tal que toda vazão efluente seja descarregada por uma simples saída.

Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica (PORTO; PORTO, 2008).

Borsoi e Torres (1997) apontam que, por meio da bacia hidrográfica, a *gestão* de recursos hídricos é parte essencial na gestão ambiental, pois a água é um parâmetro da modelagem de simulação e com uma base tecnológica, pode-se reproduzir o funcionamento hidráulico e ambiental, acerca de propriedades fisiográficas e ocupação da bacia e do próprio corpo d'água.

As modificações naturais e artificiais na superfície das bacias hidrográficas influenciam o seu comportamento hidrológico (TUCCI; CLARKE, 1997). Tais alterações surgem por meio de uma simples rotação de culturas, comumente verificado na agricultura moderna, até a urbanização, onde a infiltração da água da chuva no solo é afetada sobremaneira. Diante disso, o efeito dessas modificações é notado nos eventos hidrológicos extremos, como estiagens prolongadas, inundações, transporte de sedimentos, assoreamentos e contaminação de rios. Cabe ressaltar, que esses eventos causam muitos prejuízos à sociedade brasileira todos os anos.

Nos períodos de chuvas iniciais, a precipitação que não é interceptada pela vegetação (a água é retida pela vegetação e dissipada por evapotranspiração) é infiltrada no solo por capilaridade. Infiltração que por sua vez dependerá das características, uso e ocupação do solo.

Conforme Karymbalis *et al.* (2021) e Campioli e Vieira (2019) é de conhecimento geral que cada tipo de solo possui capacidades únicas de infiltração e escoamento hídrico, assim como áreas com maior impermeabilidade tendem a reter mais água na superfície, especialmente quando comparadas a solos com cobertura vegetal. Os tipos de solo e o uso da terra em uma região desempenham um papel crucial nos processos hidrológicos, influenciando diretamente

a infiltração e o escoamento superficial da água. Esses elementos têm um impacto significativo na suscetibilidade a inundações e alagamentos.

O processo de infiltração é muito complexo, mesmo quando é assumido que o solo é um meio homogêneo com conteúdo inicial de umidade uniforme (PRUSKI; RODRIGUES; SILVA, 2001). O solo úmido atinge sua capacidade de infiltração com maior facilidade, tornando-se impermeável passa a diminuir a infiltração, até saturar-se, assim aumentando a água que escoar, gerando o escoamento superficial. Pruski, Rodrigues e Silva (2001) salientam o quanto é crucial a forma como a bacia hidrográfica responde hidrológicamente às distintas maneiras de uso e manejo do solo, para a modelagem do escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas.

Por vazão entende-se o volume de água que passa numa determinada seção do rio por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa comumente no sistema internacional (SI) de medidas em m^3/s (CARVALHO, 2008).

A vazão máxima de uma bacia é determinada com base na observação da vazão em períodos longos na bacia e/ou na transformação de precipitação em vazão (TUCCI, 1993).

Bielenk Junior (2012), afirma que o escoamento superficial direto (ESD) resulta da água que não é infiltrada, retida ou interceptada, somado ao escoamento subsuperficial e ao fluxo dos lençóis freáticos e que a quantidade é influenciada, por alguns fatores, como a distribuição da precipitação e pelo tamanho da área.

Um dos efeitos mais pronunciados da mudança no uso do solo de uma bacia hidrográfica é sobre o coeficiente de escoamento de enchente, também conhecido como parâmetro “C”, da equação racional. Segundo Tucci (2000), este coeficiente é definido como a razão entre o volume total de escoamento superficial verificado em uma chuva e o volume total precipitado.

O coeficiente de escoamento é um elemento bastante influente para fins de cálculo hidráulico e também controle hidrológico das bacias, procurando preservar a qualidade da água, sistematizar e regular o uso do solo em uma bacia e os recursos naturais a ela associados, dessa forma criar bases para seu uso e exploração de maneira sustentável, não causando danos aos recursos hídricos, ao solo e aos ecossistemas envolvidos.

O coeficiente de escoamento de enchente é fundamental nos projetos de drenagem urbana, especificamente na estimativa da vazão de pico ou vazão máxima. Esse índice é o responsável pela correção do escoamento superficial em função do tipo e uso do solo. Atualmente, os valores de coeficiente “C” praticados no Brasil seguem aqueles gerados em

trabalhos conduzidos nos Estados Unidos. Devido às diferenças de tipo e uso do solo, bem como da chuva e à presença de neve em boa parte do ano, existe grande diferença entre os Estados Unidos e o Brasil. Desse modo, é de grande importância que esses coeficientes sejam gerados para as condições de solo e clima brasileiros.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo estimar o coeficiente de escoamento de enchente da Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha (BHAV), em função do uso e manejo do solo, e comparar o coeficiente de escoamento de enchente (C) obtido com o coeficiente de escoamento de enchente (C) da literatura, selecionado a partir das características de sua superfície.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na literatura são encontrados diversos trabalhos abordando a temática escoamento superficial e coeficiente “C”. Targa *et al.* (2012) desenvolveram um projeto sobre urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, na cidade de Belém, no Estado do Pará. O propósito era estimar a precipitação efetiva e os coeficientes de escoamento, em função das mudanças no uso e ocupação do solo no período de 1972 a 2006, por meio das técnicas de Curva Número e de geoprocessamento. Nesse trabalho concluíram que, em função do crescimento da urbanização, a infiltração potencial diminuiu radicalmente, aumentando dessa forma o escoamento. Os autores verificaram valores médios de 0,30, 0,41, 0,72 e 0,73, de modo respectivo, para os anos de 1972, 1977, 1998 e 2006. Esses resultados refletem o aumento da impermeabilização do solo, consequência da urbanização da bacia hidrográfica ao longo dos anos estudados.

Fernandes *et al.* (2013) estudando a geração de escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com cobertura vegetal de cana-de-açúcar e floresta ripária, buscaram medir a geração de escoamento superficial na extensão do curso d’água principal da bacia. Diante disso, concluíram que a geração de escoamento superficial foi excessivamente influenciada pela topografia, volume e constância dos eventos de chuva, pela intercepção da precipitação pelo

dossel da vegetação, e também pelas características físico-hídricas do solo, como o coeficiente de saturação. Os resultados permitiram verificar uma baixa permeabilidade dos solos cultivados com cana-de-açúcar, resultado combinado de áreas de solos mais compactados e da maior inclinação do terreno. Esses dois fatores propiciaram o escoamento superficial da precipitação no solo.

Alencar, Silva e Oliveira (2006) analisando a influência da precipitação no escoamento superficial em uma bacia hidrográfica do Córrego Capetinga, no Distrito Federal, constataram a importância da totalidade da chuva, da umidade antecedente e do volume de chuva no evento do escoamento superficial na bacia hidrográfica. Além disso, demonstraram a relação entre chuva e escoamento superficial para as ocorrências de inundações. Posto isso, chegaram à conclusão que a bacia hidrográfica mostrou boas condições de absorção de água no solo, com coeficiente de escoamento de enchente médio de 0,036.

4 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

Neste projeto foi estudada a bacia hidrográfica do Córrego Água Vermelha, o qual é afluente do Rio Tijuco que por sua vez é um dos principais afluentes do Rio Paranaíba. A bacia apresentada possui cerca de 16,35 km² de área de drenagem, o seu curso principal dispõe aproximadamente 6,55 km de comprimento e sua seção de controle está localizada geograficamente a 19°05'51,5'' S e 48°21'22,3'' W, situando-se na Fazenda Experimental Água Limpa, Estação Fluviométrica do Córrego Água Vermelha do Laboratório de Hidrologia da Universidade Federal de Uberlândia, município de Uberlândia - MG.

Atualmente o solo da bacia está ocupado, predominantemente, com culturas anuais de milho e soja e também pastagem de *Brachiaria brizantha* (syn. *Urochloa brizantha*). Uma pequena porção é usada para o cultivo de frutíferas irrigadas por micro aspersão. A pequena área de drenagem da bacia facilita a instrumentalização e favorece estudos hidrológicos.

O clima da região da bacia é classificado como Aw (verão chuvoso e inverno seco), megatérmico. A temperatura média anual da mesma é de 22,3 °C. Sua litologia é formada pelo arenito, com relevo sub-plano e declividade menor que 3%. O solo em sua grande maioria é

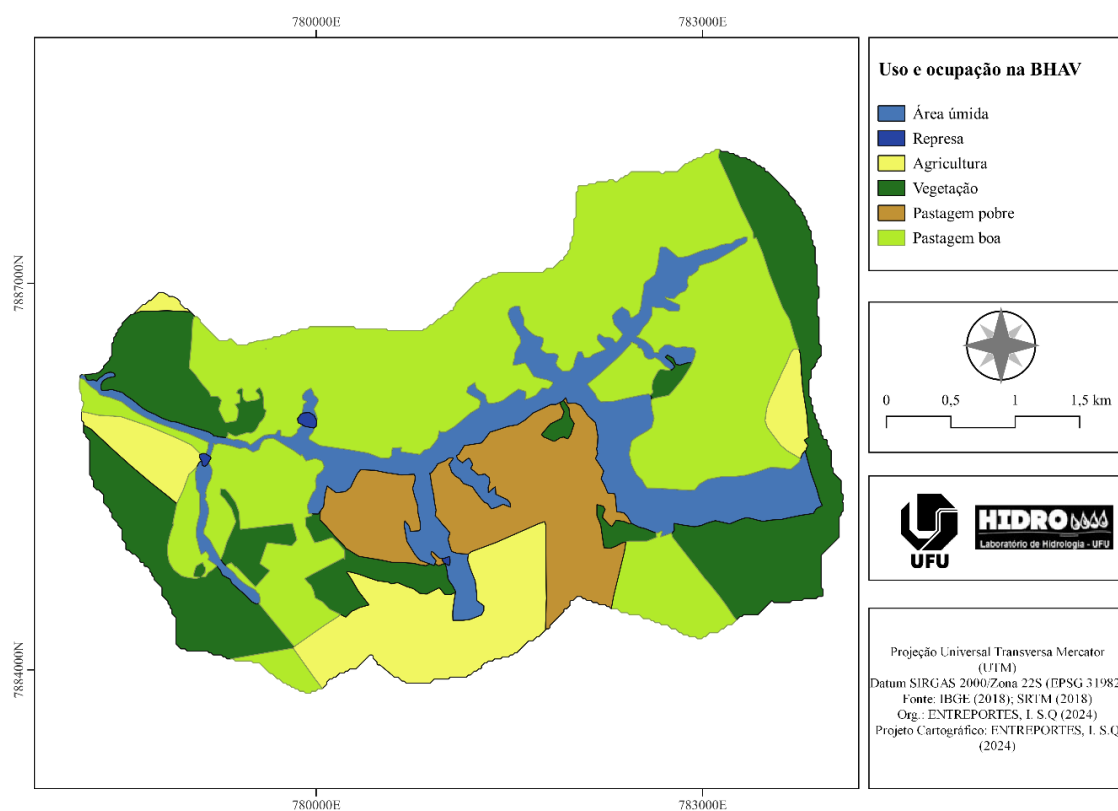
caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico, textura arenosa a média, contudo, apresenta porção expressiva de Solo Hidromórfico.

3.2 Material Cartográfico e Imagem de Satélite

Para a caracterização do uso e ocupação do solo na bacia utilizou-se imagem de satélite que forneceu imagens multiespectrais com resolução mínima de 10 m. Concomitantemente, obteve-se verdades de campo, por meio de dispositivos GPS (com precisão submétrica), as quais possibilitaram a estratificação dos diversos tipos e usos do solo. Ademais, por meio desse dispositivo coletou-se as curvas de nível, pontos cotados e hidrografia, a fim de adquirir o modelo digital de elevação (DEM).

Para a interpolação, e conseqüentemente a obtenção dessas informações, usou-se o software QGIS (Sistema de Informação Geográfica Quântica). Após esses estudos, a área, a elevação e o uso do solo da bacia foram conhecidos com precisão (Figura 1).

Figura 1 – Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha no ano de 2018.



Fonte: Própria autora (2024).

3.3 Instrumentação da Bacia Hidrográfica

Para o monitoramento da BHAV a instrumentação utilizada foi datalogger (registrador de dados), pluviômetro e sensor de nível de água. Onde o datalogger é adaptado ao sensor de nível e auxilia na computação e armazenamento de dados, o pluviômetro faz coleta e medição das chuvas e o sensor de nível de água detecta a altura do córrego.

Monitorou-se os dados das precipitações da BHAV através das estações hidrométrica e pluviométrica instaladas na mesma. A estação Hidrométrica do Córrego Água Vermelha (HAV) está situada a montante do córrego, a $19^{\circ}05'51,5''$ S e $48^{\circ}21'22,3''$ W, no qual capta através do equipamento o nível de água.

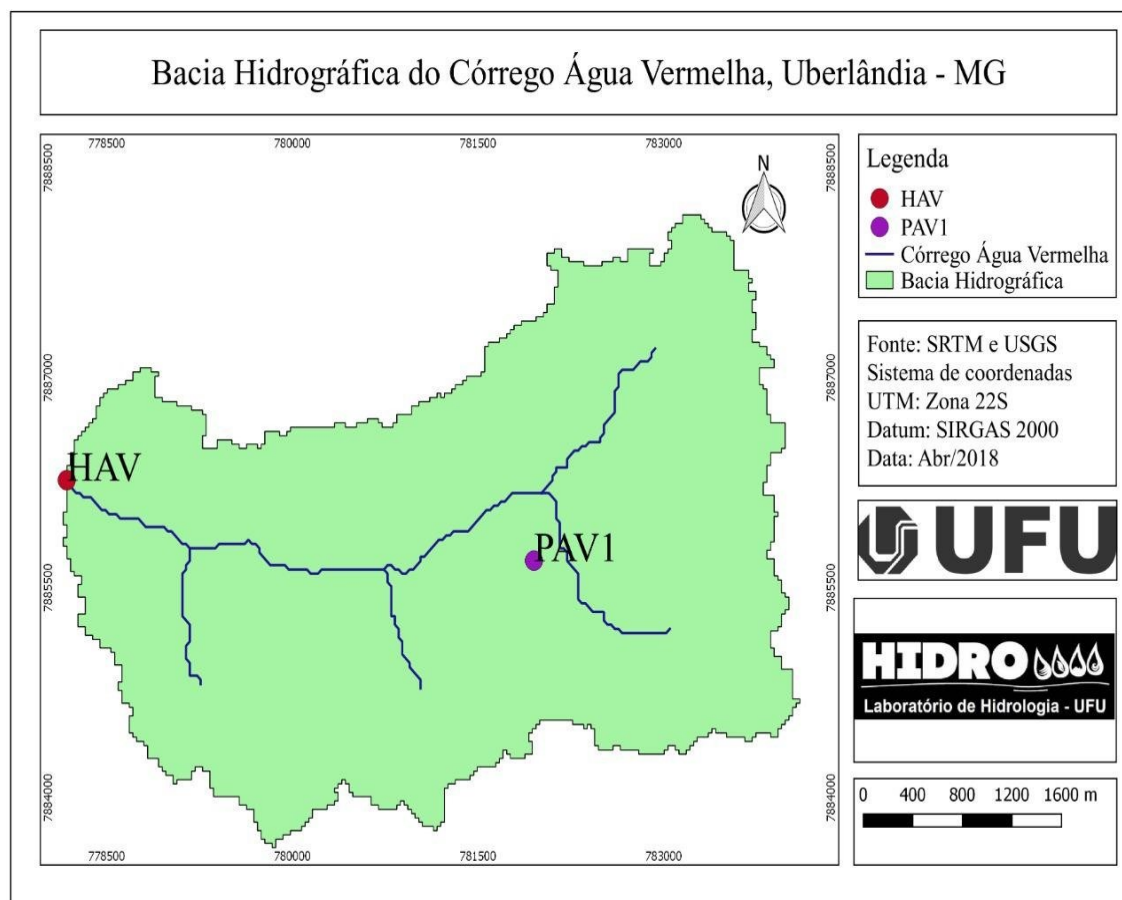
A estação Pluviométrica do Córrego Água Vermelha (PAV1) está posicionada a $19^{\circ}06'8,32''$ S e $48^{\circ}21'12,93''$ W, onde compreende registros das chuvas ocorridas. As estações

possuem um modelo de coleta, em que o datalogger estabelece comunicação com o equipamento, extraindo os dados no intervalo de cinco minutos e enviando-os para o banco de dados para armazenamento.

Em estudos envolvendo rebatimentos da precipitação na vazão de mananciais é imprescindível que a bacia envolvida, principalmente quando de pequeno porte, seja monitorada por pluviôgrafos ou pluviômetros em número suficiente para que assegure a quantificação de chuvas convectivas.

Marcelline (1994), mostrou que pode existir variação significativa da vazão de pico em função da distribuição da precipitação. Tais eventos atmosféricos ocorrem, geralmente, concentrados em pequenas áreas e influencia a vazão do curso d'água principal. Nesse sentido, propôs-se a Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha (Figura 2), cuja área é consideravelmente pequena, pode-se facilmente ser monitorada por uma estação hidrométrica e uma pluviométrica.

Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha.



Fonte: Laboratório de Hidrologia – HIDRO (2018).

3.4 Estimativa do Coeficiente de Escoamento de Enchente

Para chegar a estimativa de coeficiente de escoamento de enchente da Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha, onze meses de dados monitorados pelas estações HAV e PV1 foram organizados em uma planilha do Excel. A estrutura da planilha foi ordenada em horário (intervalo de 5 minutos), data (março de 2017 a janeiro de 2018), pluviômetro (mm) e fluviômetro (mm). A partir destes dados, a altura do nível de água foi corrigida para cada intervalo, desta forma, da altura do logger (272 cm) foi subtraído o nível compreendido pelo fluviômetro dividido pelo ajuste de unidade (Equação 1).

$$H_n (cm) = H_{logger}(cm) - \frac{H_{fluvio} (mm)}{10} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

H_{logger} = altura do logger;

H_n = altura do nível de água;

H_{fluvio} = altura do nível precipitado.

Com a altura do nível de água corrigida, foi possível obter a partir dos dados monitorados a vazão (Equação 2).

$$Q_n \left(\frac{L}{s} \right) = 0,00003 * (H(cm)^{4,0179}) \quad (\text{Equação 2})$$

No qual:

Q_n = vazão do córrego.

Com a intenção de obter uma sequência de valores constantes suavizou-se a abrangência da vazão para prosseguir com a estimativa, foi possível através do logaritmo da vazão, seguido da divisão do logaritmo da vazão pelo logaritmo da vazão anterior (Equação 3).

$$\frac{\log Q_n \left(\frac{L}{s} \right)}{\log Q_{n-1} \left(\frac{L}{s} \right)} \quad (\text{Equação 3})$$

Nos quais:

$\log Q_n$ = logaritmo da vazão;

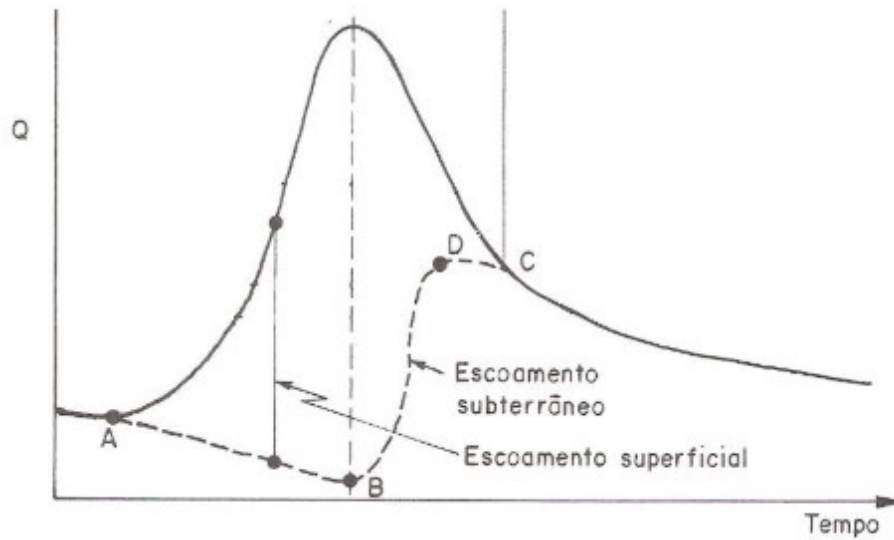
$\log Q_{n-1}$ = logaritmo da vazão precedente.

O hidrograma representa a resposta da bacia hidrográfica, considerando suas características fisiográficas, que determinam a relação entre a precipitação e o escoamento, incluindo a colaboração do lençol freático. Sendo um gráfico onde mostra a variação da vazão em uma seção de um curso d'água ao longo do tempo. (UFPR, 2021).

A área localizada dentro da curva do hidrograma compreende ao total de água escoado na bacia, que é determinado pela vazão, multiplicada pela diferença de tempo em segundos entre os pontos A (ascensão) e C (inflexão), conforme observado na Figura 3. O volume foi obtido pelos hidrogramas, iniciando a contabilização quando o sensor começou a registrar

aumento do nível da água do manancial e se encerrou no ponto de inflexão da curva descendente, que resultou na estabilização do nível da água.

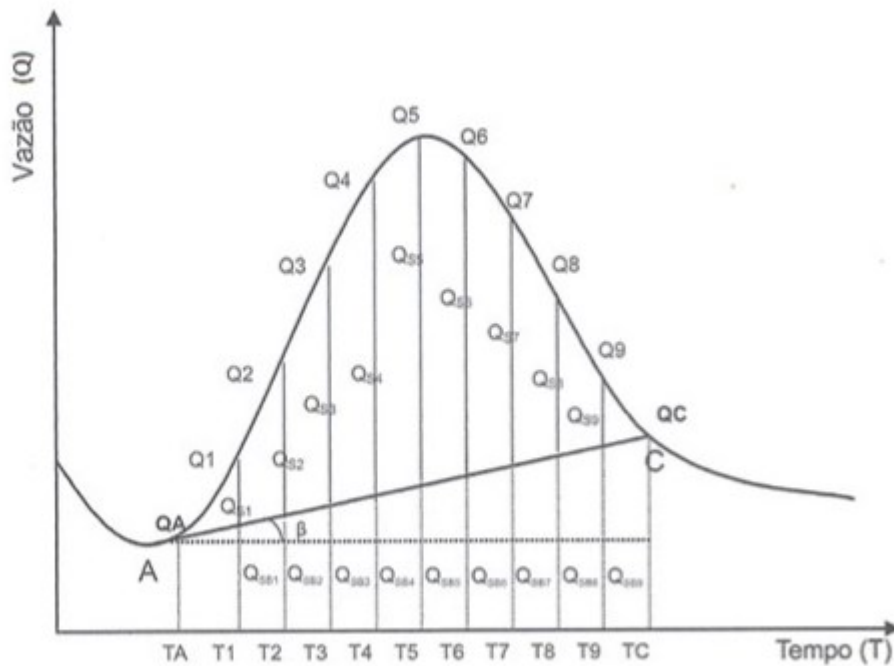
Figura 3 – Hidrograma hipotético.



Fonte: UFPR (2021).

Devido à presença de um lençol freático acima do nível do rio, colaborando para o escoamento do rio, ou entre o leito do rio e o nível de água, acontece o escoamento subterrâneo (Q_{SB}) (FIGUEIREDO; OTA, 2017). No sentido de fragmentar o escoamento subterrâneo, pelo método de Mello e Silva (2013), onde é feito o procedimento linear para separação do escoamento superficial direto (ESD) (Figura 4).

Figura 4 - Procedimento linear para separação do escoamento superficial direto.



Fonte: Mello e Silva (2013).

Calculou-se então, o tempo nos pontos A e C, sendo o começo e o fim do ESD respectivamente, somando a hora e o minuto tanto para o instante que se inicia (T_A) quanto para o momento que finaliza (T_C), para então determinar-se a inclinação da reta AC (Equação 4).

$$m \left(\frac{L}{s^2} \right) = \frac{Q_C \left(\frac{L}{s} \right) - Q_A \left(\frac{L}{s} \right)}{T_C (s) - T_A (s)} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

m = inclinação da reta AC;

Q_C = vazão no ponto C;

Q_A = vazão no ponto A;

T_C = tempo no ponto C;

T_A = tempo no ponto A.

Como existe um intervalo entre as informações colhidas de 5 minutos, precisou-se ajustar a inclinação da reta a esta variação de tempo através da Equação 5.

$$J \left(\frac{L}{S} \right) = m * \Delta t (s) \quad (\text{Equação 5})$$

Quando:

J = inclinação da reta AC ajustada;

Δt = variação de tempo.

O cálculo para a Q_{SB} (Equação 6) pôde-se ser efetuado dispondo das determinações das equações anteriores.

$$Q_{SBn} \left(\frac{L}{S} \right) = Q_{n-1} \left(\frac{L}{S} \right) + J; \quad Q_{SBn+1} \left(\frac{L}{S} \right) = Q_{SBn-1} \left(\frac{L}{S} \right) + J \dots \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

Q_{SBn} = vazão subterrânea;

Q_{n-1} = vazão anterior do córrego calculada na Equação 2;

Q_{SBn+1} = vazão subterrânea posterior;

Q_{SBn-1} = vazão subterrânea anterior.

Feito isto, a fim de extrair a vazão subterrânea da vazão do córrego daquele instante encontrada pela Equação 2, foi possível definir a vazão superficial por intermédio da Equação 7.

$$Q_{Sn} \left(\frac{L}{S} \right) = Q_n \left(\frac{L}{S} \right) - Q_{SBn} \left(\frac{L}{S} \right) \quad (\text{Equação 7})$$

No qual:

Q_{Sn} = vazão superficial.

Para determinar-se o coeficiente de escoamento de enchente, entende-se que é fundamental saber a fração do escoamento relativo ao ESD (Equação 8).

$$ESD (mm) = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{Sn} \left(\frac{L}{S} \right) * \Delta t (s))}{A (m^2)} \quad (\text{Equação 8})$$

Nos quais:

ESD = volume escoamento superficial direto;

A = área da BHAV.

A estimativa do coeficiente de escoamento de enchentes foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Tucci (2000). Proferido pelo autor, o coeficiente de escoamento de enchentes (C) de uma bacia representa a quantidade de água de escoamento gerada pela bacia em eventos chuvosos. A definição de Tucci (2000) pode ser apresentada matematicamente na Equação 9.

$$C = \frac{Q}{P} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento de enchente, $L^3 L^{-3}$;

Q = escoamento gerado na bacia por um evento de chuva e medida na seção de controle, L^3 ;

P = volume total precipitado, L^3 .

Por fim, com as devidas alterações nas unidades de medida, afim de facilitar os cálculos do coeficiente, a equação ficou estabelecida pela razão entre o volume escoado e o volume total precipitado (Equação 10).

$$C = \frac{ESD (mm)}{P (mm)} \quad (\text{Equação 10})$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os vários eventos de chuva da Bacia hidrográfica do Córrego Água Vermelha trabalhados em onze meses, a seleção para representar a bacia foi dada a partir dos cálculos realizados e hidrogramas plotados, filtrou-se os eventos com base no formato dos gráficos, onde mostra a ascensão, o pico e a inflexão de forma evidente, e também em precipitações significativas, assim, chegando a 11 ocorrências de chuva expressiva.

Usando ferramentas do Qgis foi possível calcular cada área representada no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 1). Cada bacia hidrográfica é única e porta distintas classes de uso e cobertura do solo dispostas em sua área. Com estudos em pequena escala os valores de C atribuído em concordância com uso e cobertura da extensão não estão disponíveis para todas as classes, porém tipos de uso do solo parecidos da literatura foram equiparados para relacionar às classes faltantes (DHAKAL *et al.*, 2012).

Com os 11 valores de estimativa do coeficiente de escoamento selecionados, conhecendo o uso e ocupação do solo do ano estudado, pôde – se confrontar com coeficientes C identificados na literatura (TUCCI, 2001), baseando-se nas características da superfície da bacia (tabela 1). Para a sua comparação foi usado o C a partir de uma média aritmética ponderada dos valores da literatura, resultando no valor 0.42.

Tabela 1 - Valores do coeficiente de escoamento de enchente selecionados de acordo com os tipos de superfícies existentes na Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha.

Uso do solo	A (km ²)	C	Fonte
Vegetação	3,45	0,29	Chow <i>et al.</i> (1988)
Cultivo anual	1,78	0,35	Chow <i>et al.</i> (1988)
Pastagem degradada	0,02	0,33	Chow <i>et al.</i> (1988)
Pastagem em boas condições	7,04	0,33	Chow <i>et al.</i> (1988)
Área úmida	2,28	1,00	Dhakal <i>et al.</i> (2012)
Represa	1,77	1,00	Dhakal <i>et al.</i> (2012)
C_{lit}		0,42	

Tratando-se do C da BHAV (tabela 2), observa-se que, a maioria dos valores dos coeficientes C obtidos foram inferiores e apenas um superior comparados ao C da literatura (0.42), comprovando variação dos valores, variabilidade que era esperada devido as características meteorológica, geomorfológica e hidrológica ao longo do ano. Uma vez conhecido o coeficiente C, esse valor não irá representar um valor fixo, mas sim proporcionar uma noção do quão aquela bacia é capaz de gerar escoamento (CHOW *et al.*,1988).

Tabela 2 – Valores do coeficiente de escoamento de enchente a partir da Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha.

Data	Precipitação (mm)	C BHAV	C Literatura
01/03/2017	10,75	0.026	0.42
05/03/2017	40,00	0.099	0.42
06/04/2017	21,25	0.050	0.42
08/04/2017	39,75	0.230	0.42
13/04/2017	15,25	0.056	0.42
16/05/2017	11,00	0.153	0.42
22/05/2017	32,00	1.476	0.42
22/12/2017	16,25	0.169	0.42
31/12/2017	21,75	0.046	0.42
13/01/2018	10,75	0.091	0.42
29/01/2018	51,50	0.103	0.42
Média C BHAV		0.227	

Fonte: Própria autora (2024).

Considerando os valores dos coeficientes C, nos eventos de chuva dos dias 01 de março de 2017, 06 de abril de 2017, 16 de maio de 2017 e 13 de janeiro de 2018 com precipitação considerável, constatou-se que anteriormente não houve ocorrência de chuva registrada pela estação pluviométrica, podendo assim dizer que o solo dado suas características físicas, estava com uma capacidade permeável maior pela falta de chuva levando em conta os dias antecedentes, ou seja, não ocorreu escoamento significativo, visto que a água da chuva foi infiltrada no solo.

De acordo com Barbosa Jr (2015), para uma dada chuva, quanto maior a capacidade de infiltração do solo, menor o escoamento superficial resultante. A permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, isto é, quanto mais permeável for o solo, maior será a velocidade do escoamento da água subterrânea e, em consequência, maior a quantidade de água que ele poderá absorver pela superfície por unidade de tempo.

Assim, o aumento da permeabilidade do solo corresponde uma diminuição do volume do escoamento superficial. O mesmo ocorreu nos eventos dos dias 05 de março de 2017, 08 de abril de 2017 e 29 de janeiro de 2018, mesmo que a intensidade destes eventos de chuva tenham sido as maiores registradas nas ocorrências selecionadas, com o solo seco a área estava propícia para haver percolação.

Nos eventos de chuva dos dias 13 de abril de 2017, 22 e 31 de dezembro de 2017 foram registradas pela estação pluviométrica precipitações precedentes, porém conhecendo a sequência temporal nota-se que a intensidade e duração não foram consideráveis o suficiente

para umedecer o solo da bacia. Pode-se dizer que por este fato, a permeabilidade do solo não diminuiu com as chuvas antecedentes, assim sendo o coeficiente de escoamento não foi expressivo, pois a área estava com uma boa capacidade de infiltração.

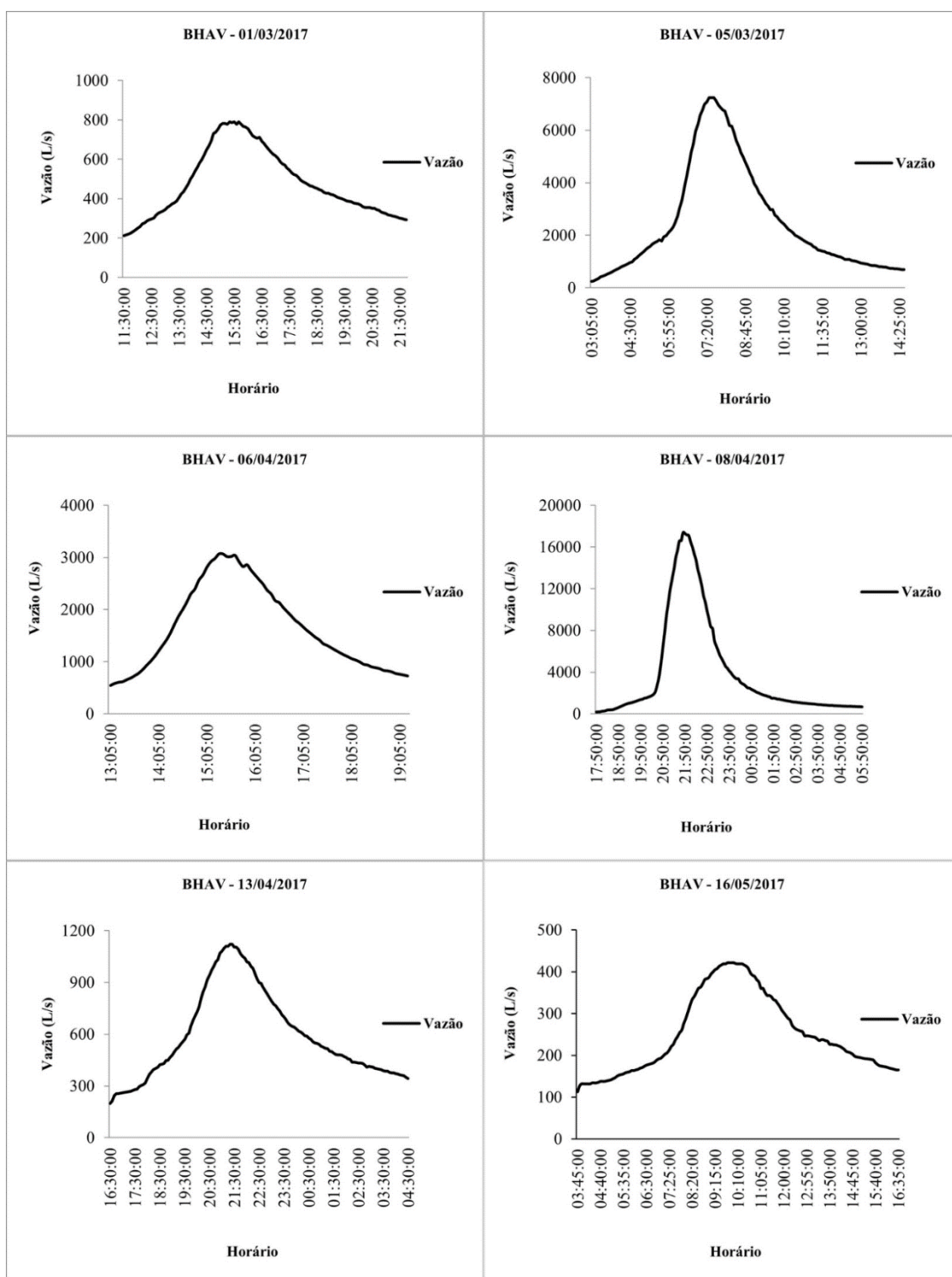
Para o evento de chuva do dia 22 de maio de 2017, o valor de C foi superestimado comparado ao da literatura, no que observou-se uma influência significativa da duração e intensidade da chuva nesse resultado. De modo que a duração da chuva desempenhou um papel direto no escoamento superficial, aumentando conforme a duração se estende.

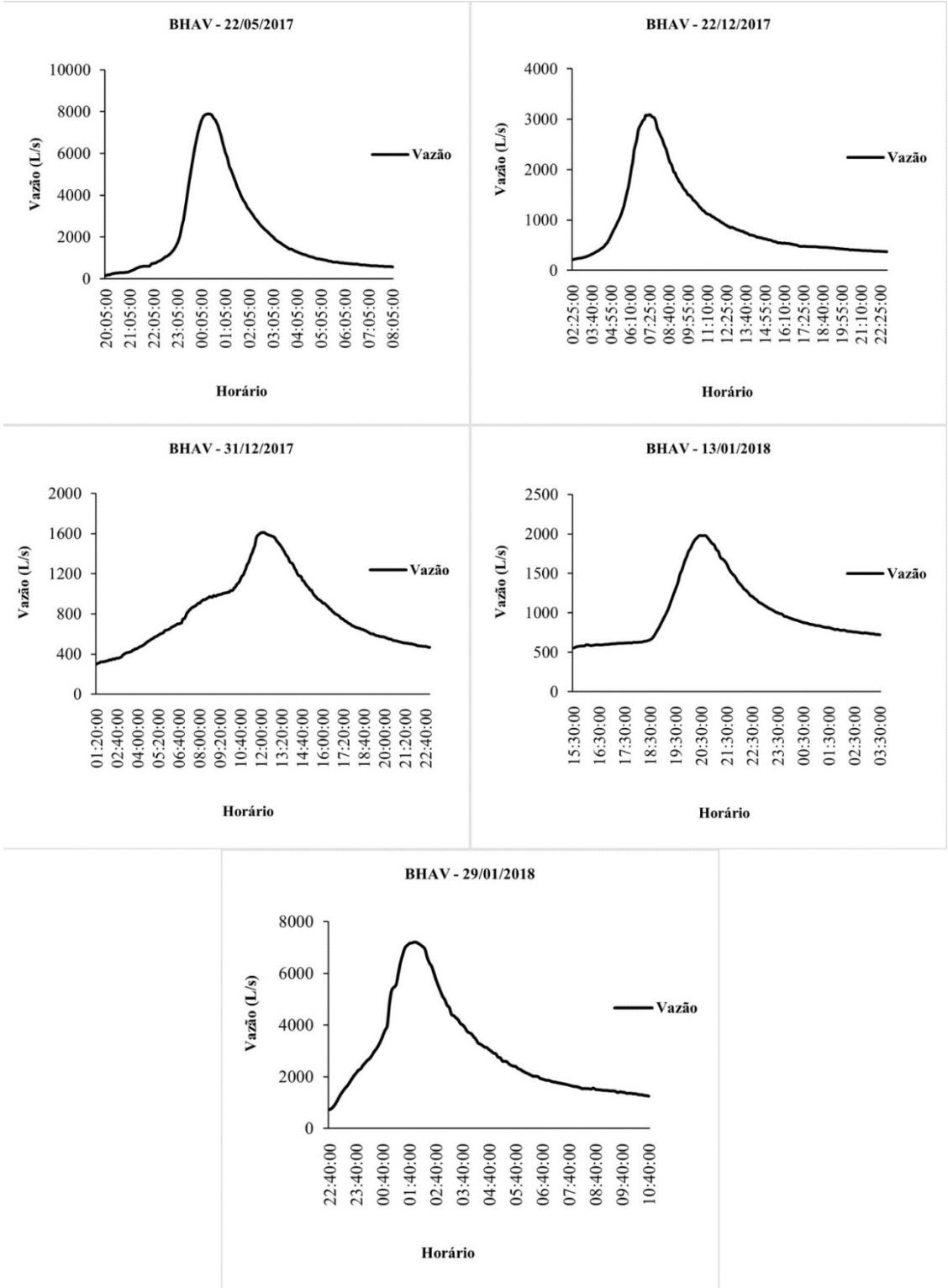
Além disso, não foram registradas precipitações antecedentes, o que também contribui para a interpretação dos resultados, evidenciando a sensibilidade do sistema hidrológico da bacia em resposta a eventos climáticos. Barbosa Jr (2015) afirma que, quanto maior a intensidade da precipitação, mais rápido o solo atingirá a sua capacidade de infiltração, situação em que o excesso da chuva poderá, então, escoar superficialmente.

A média dos valores de C da BHAV foi calculada em 0.227, sendo um valor diferente ao correspondente do C encontrado na literatura (0.42). Deve-se levar em conta que as características morfológicas e hidráulicas são distintas, apesar de seu tipo de uso do solo terem semelhança ao do modelo da literatura. Deste modo, dada as propriedades de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, é possível dizer que o solo da BHAV possui um bom potencial de percolação.

Conforme pode-se observar a expressão de cada evento de chuva na Figura 5, o hidrograma unitário é uma ferramenta crucial para preverem os picos de cheia e entenderem a resposta do escoamento direto em relação à precipitação (SULE; ALABI, 2013).

Figura 5 – Hidrogramas unitários dos eventos de chuva na Bacia Hidrográfica do Córrego Água Vermelha.





Fonte: Própria autora (2024).

6 CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados, verifica-se que, as estimativas dos coeficientes de escoamento de enchente calculadas revelam variações ao longo do ano. A média do coeficiente de escoamento obtido conforme visto, confrontado com a média do C da literatura mostra uma distinção, devido as características da bacia, afinal embora similares não são idênticas.

Requer-se elaboração de maior estudo regional para reproduzir um valor para o parâmetro C mais propicio. Contudo, o resultado foi satisfatório, pois descreve o comportamento da BHAV aos eventos de precipitação e nota-se um solo com boa capacidade de infiltração.

Os resultados obtidos comprovam a importância do conhecimento de características hidrográficas, comportamento hidrológico e suas influencias, sendo essenciais para gestão e planejamento do uso do solo, permitindo melhor preparação e mitigação de riscos associados a enchentes.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Danielle B. S. de; SILVA, Cícero L. da; OLIVEIRA, Carlos A. da S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 103-112, abr. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162006000100012>.
- BARBOSA, JR.A.R. **Elemento de hidrologia aplicada**. Ouro Preto.2015, 92 pág.
- BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BIELENK Junior, Cláudio. **Geoprocessamento e Recursos Hídricos: aplicações práticas / Claudio Bielenk Junior, Ademir Paceli Barbassa**. São Carlos: EdUFSCar, 2012. 257p.
- BORSOI, Zilda Maria Ferrão; TORRES, Solange Domingo Alencar. A Política de Recursos Hídricos no Brasil. **Revista do Bndes**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 143-165, dez. 1997. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/11774/2/RB%2008%20A%20pol%c3%adti%20de%20recursos%20h%c3%addricos%20no%20Brasil_P_BD.pdf. Acesso em: 21 nov. 2020.
- CAMPIOLI, Pâmela Fermino; VIEIRA, Celso Voos. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC (Flood Risk Assessment in the Cubatão do Norte River Basin, Joinville/Santa Catarina – Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 124-138, 26 maio 2019. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p124-138>.
- CARVALHO, Thiago Morato de. Técnicas de Medição de Vazão por Meios Convencionais e Não Convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 1, n. 1, p. 73-85, 5 nov. 2008. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v1i1.232608>. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Tm_Carvalho/publication/265124153_TECNICAS_DE_MEDICAO_DE_VAZAO_POR_MEIOS_CONVENCIONAIS_E_NAO_CONVENCIONAIS_TECHNICAL_OF_DISCHARGE_MEASUREMENT_THROUGH_CONVENTIONAL_AND_NON_CONVENTIONAL_MEANS/links/53ff4e050cf24c81027d624f.pdf. Acesso em: 21 nov. 2020.
- CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Applied Hidrology**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1988. 572 p. (IV).
- DHAKAL, Nirajan; FANG, Xing; CLEVELAND, Theodore G.; THOMPSON, David B.; ASQUITH, William H.; MARZEN, Luke J. Estimation of Volumetric Runoff Coefficients for Texas Watersheds Using Land-Use and Rainfall-Runoff Data. **Journal Of Irrigation And Drainage Engineering**, [S.L.], v. 138, n. 1, p. 43-54, jan. 2012. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000368](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000368).

FERNANDES, Rafael Pires; SILVA, Robson Willians da Costa; SALEMI, Luiz Felipe; ANDRADE, Tatiana Morgan Berteli de; MORAES, Jorge Marcos de. Surface runoff generation in a small watershed covered by sugarcane and riparian forest. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 178-190, 20 dez. 2013. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi).

<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1236>.

FIGUEIREDO, Eduardo E. de; OTA, José Junji. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MATRICIAL DE ÁGUA COM BASE NA TEXTURA DE SOLO SEMIÁRIDO E SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. p. 1-8.

KARYMBALIS, Efthimios; ANDREOU, Maria; BATZAKIS, Dimitrios-Vasileios; TSANAKAS, Konstantinos; KARALIS, Sotirios. Integration of GIS-Based Multicriteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process for Flood-Hazard Assessment in the Megalo Rema River Catchment (East Attica, Greece). **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 18, p. 10232-10255, 14 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su131810232>.

MARCELLINI, S. S. Análise de critérios para a determinação das tormentas de projeto e sua influência nos hidrogramas em pequenas bacias hidrográficas. 1994. 176 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. Hidrologia: princípios e aplicações em sistema agrícolas. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 43-60, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a04.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

PRUSKI, Fernando F.; RODRIGUES, Lineu N.; SILVA, Demetrius D. da. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 301-307, maio 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662001000200021>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v5n2/v5n2a21.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2020.

SULE, B. F.; ALABI, S. A. Application of synthetic unit hydrograph methods to construct storm hydrographs. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, v. 5, n. 11, p. 639-647, 2013. Disponível em: https://academicjournals.org/article/article1383753458_Sule%20and%20Alabi.pdf

TARGA, Marcelo dos Santos; BATISTA, Getulio Teixeira; DINIZ, Helio Nobile; DIAS, Nelson Wellausen; MATOS, Fernando Cardoso. Urbanizacao e escoamento superficial na bacia hidrografica do Igarape Tucunduba, Belem, PA, Brasil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 31 ago. 2012. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>.

TUCCI, Carlos. Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, p952, 1993.

TUCCI, Carlos; CLARKE, Robin. Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, jan. 1997. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v2n1.p135-152>. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/57/c3b072f1fa27afca2646f15472e91610_4d63ff75b48e640e8f6527cc29dd540d.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

TUCCI, Carlos E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.I], v. 5, n. 1, p. 61-68, jan/mar. 2000.

TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2001.

UFPR. Escoamento superficial. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2021. 27 slides, color, 33,9 x 19cm. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~rtkishi.dhs/TH024/TH024_11_Esc_superficial_separacao.pdf.

UFPR. **Hidrograma Unitário e Hidrograma Unitário Sintético**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2021. 35 slides, color, 33,9 x 19. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~rtkishi.dhs/TH024/TH024_13_HU.pdf.