

Distribuição de zonas verdes e redução de caudais de projeto em drenagem urbana na cidade de Bragança, Portugal

REGIS PACHECO CASSINO JUNIOR

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção
do Graude Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação
com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Londrina*

Orientado por:

Tomás de Figueiredo

Felícia Fonseca

Joseane Debora Peruço Theodoro

Bragança

2022

“Até você se tornar consciente, o inconsciente irá dirigir a sua vida e você vai chamá-lo de destino”

Carl Gustav Jung.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família. Serei eternamente grato aos meus avós, Luiz Antônio Zanchetta, Luci Cecília Zanchetta, Adilson Mário Cassino e Maria Helena Pacheco Cassino, que além de serem os pilares de nossa linda família, desde a descoberta de minha gravidez, não mediram esforços e forneceram todo suporte a mim e aos meus pais. Gostaria também de agradecer aos meus tios, por terem cuidado de mim desde pequeno, muitas vezes como um próprio irmão ou até mesmo como filho.

Agradeço aos meus fabulosos pais, Regis Pacheco Cassino e Luciana Zanchetta Cassino pelo dom da vida e por fornecer todo apoio, confiança, segurança e inspiração durante as etapas de minha vida, sempre me deixando livre e suportando-me diante de todas as minhas decisões e mudanças de rumo. Agradeço também aos meus irmãos Isabella Zanchetta Cassino e Henrique Zanchetta Cassino, vocês me trazem uma força imensurável.

Ao meu orientador Tomás de Figueiredo, pela orientação e pelas incansáveis e esplêndidas explicações, reuniões, idas à campo e pela amizade criada durante estes um ano e meio, no qual eu tive o prazer de trabalhar em conjunto. As coorientadoras Felicia Fonseca e Joseane Debora Peruço Theodoro, por todo suporte, respaldo, correções e sugestões no decorrer de todo o trabalho.

Meus amigos, que se tornaram verdadeiros irmãos de alma durante minha vida, especialmente durante a minha graduação em Londrina, apartamento 502 e família Toca da Raposa, todos vocês foram essenciais em minha jornada e, estarão sempre marcados em meu interior, cada um por seu excepcional motivo.

Um agradecimento especial aos amigos que estiveram comigo durante o programa de dupla diplomação, Yago Cipoli, Pedro Matos, Gustavo Higawa, Matheus Toloto, Jarbas Neto, Pedro Franch e Carlos Shiraish, por todo suporte, experiências, vivências, aprendizados e crescimento.

Por último e não menos importante, agradeço a todos os professores do Instituto Politécnico de Bragança e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, extraordinariamente, aos meus passados orientadores, Dr. Edson de Oliveira e Dra. Patrícia Krecl, todos vocês incentivam a educação e o avanço da ciência, vocês são verdadeiros heróis.

RESUMO

O aumento populacional e a expansão da urbanização contribuem para alterações no uso e ocupação do solo, principalmente, reduzindo zonas permeáveis e aumentando percentagem de áreas impermeáveis. Estas alterações estão intimamente ligadas ao aumento do escoamento superficial, que por sua vez, condiciona o acréscimo do caudal de ponta das bacias hidrográficas, favorecendo a ocorrência de inundações durante chuvas intensas, responsáveis por destruições ao património socioeconómico e humanitário. Os eventos de inundações se repetem progressivamente com o passar dos anos, amplificando a necessidade de se estudar suas origens e prevenções. Tal estudo envolveu analisar diferentes disposições da distribuição das manchas de uso e ocupação do solo, em uma bacia hidrográfica urbana, com possibilidade de expansão, localizada no município de Bragança, Portugal, avaliando sua resposta hidrológica mediante do caudal de ponta gerado em situações de cheias. Através de *softwares* de sistemas de informação geográfica (SIG), foram adotadas técnicas para delimitar a bacia e extrair dados necessários para calcular os caudais de ponta gerados, através do método *Soil Conservation Service – Curve Number*, diante dos períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos. Os caudais foram simulados em duas situações de coberturas extremas (urbanização densa e florestas) para toda a bacia, alternando suas percentagens de ocupação entre cobertura integral (100%), cobertura parcial (50%) e cobertura em quartis (25%). Posteriormente, foram aferidos caudais de acordo com a condição de ocupação do solo atual da bacia e, de acordo a projeção do plano diretor municipal (PDM). Nas zonas onde o PDM apontou projeções futuras para ocupação e expansão urbana, foram feitas simulações, implementando nestas áreas, urbanização densa, parques e jardins, matos e florestas e, por fim, uma simulação na qual se aumentou a área urbana em 21%, combinados com o incremento de florestas em 12% da área. Ao simular os caudais de ponta nos usos e ocupação do solo extremos, notou-se que utilizar números de escoamento baixos na parte central e próximos ao exutório da bacia, os caudais gerados são menores do que quando presentes nos trechos superiores. Os caudais de ponta resultantes do uso e cobertura do solo no cenário atual se demonstraram 35%, 22% e 15% menores, nos respetivos períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos, quando comparados ao caudal apontado pelo PDM. O melhor cenário para o PDM foi apontado pela implementação de florestas em todas as zonas que apresentaram possibilidade de mudança, apresentando reduções de caudais superiores à 35%, do previsto pelo PDM. Assim, a solução encontrada foi expandir a mancha urbana em 21% da área da bacia, combinando-a com a implementação de 12% de florestas, o que resultou em caudais inferiores aos caudais encontrados no cenário atual de ocupação do solo. Desta maneira, a metodologia aplicada demonstrou robustez para avaliar o caudal gerado em bacias hidrográficas inseridas em meio urbano. O Avanço da urbanização e a conseqüente impermeabilização da superfície da bacia tende a provocar escoamentos superficiais volumosos e aumentar sua resposta hidrológica, promovendo caudais de ponta acentuados. Entretanto, a expansão urbana combinada com políticas de florestamento, podem ser pautas de discussão durante a elaboração e implementação dos planos de urbanização dos municípios, objetivando minimizar os eventos de inundação após a expansão de zonas impermeáveis em meio urbano.

Palavras chave: Caudal de ponta, urbanização, bacia hidrográfica urbana, simulação.

ABSTRACT

Population growth and urbanization expansion contribute to changes in land use and occupation, mainly by reducing permeable areas and increasing the percentage of impermeable areas. These changes are closely linked to the increase in surface runoff, which in turn, conditions the increase in the peak flow of hydrographic basins, favoring the occurrence of floods during heavy rains, responsible for destruction to the socio-economic and humanitarian heritage. Flood events are progressively repeated over the years, amplifying the need to study their origins and prevention. This study involved analyzing different dispositions of the distribution of patches of land use and occupation, in an urban watershed, with the possibility of expansion, located in the municipality of Bragança, Portugal, evaluating its hydrological response through the peak flow generated in flood situations. Through geographic information systems (GIS) software, techniques were adopted to delimit the basin and extract data necessary to calculate the peak flows generated, through the Soil Conservation Service - Curve Number method, in view of the return periods of 2, 10 and 100 years. Flows were simulated in two extreme coverage situations (dense urbanization and forests) for the entire basin, alternating their occupancy percentages between full coverage (100%), partial coverage (50%) and coverage in quartiles (25%). Subsequently, flow rates were measured according to the current soil occupation condition of the basin and according to the projection of the municipal master plan (PDM). In the areas where the PDM pointed out future projections for urban occupation and expansion, simulations were carried out, implementing in these areas, dense urbanization, parks and gardens, woods and forests and, finally, a simulation in which the urban area was increased by 21%, combined with the increase of forests in 12% of the area. When simulating peak flows in extreme land uses and occupation, it was noted that using low flow numbers in the central part and close to the bay outlet, the generated flows are lower than when present in the upper reaches. The peak flows resulting from land use and cover in the current scenario were 35%, 22% and 15% lower, in the respective return periods of 2, 10 and 100 years, when compared to the flow indicated by the PDM. The best scenario for the PDM was pointed out by the implementation of forests in all the areas that presented the possibility of change, presenting flow reductions greater than 35%, of the predicted by the PDM. Thus, the solution found was to expand the urban area by 21% of the basin area, combining it with the implementation of 12% of forests, which resulted in flows lower than the flows found in the current scenario of land occupation. In this way, the applied methodology demonstrated robustness to evaluate the flow generated in hydrographic basins inserted in urban areas. The advance of urbanization and the consequent waterproofing of the surface of the basin tends to cause voluminous surface runoff and increase its hydrological response, promoting accentuated peak flows. However, urban expansion combined with afforestation policies can be topics of discussion during the elaboration and implementation of urbanization plans for municipalities, aiming to minimize flooding events after the expansion of impermeable zones in urban areas.

Keywords: Peak flow, urbanization, urban watershed, simulation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	3
2.1	Hidrologia	3
2.2	Ciclo Hidrológico	3
2.3	Bacia Hidrográfica	5
2.3.1	<i>Geometria</i>	6
2.3.2	<i>Sistema de drenagem</i>	7
2.3.3	<i>Relevo</i>	8
2.3.4	<i>Geologia</i>	8
2.3.5	<i>Tipo, uso e ocupação do solo</i>	9
2.4	Escoamento Superficial	10
2.4.1	<i>Conceitos gerais</i>	10
2.4.2	<i>Componentes do escoamento superficial</i>	11
2.4.3	<i>Hidrograma de cheia</i>	12
2.5	Chuvas máximas	13
2.6	Cheias em bacias hidrográficas urbanas	14
2.7	Sistemas de drenagem de águas pluviais	15
3	METODOLOGIA	16
3.1	Área de estudo	16
3.2	Tratamento de dados cartográficos	17
3.2.1	<i>Extração de dados hidrográficos</i>	18
3.2.2	<i>Seleção da Bacia hidrográfica de estudo</i>	19
3.2.3	<i>Sub-bacias hidrográficas</i>	20
3.3	Método SCS-CN	21

3.3.1	<i>Tempo de concentração (t_c)</i>	22
3.3.2	<i>Tempo de crescimento (t_p)</i>	22
3.3.3	<i>Número de escoamento (N)</i>	23
3.3.4	<i>Altura da precipitação total (h)</i>	25
3.3.5	<i>Perdas iniciais (h_o) e Altura da precipitação útil (h_u)</i>	26
3.3.6	<i>Caudal de ponta (Q_p)</i>	27
3.4	Construção dos cenários de simulação	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	Características das sub-bacias	29
4.1.1	<i>Características fisiográficas</i>	29
4.1.2	<i>Uso do solo de acordo com o Basemap</i>	32
4.1.3	<i>Uso do solo de acordo com o Plano Diretor Municipal</i>	35
4.2	Caudais de ponta exploratórios	37
4.2.1	<i>Cobertura extrema integral (100%)</i>	38
4.2.2	<i>Cobertura extrema parcial (50%)</i>	39
4.2.3	<i>Cobertura extrema em quartis (25%)</i>	42
4.3	Caudais de ponta simulados	45
4.3.1	<i>Caudais de acordo com o basemap e PDM</i>	45
4.3.2	<i>Caudais simulados no PDM</i>	48
5	CONCLUSÕES	52
6	REFERÊNCIAS	54
6.1	Artigos de jornais	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	4
Figura 2. Linhas de separação de águas.....	6
Figura 3. Hidrograma.....	11
Figura 4. Hidrograma de cheia.....	12
Figura 5. Hidrograma de cheia de bacia submetida a diferentes graus de urbanização.	14
Figura 6. Região Hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Douro e do Rio Sabor.	16
Figura 7. Malha urbana do município de Bragança.	17
Figura 8. Seleção da bacia hidrográfica em estudo.	19
Figura 9. Rio principal e seus afluentes.	20
Figura 10. Divisão das sub-bacias e seus rios principais.....	20
Figura 11. Regiões pluviométricas de Portugal Continental.....	26
Figura 12. Distribuição das sub-bacias de 2ª ordem.....	30
Figura 13. Distribuição das sub-bacias de 3ª ordem.....	31
Figura 14. Distribuição do número de escoamento (N) baseado no basemap.	34
Figura 15. Distribuição do número de escoamento (N) baseado no PDM.	37
Figura 16. Evolução do Q_p no rio principal, para $T = 100$ anos, nos cenários extremos de cobertura integral.	39
Figura 17. Gráfico de barras comparativo entre os caudais de ponta no exutório em cenários extremos de cobertura integral e parcial.	40
Figura 18. Evolução do Q_p no rio principal, em cenários extremos de cobertura (50%) nos três períodos de retorno.	41
Figura 19. Gráfico de barras comparativo entre os caudais de ponta no exutório em cenários extremos de cobertura integral em quartis.	42
Figura 20. Evolução do Q_p no rio principal, nos três períodos de retorno, intercalando N (99 e 79) para os quartis.....	43
Figura 21. Evolução do Q_p no rio principal, nos três períodos de retorno, concentrando N (99 e 79) nos quartis centrais.	44
Figura 22. Evolução do Q_p no rio principal, nos cenários URB, PDM e BMP.	46
Figura 23. Aumento gradual do caudal na bacia hidrográfica, nos cenários BMP (a) e PDM (b) para $T = 100$ anos.	47
Figura 24. Gráfico de barras comparativo entre os caudais de ponta no exutório em cenários do PDM, BMP e urbanização florestada no PDM (URF).....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplificação da organização dos dados para a planilha de cálculos. ...	22
Tabela 2. Conversão do número de escoamento em AMC.....	25
Tabela 3. Características fisiográficas das sub-bacias (SB) de 1ª ordem.	29
Tabela 4. Características fisiográficas das sub-bacias (SB) de 2ª ordem.	30
Tabela 5. Características fisiográficas das sub-bacias (SB) de 3ª ordem.	31
Tabela 6. Distribuição em percentagem do uso e ocupação do solo nas sub-bacias de acordo com o basemap.	33
Tabela 7. Valores do número de escoamento (N) para cada classe identificada no basemap.	34
Tabela 8. Distribuição em percentagem do uso e ocupação do solo nas sub-bacias de acordo com o PDM.	35
Tabela 9. Valores do número de escoamento (N) para cada classe identificada no PDM.....	36
Tabela 10. Caudal de ponta (Q_p), inclinação da reta (M) e razão comparando os dois cenários extremos de cobertura integral.....	38
Tabela 11. Q_p no exutório para urbanização integral (URB), plano diretor municipal (PDM) e basemap (BMP).....	45
Tabela 12. Dados do caudal de ponta no exutório (Q_p) diante dos cenários de alteração de urbanização densa (URB), parques e jardins (PQJ), matos (MTS) e florestas (FLT).	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
K_c	Índice de compacidade
K_f	Fator de forma
L_e	Índice de alongamento
Q	Caudal
ΔV	Volume de água acumulado
Δt	Tempo de passagem
t_r	Tempo de precipitação
t_i	Tempo de resposta da bacia
t_c	Tempo de concentração
T	Período de retorno
IDF	Intensidade Duração e Frequência
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação do terreno
JAXA	Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
AW3D	ALOS <i>World</i> 3D
WGS	<i>World Geodetic System</i>
PDM	Plano Diretor Municipal
BH	Bacia hidrográfica
SB	Sub-bacia
SCS-CN	<i>Soil Conservation Service - Curve Number</i>
t_p	Tempo para a ponta
h	Altura da precipitação total
h₀	Perdas iniciais
h_u	Altura da precipitação útil
Q_p	Caudal de ponta
A	Área
L	Comprimento do rio principal
H	Altura média da bacia
t_{pc}	Tempo de percurso
N	Número de escoamento
AMC	<i>Antecedent Moisture Conditions</i>
i	Intensidade pluviométrica
K	Constante do fator de ponta
VBH	Vegetação herbácea

MTS	Matos
MTD	Matos densos
PQJ	Parques e jardins
FLT	Florestas
SAF	Sistemas agroflorestais
TUC	Tecido urbano contínuo
TUD	Tecido urbano descontínuo
RDV	Redes viárias
N. A	Áreas em branco
S. D	Sem dados
CSL	Urbanização Consolidada
PCT	Zonas de preenchimento
AMZ	Armazéns
EQT	Zonas de equipamento
PTC	Zonas de proteção
ZVD	Zonas verdes
EUM	Expansão urbana de média densidade
EUB	Expansão urbana de baixa densidade
EQP	Zonas de equipamento programado
PCP	Zonas de preenchimento programado
M	Inclinação da reta
FTS	Floresta no trecho superior
UTS	Urbano no trecho superior
FIU	Floresta intercalado com urbano
UIF	Urbano intercalado com floresta
FCT	Floresta na parte central
UCT	Urbano na parte central
BMP	<i>Basemap</i>
URF	Urbano Florestado

1 INTRODUÇÃO

Bacia hidrográfica é uma área topograficamente definida, drenada por um sistema de cursos de água interligados, cujos caudais convergem para um exutório (Lencastre e Franco, 2006). Alterações antrópicas na bacia hidrográfica e em seu sistema ou rede de drenagem, como alterações do uso e ocupação do solo, podem resultar em diversas mudanças em seu ciclo hidrológico, bem como no funcionamento hidroclimático da mesma, trazendo consigo crises hídricas (Mirzaei et al., 2020; Chen et al., 2019; Mesquita et al., 2018) ou até mesmo cheias e enchentes (Di Salvo et al., 2017; Tabari et al., 2021; IPCC, 2014).

O crescimento sustentável das cidades, juntamente com a gestão sustentável da água são dois dos grandes objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). A tendência é que os centros urbanos se expandam cada vez mais com o passar do tempo, já que, em 2018, cerca de 55 % da população mundial vivia em centros urbanos, sendo que na projeção para 2030 esse valor suba para 60% (ONU, 2018).

O crescimento populacional desenfreado, juntamente com a necessidade da formação de aglomerados urbanos, causam variações no uso e ocupação do solo, como o corte de árvores, remoção de manchas florestais e, em geral, a diminuição da cobertura vegetal, para a construção de vias pavimentadas, conjuntos de habitação e estradas, as quais transformam superfícies permeáveis em superfícies impermeáveis (Nath et al., 2021; Singh et al., 2018; Kumar et al., 2018). Shrestha et al. (2021), observaram em seu estudo na cidade de Xiamen, China, que o aumento do escoamento superficial está positivamente relacionado com construções e pavimentações, e negativamente relacionado com as áreas verdes (vegetadas), estas apresentando maior capacidade de retenção do escoamento. As mudanças na permeabilidade da superfície, para além de terem impacto importante na condição hidrogeológica (McGrane, 2016), são responsáveis por gerar maior escoamento superficial, elevando o pico de fluxo da bacia, o que favorece a ocorrência de inundações e alagamentos urbanos (Ansari et al., 2016).

Como exemplo dramático disto mesmo, pôde-se observar durante o verão de 2021, que grandes eventos de chuvas atingiram os Países Baixos, Bélgica, Suíça, Alemanha e China (1), onde as estruturas de drenagem não foram capazes de suportar o caudal gerado pelas chuvas, culminando em grandes enchentes por

diversas cidades, trazendo consigo graves consequências, como, centenas de mortos, milhares de pessoas desaparecidas (2) e bairros totalmente destruídos (3) pela força da água nestes eventos de cheia.

Devido o aumento da frequência destes eventos destrutivos ao longo dos anos, a necessidade de estudar suas origens e maneiras de prevenir tais acontecimentos, por parte de políticos e especialistas, vem se intensificando (Tabari et al., 2020). Desta forma, estudos recentes (Fang et al., 2020; Hussein et al., 2020; Seleem et al., 2021; Shrestha et al., 2021) utilizam ferramentas e modelos para estudar as implicações das alterações que o processo de urbanização e sua expansão na resposta hidrológica das bacias hidrográficas inseridas em meio urbano.

Em Portugal as inundações são o segundo evento natural que mais causa danos económicos ou perdas de vidas (APA, 2018; EM-DAT, 2018). Em suas pequenas bacias, a falta de informação e o mau planejamento no uso e ocupação do solo tendem a agravar suas consequências, aumentando os riscos socioeconómicos e de vidas humanas (Ramos & Reis, 2002).

Neste contexto, o objetivo central deste estudo é avaliar diferentes disposições da distribuição das manchas de ocupação do solo na resposta hidrológica de uma pequena bacia hidrográfica urbana, em situação de cheia. Para isso, serão aplicados modelos hidrológicos, em particular o método *Soil Conservation Service – Curve Number* (SCS – CN), e usado softwares de sistemas de informação geográfica (SIG), melhorando a aplicação do método e, obter projeções espaciais de caudais de ponta em um dos afluentes da bacia do Rio Sabor, pertencente a bacia hidrográfica do Rio Douro, que engloba parcialmente a cidade de Bragança, Portugal.

Este trabalho encontra-se dividido em capítulos, que se seguem a este primeiro da introdução onde se apresentam o tema e os objetivos do estudo. O segundo capítulo apresenta uma revisão dos estudos sobre a temática, a qual estabeleceu o referencial teórico e a base bibliográfica deste trabalho. O terceiro descreve a metodologia a ser utilizada para o desenvolvimento do trabalho e produção dos resultados. Posteriormente, o quinto capítulo apresenta os resultados e discussão com base nos dados obtidos e bibliografia e, por fim, o sexto capítulo contém as conclusões e sugestões futuras.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Hidrologia

A hidrologia é a ciência que estuda as águas emersas, no âmbito geral de sua circulação, ocorrência, distribuição, sua interação com o meio e suas propriedades físico-químicas (Lencastre & Franco, 2006; WMO, 1982). Ao tratar-se de hidrologia moderna, pode-se deixar de lado todas as propriedades da água, destacando apenas sua distribuição na superfície terrestre, bem como seu movimento sob a superfície e na atmosfera (Davie & Quinn, 2019).

Hipólito e Vaz (2017), afirmam que a hidrologia, de modo geral, é a ciência que engloba o conhecimento da água nos três locais de ocorrência, sendo eles, os continentes, a atmosfera e os oceanos. Contudo, a meteorologia e a oceanografia estudam sua ocorrência e comportamento no ar e nos oceanos, respectivamente. Portanto, a hidrologia segue-se dedicada à parte terrestre.

Quando se trata de hidrologia nos seus contributos para a engenharia, o estudo desta ciência está refletido nos grandes aproveitamentos da água, como o energético, o abastecimento, o controle de cheias, a rega de plantas, o uso e recarga de aquíferos, visando o controle, o cuidado e a utilização da água em prol das necessidades humanas (Lencastre & Franco, 2006; Hipólito & Vaz, 2017). Portanto o ciclo hidrológico detém grande importância para o ambiente e para a vida de maneira geral, visto que todos os pontos desta ciência são fundamentais para a modelagem do terreno, condicionamento do clima e para a manutenção da fauna e flora. Desta maneira, pode-se dizer que, estudar o ciclo da água é indispensável para a manutenção da vida e do ambiente.

2.2 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico (**Figura 1**) pode ser descrito como o conjunto dos rumos nos quais a água circula e se transforma na natureza, resultando num sistema fechado de processos, quando analisado em escala global, os quais encerram enorme complexidade (Hipólito & Vaz, 2017; Lousada & Camacho, 2018). Destes processos destacam-se a evapotranspiração, a precipitação, a interceção, a infiltração, a percolação e os escoamentos, superficial e subterrâneo (Lencastre e Franco, 2006;

Hipólito e Vaz, 2017).

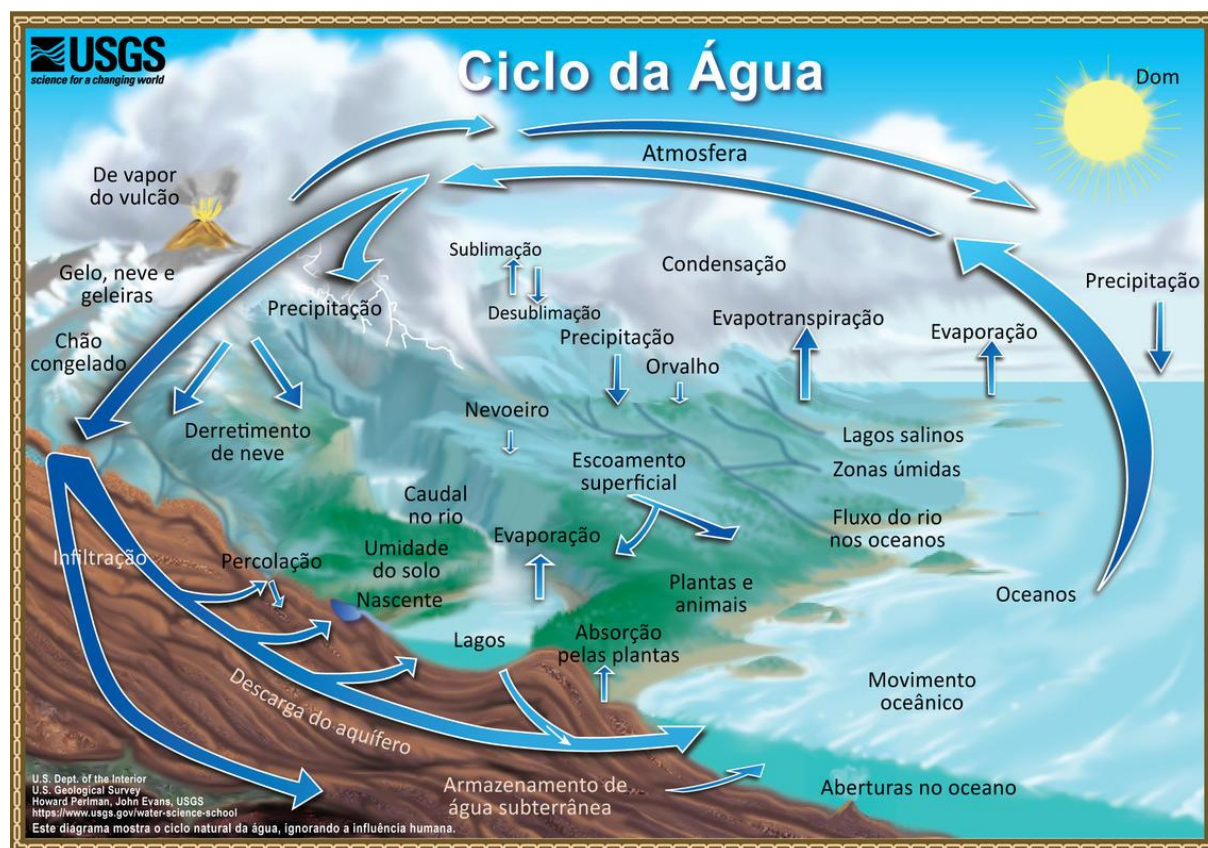


Figura 1. Ciclo hidrológico
Fonte: USGS, 2017.

Como este ciclo é fechado em escala global, o mesmo não apresenta um início nem um fim; contudo, para explicá-lo pode-se tomar como princípio a radiação solar, que é o principal motor da circulação da água na atmosfera e nos oceanos (Hipólito e Vaz, 2017). A energia solar é a principal responsável por promover o aquecimento e, por consequência, a evaporação da água na superfície, podendo variar de acordo com a latitude, a estação do ano, a hora do dia e a nebulosidade (Chow et al., 1994; Lencastre e Franco, 2006).

Após a evaporação da água da superfície terrestre, o vapor de água acumula-se na atmosfera e é transportado em massas de ar, transformando-se, sob condições adequadas de condensação, na precipitação, majoritariamente na forma de chuva ou neve, ou mesmo granizo, mas podendo também originar geada e orvalho (Lencastre & Franco, 2006; Hipólito & Vaz, 2017).

Com o início da precipitação, a água poderá tomar diversos caminhos diferentes. Parte dela começa a evaporar durante a queda (média global de 57 % da precipitação continental e 112% da precipitação nos oceanos); outra parte é

intercetada por elementos como, vegetação ou construções, evaporando logo em seguida (Hipólito & Vaz, 2017). Contudo, a fração da precipitação que acaba atingindo o solo, pode acabar ficando retida em depressões e infiltrar no solo, ou, dar início ao escoamento superficial (Lencastre & Franco, 2006), sendo que a maior parte desta água, retorna à atmosfera por meio da evaporação e evapotranspiração (Chow et. al., 1994).

Parte da água que escoar superficialmente, origina linhas d'água, que ao se interceptarem, incorporam-se formando rios, os quais irão aumentando sua ordem e desaguarão no oceano. Entretanto, a outra parte infiltra-se no solo, podendo percolar até camadas mais profundas e abastecer aquíferos (Chow et. al., 1994), contribuindo assim, para o escoamento subterrâneo, o qual auxilia a manutenção dos rios e seu escoamento para os oceanos (Hipólito & Vaz, 2017).

2.3 Bacia Hidrográfica

A área de uma bacia hidrográfica pode ser delimitada por dois tipos de linha de separação de águas (**Figura 2**), linha de água topográfica (superficiais) e linha freática (subterrâneas). As linhas de águas freáticas são, de forma geral, determinadas de acordo com a estrutura geológica do terreno apresentando, frequentemente, influência da topografia. Contudo, como o lençol freático apresenta forte instabilidade de nível, com grandes variações subterrâneas ao longo do ano, utilizá-lo como parâmetro para a delimitação de uma bacia, torna-se inviável. Dessa forma, pode-se definir uma bacia hidrográfica com sendo uma área topograficamente definida que apresenta um curso de água drenante ou um sistema interligado de cursos, os quais apresentam os caudais convergidos em uma única saída (cota mais baixa), denominado exutório (Lencastre & Franco, 2006). Normalmente, as bacias hidrográficas são constituídas por bacias de áreas menores nomeadas de sub-bacias (Naghettini, 2016).

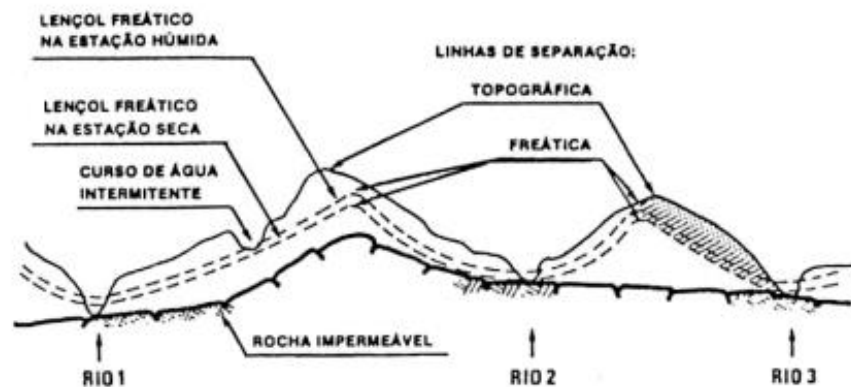


Figura 2. Linhas de separação de águas.
Fonte: Lencastre & Franco, 2006.

De maneira geral, além do clima regional, algumas características fisiográficas da bacia hidrográfica apresentam grande importância e relevância no estudo de seu comportamento hidrológico, como, a geometria, o sistema de drenagem, o relevo, a geologia, o tipo e uso do solo, bem como a vegetação que o recobre (Lencastre & Franco, 2006; Hipólito & Vaz 2017). A partir do conhecimento destas características de diferentes bacias hidrográficas, é possível encontrar afinidades existentes entre elas e, por consequência, regionalizar os parâmetros hidrológicos (Lousada & Camacho, 2018).

2.3.1 Geometria

Dentro das características geométricas de uma bacia hidrográfica, incluem-se variáveis de grande importância para analisar seu comportamento hidrológico, a área de drenagem e o perímetro da bacia.

A área de drenagem da bacia é a área em projeção horizontal a qual está situada dentro dos limites topográficos, podendo ser obtida através de planimetria ou por sistema de informação geográfica (SIG). Hipólito e Vaz (2017) ao analisarem bacias que apresentam características climática e de pluviosidade média semelhantes, os valores de escoamento nestas bacias variam de acordo com a sua área de drenagem. Portanto, pode-se afirmar que este parâmetro apresenta influência direta nos valores de escoamento das bacias.

O perímetro é calculado através da projeção horizontal da superfície da bacia hidrográfica. Este dado, em conjunto com a área, possibilita o cálculo de três fatores de extrema importância para os estudos das cheias nas bacias, são eles: índice de compactidade (K_c), fator de forma (K_f) e o índice de alongamento (L_e). De acordo com

Hipólito e Vaz (2017), quanto mais próximo de um, forem os valores de K_c , K_f e L_e de uma certa bacia com relação as demais, maior é a tendência de apresentar pontas de cheias mais altas.

2.3.2 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia é formado pelo rio principal e seus afluentes, os quais constituem uma rede de transporte de água e sedimentos. A rede de drenagem pode ser caracterizada de acordo com a constância de escoamento, a ordem e a densidade de drenagem de seus cursos de água (Naghattini, 2012; Lencastre & Franco, 2006; Hipólito & Vaz 2017).

Os rios e seus afluentes podem ser classificados conforme a sua constância de escoamento. Quando os rios escoam água em todo o período do ano, sendo alimentados constantemente pelo aquífero que o engloba, portanto, não apresentando o nível da água mais baixo que seus leitos, são classificados como rios perenes. Os rios que surgem apenas quando o lençol freático atinge níveis mais altos que o leito do próprio rio nas estações chuvosas e desaparecem nas estações secas, quando o lençol freático tem seu nível diminuto, são denominados rios intermitentes. Contudo, os rios que se manifestam exclusivamente durante ou imediatamente após um episódio de precipitação, não apresentando sustentação por aquíferos e nem escoamento de fluxo subterrâneo, são classificados como rios efêmeros (Lencastre & Franco, 2006; Hipólito & Vaz 2017).

A ordem dos cursos de água caracteriza o grau de ramificação da rede de drenagem da bacia hidrográfica. A classificação da ordem dos rios, desenvolvida por Strahler e citada por Lencastre e Franco (2006), é feita a partir de um curso de água de primeira ordem, o qual não apresenta afluentes, quando este se unifica com outro rio de primeira ordem, ele passa a ser classificado como de segunda ordem, que por sua vez, receberá a classificação de terceira ordem quando se unir a outra linha de água de segunda ordem e assim, sucessivamente.

A densidade de drenagem, é um índice que exprime a razão entre comprimento total dos cursos hídricos com a área da bacia, representado pela letra grega lambda (λ). Este índice é de extrema importância nos cálculos hidrológicos pois está diretamente ligado com o escoamento superficial, indicando assim a eficiência de drenagem da bacia. Desta forma, pode-se dizer que este índice também reflete na tendência de cheias de uma bacia hidrográfica, portanto, considerando uma

precipitação numa bacia que apresenta um valor alto de λ , a tendência é de que o fluxo de água gerará um escoamento superficial que será rapidamente conduzido até a secção de referência da bacia, resultando um caudal de ponta elevado devido à sua alta capacidade de drenagem. Por outro lado, quando este índice apresenta valores baixos, a precipitação gerará apenas escoamento subterrâneo, ocasionando em pontas de cheia não elevadas (Lencastre & Franco, 2006; Hipólito & Vaz 2017).

2.3.3 *Relevo*

Mais uma característica de extrema importância para os cálculos hidrológicos de uma bacia hidrográfica é o relevo. A altitude e a altura média da bacia, apresentam grande influência no comportamento hidrometeorológico (precipitação e temperatura) e no grau de irregularidade do terreno, demonstrando o quão acidentada é a bacia, respetivamente.

Outro fator do relevo que detém relevância para os cálculos hidrológicos são os declives do leito do rio e dos terrenos na bacia. O primeiro é uma variável fundamental para a aplicação de métodos de predeterminação para os cálculos do tempo de concentração. O segundo, é uma variável que dispõe influência direta no comportamento do escoamento superficial de determinada bacia e por consequência, também surtirá efeito nas pontas de cheia, pois o declive condiciona diretamente a velocidade de escoamento da água e, por consequência, o tempo em que a água se concentrará nas redes de drenagem, interferindo, por sua vez, nas pontas de cheia da bacia (Lencastre & Franco, 2006; Hipólito & Vaz 2017).

2.3.4 *Geologia*

Romshoo et al. (2012) identificaram que este parâmetro está relacionado com a permeabilidade, capacidade de retenção e à transmissibilidade da bacia de drenagem, portanto, pode-se dizer que a geologia de uma bacia hidrográfica é mais uma das características que detém grande influência no movimento da água, como escoamento superficial ou subterrâneo.

Diversos estudos que apontam uma forte correlação e até estimam a quantidade de evapotranspiração da vegetação de uma área de acordo com as flutuações do lençol freático (Fahle & Dietrich, 2014; Sun et al., 2019; Wang & Pozdniakov, 2014). Dessa forma, visto que a geologia é um condicionador do nível do

lençol freático e das águas subterrâneas, e que, a evapotranspiração detém grande influência na continuidade e nos percursos do ciclo hidrológico de uma bacia, é imprescindível ressaltar que a formação geológica da área detém grande importância para os cálculos hidrológicos.

Hipólito e Vaz (2017) relatam que formação geológica determina a presença de formações permeáveis, impermeáveis e de aquíferos, que, como dito anteriormente, contribuem sustentando o escoamento dos rios. A geologia também mostra grande relevância nas conexões hidrológicas, onde as interações entre os lençóis freáticos, o leito rochoso e os aquíferos podem influenciar a o abastecimento das águas nas bacias hidrográficas, especialmente quando o fluxo de água na bacia está baixo (Jencso & McGlynn, 2011). Blumstock et al. (2016), analisaram que os aquíferos próximos da superfície apresentaram respostas hidrológicas mais rapidamente do que os riachos após eventos de chuva e, durante os períodos de estiagem, estes desempenharam a função de suprir o abastecimento de água e sustentar o escoamento dos riachos da bacia. Portanto, pode-se dizer que a alta permeabilidade geológica que promove a conectividade hidrológica subterrânea, detém um papel crucial para a manutenção dos serviços hidrológicos na bacia hidrográfica.

2.3.5 Tipo, uso e ocupação do solo

A permeabilidade do solo está diretamente ligada com a presença e a quantidade de vazios, a distribuição dos poros e seu grau de saturação, bem como o tipo do solo, que é classificado de acordo com seus constituintes (Elhakim, 2016; Kozlowski & Ludynia, 2019). Solos predominantemente constituídos por partículas finas (argilosos), tendem ser mais impermeáveis do que os solos arenosos (partículas grossas) devido sua menor porosidade, sua alta retenção de água e sua alta capacidade de compactação (Holthusen et al., 2018). Dessa forma, pode-se dizer que a permeabilidade do terreno é, também, condicionada pelo tipo do solo. Assim, ao ocorrer a precipitação em um o terreno que apresenta baixa permeabilidade, a tendência é da água atingir o solo e, rapidamente, se transformar em escoamento superficial, conseqüentemente, originando cheias mais rápidas e intensas (Smith et al., 2015). Porém, quando o terreno apresenta alta permeabilidade, devido à alta capacidade de infiltração, o escoamento superficial será retardado, promovendo assim, uma cheia de longa duração e volume reduzido.

Outro fator de acentuada relevância que interfere diretamente nas respostas hidrológicas da bacia é o uso e a ocupação a que se destina aquele solo, como por exemplo, florestas, construções, pavimentações, áreas agrícolas, áreas de solo exposto, entre outros. Estudos recentes (Lucas-Borja et al., 2020; Ogden et al., 2013) revelam que bacias hidrográficas que apresentam maior integridade de florestas e solos recobertos por camadas vegetais, apresentam melhor resposta hidrológica perante àqueles que detêm solos expostos ou impermeáveis. Ogden, et al. (2013), analisaram que a bacia hidrográfica completamente florestada apresentou escoamento superficial 2,7 e 1,8 vezes menor que as bacias de pastagem e de mosaico de floresta, agricultura e pastagem, respectivamente, demonstrando que as florestas fornecem maior capacidade de reter a água, permitindo sua infiltração no terreno o que diminui o caudal de ponta da bacia durante episódios de cheia. A partir do uso de sensoriamento remoto, Rawat e Kumar (2015) identificaram que o fluxo de água e o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica na Índia foram impactados por mudanças temporais e espaciais no uso da terra ocasionadas pela expansão da agricultura, a urbanização e o desmatamento.

A vegetação, principalmente as árvores de copa alongada, por conta do recobrimento de seu copado (Yang et al., 2019), também desempenha um papel importante na melhora do ciclo hidrológico, interceptando parte da chuva que cai em determinada área. Esta interseção pela vegetação retém uma parcela da água precipitada e esta é evaporada ou tem sua queda amortecida, o que acaba por reduzir a quantidade e a velocidade do escoamento superficial gerado pela chuva (Iida et al., 2017; Zheng & Jia, 2020). Li et al. (2017), destacaram também a importância da manta morta recobrindo o solo, visto que em conjunto com as copas das árvores, após os 10 primeiros minutos de precipitação, a manta morta obteve o protagonismo amortecendo a precipitação.

2.4 Escoamento Superficial

2.4.1 Conceitos gerais

O escoamento superficial pode ser definido como a água resultante da diferença entre a precipitação e a água que é interceptada pela vegetação ou edifícios, evaporada, infiltrada no solo ou que permanece em depressões no terreno. Assim sendo, o volume de água resultante escoará descendo pela superfície do terreno até

encontrar a cota mais baixa da bacia, onde encontrará uma linha de água, podendo ser: sulcos, ribeirões ou rios. Porém, quando a precipitação for branda e incapaz de superar a capacidade de retenção, evaporação e infiltração do terreno, não ocorrerá escoamento superficial (Lencastre & Franco, 2006).

A precipitação, quando ocorrida próximo as cabeceiras de uma bacia, por apresentar uma área superficial relativamente pequena, resulta num escoamento superficial de curta duração e pouco volume. Contudo, quando a precipitação ocorre longe das cabeceiras, abrangendo maior área superficial da bacia, o escoamento superficial atinge os cursos de água nos talwegues, que por sua vez, apresentam maior velocidade e volume (Hipólito & Vaz, 2017).

Lencastre e Franco (2006) afirmam que o escoamento superficial é o único componente do ciclo hidrológico que pode ser medido na totalidade sem necessitar ser quantificado por amostragem. Para obter esta componente em uma determinada secção da bacia, basta calcular o caudal (Q), expresso geralmente em m^3/s ou l/s , a partir da razão entre o volume de água acumulado a montante de tal secção (ΔV) pelo respetivo tempo de passagem (Δt).

2.4.2 Componentes do escoamento superficial

Para o melhor entendimento do comportamento do escoamento superficial, analisa-se a **Figura 3**, a qual representa um hidrograma com os dois principais componentes do escoamento, o escoamento de base e o escoamento direto.

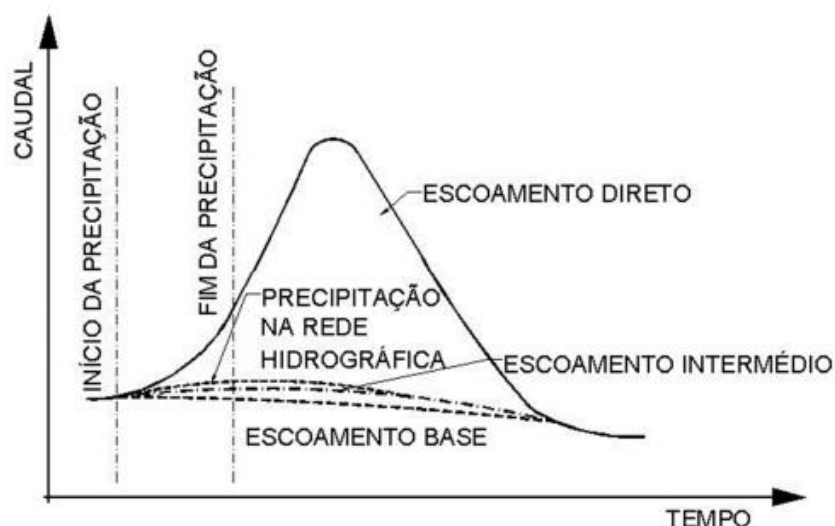


Figura 3. Hidrograma.

Fonte: Lencastre & Franco, 2006.

O escoamento direto é representado pela parcela de precipitação que chega à rede hidrográfica após ocorrerem os processos de infiltração, evaporação e retenção superficial na bacia. É também, a parte mais significativa do hidrograma da bacia nos períodos de precipitação intensa. Já o escoamento de base é o resultante de parte da precipitação infiltrada profundamente no solo, ele contribui para o escoamento superficial dos aquíferos. Este escoamento não tem grande importância em períodos de chuva intensa, onde prevalece o escoamento direto, contudo, nos períodos em que as chuvadas se ficam escassas, ele passa a representar a totalidade do escoamento (Lencastre & Franco, 2006).

2.4.3 Hidrograma de cheia

Lencastre e Franco (2006) também apresentam o hidrograma de uma bacia hidrográfica gerado por um evento de chuvada isolado (**Figura 4**). Neste hidrograma é possível observar o comportamento da vazão da água antes, durante e depois da chuvada.

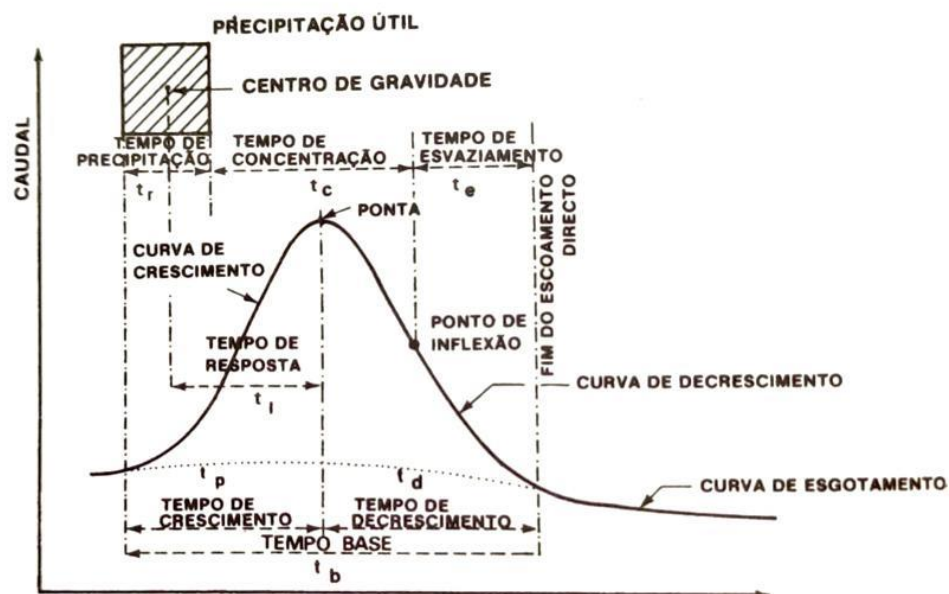


Figura 4. Hidrograma de cheia.
Fonte: Lencastre & Franco, 2006.

O tempo de precipitação (t_r) é o tempo que representa a duração da chuvada, que origina o escoamento direto. Especificamente, na metade do t_r , que corresponde ao centroide da precipitação útil, é onde se inicia o tempo de resposta da bacia (t_i), que pode ser definido como o tempo em que representa a diferença entre os caudais

que estavam presentes na bacia com os caudais correspondentes à precipitação, o tempo de resposta se encerra quando o caudal atinge seu valor máximo, denominado, caudal de ponta do hidrograma.

O tempo de concentração (t_c), se inicia logo após o término da precipitação, representando o tempo necessário para que a água percorra toda a bacia e chegue até a secção de saída da mesma, ou seja, é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial até a secção de saída. Em uma precipitação uniforme por toda bacia, este pode ser o intervalo de tempo entre o fim da precipitação e a ocorrência do ponto de inflexão na curva de crescimento do hidrograma.

Os mesmos autores relatam que diversos fatores são responsáveis por alterar a forma dos hidrogramas, como por exemplo, a geometria, o sistema de drenagem, o relevo, a topografia, a geologia, bem como o uso e ocupação do solo. Todas estas características, como citado anteriormente, na secção 2.3, afetam de alguma forma o escoamento, a drenagem e/ou os caudais de ponta da bacia. Contudo, outro fator que revela grande impacto na forma do hidrograma é a precipitação, que varia de acordo com sua intensidade, duração e frequência.

2.5 Chuvas máximas

As chuvas intensas geralmente estão associadas a grandes prejuízos quando ocorrem no meio urbano e rural, devido seu alto poder destrutivo. Dessa forma, é de extrema importância estudar e compreender o funcionamento e ocorrência deste tipo de evento nessas áreas. Contudo, uma das grandes dificuldades encontradas para avaliar a frequência destes eventos é calcular a duração, a quantidade de precipitação em uma dada área e a probabilidade de ocorrência do evento, que por sua vez, é denominado período de retorno (T). Portanto, a solução para relacionar estas variáveis é através das curvas de Intensidade – Duração – Frequência (IDF), que são obtidas regionalmente utilizando dados dos maiores eventos de chuva durante vários anos (Collischonn & Tassi, 2008).

Diversos autores relatam, em seus trabalhos, a importância do uso das curvas IDF durante os cálculos de engenharia, quantificando a frequência da ocorrência dos eventos de chuva intensa, assim como a vazão gerada durante os mesmos num local específico (Al-Amri & Subyani, 2017; de Paola et al., 2014; Hosseinzadehtalaei et al.,

2020) e, assim, projetar estruturas hidráulicas e de drenagem, visando obter o controle hidrológico das cheias, evitando e protegendo a população dos mais diversos desastres ocasionados por elas, principalmente em bacias urbanas de porte pequeno ou médio (Ghiaei et al., 2018).

2.6 Cheias em bacias hidrográficas urbanas

De acordo com Lencastre e Franco (2006), a mudança da ocupação do solo natural ou vegetado ocasionada pela urbanização acarretam grandes consequências para o escoamento superficial, alterando principalmente a taxa de infiltração e a velocidade do escoamento, o que conseqüentemente, muda a forma da curva de escoamento do hidrograma de cheia (**Figura 5**).

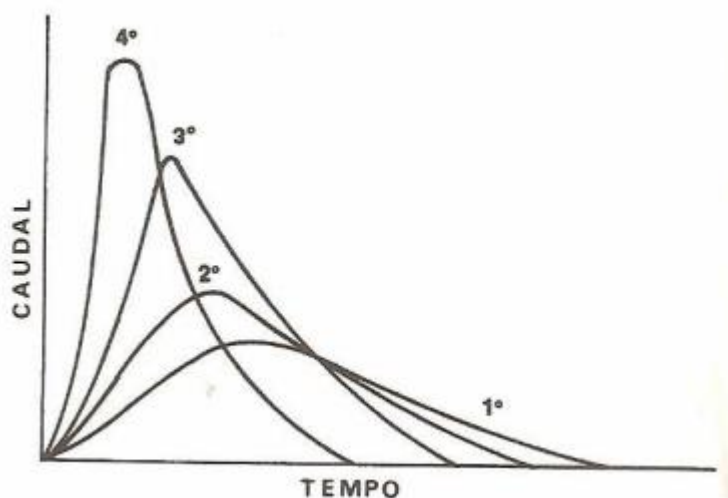


Figura 5. Hidrograma de cheia de bacia submetida a diferentes graus de urbanização.
Fonte: Lencastre & Franco, 2006.

Ao observar a Figura 5 é possível notar que ocorrem grandes mudanças ao comparar a progressiva urbanização de uma bacia hidrográfica, onde a curva 1º representa a curva de escoamento de uma bacia pouco afetada pela urbanização, enquanto a curva 4º representa a curva de escoamento da mesma bacia, porém com um elevado processo de urbanização. Ao observar a Figura 5, pode-se concluir que o processo de urbanização, além de aumentar o caudal de ponta, diminui o tempo de escoamento, o tempo de concentração da bacia e acelera o tempo de resposta da rede de drenagem ao evento de precipitação, ou seja, a água resultante da precipitação atinge a rede de drenagem rapidamente, concentrando um maior volume de água em menos tempo. Welde e Gebremariam (2017) identificaram um aumento

significativo na vazão do curso de água principal da bacia quando submetida às mudanças no uso e ocupação do solo.

Estudos que relacionam a mudança no uso e ocupação do solo, bem como o processo de urbanização com o tempo de resposta hidrológica da bacia, associam essa alteração principalmente com o aumento de superfícies impermeáveis, as quais diminuem a quantidade de superfícies capazes de reter a água e retardar o escoamento superficial, junto a isso, citam também que essa mudança diminui o fluxo de água subterrânea e o processo de evapotranspiração desencadeando alterações no ciclo hidrológico da bacia (Astuti et al., 2019; Welde & Gebremariam, 2017; Guzha et al., 2018; Sinha et al., 2020).

2.7 Sistemas de drenagem de águas pluviais

As alterações sofridas na rede de drenagem, bem como a alteração dos cursos de água de uma bacia hidrográfica, influenciadas pelo processo de urbanização, trazem consigo a necessidade de obras de engenharia para a implementação de um sistema de drenagem capaz de diminuir a velocidade do escoamento superficial, aumentar o tempo de concentração e controlar o caudal de ponta, a fim de evitar enchente e danos à população (Lencastre & Franco, 2006; Canholi, 2014).

De acordo com a Norma Europeia EN 752, os sistemas de drenagem urbana devem ser projetados para suportar períodos de retorno da precipitação de 10 a 50 anos. Contudo, nos últimos anos, diversos eventos de chuva intensa demonstraram a fragilidade dos sistemas de drenagem urbana em diferentes partes do globo (Fletcher et al., 2013; Du et al., 2015; Kang et al., 2016; Anni et al., 2020). Dessa forma, diversos estudos buscam encontrar alternativas para este problema utilizando sistemas de drenagem urbana sustentáveis, com o objetivo de melhorar a resposta hidrológica da bacia utilizando métodos de baixo impacto ambiental (EPA, 2019; Fletcher et al., 2014; Jiang et al., 2018).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica (BH) do Rio Douro é uma das principais bacias de toda Península Ibérica (Pinto, 1999), abrangendo 18.587 km² do território português e cerca de 78.890 km² do território espanhol (APA, 2016). O Rio Douro nasce na Espanha, na Serra de Urbion, atravessa a fronteira e cruza longitudinalmente o território português, por cerca de 208 km, até sua foz situada na cidade do Porto. Em Portugal o principal afluente da margem direita do Rio Douro, é o Rio Sabor (Diogo et al., 2004). A **Figura 6** apresenta a região correspondente às bacias hidrográficas do Rio Douro (verde oliva) e Rio Sabor (amarelo) e seus respectivos rios principais, inseridas tanto em território português quanto espanhol.

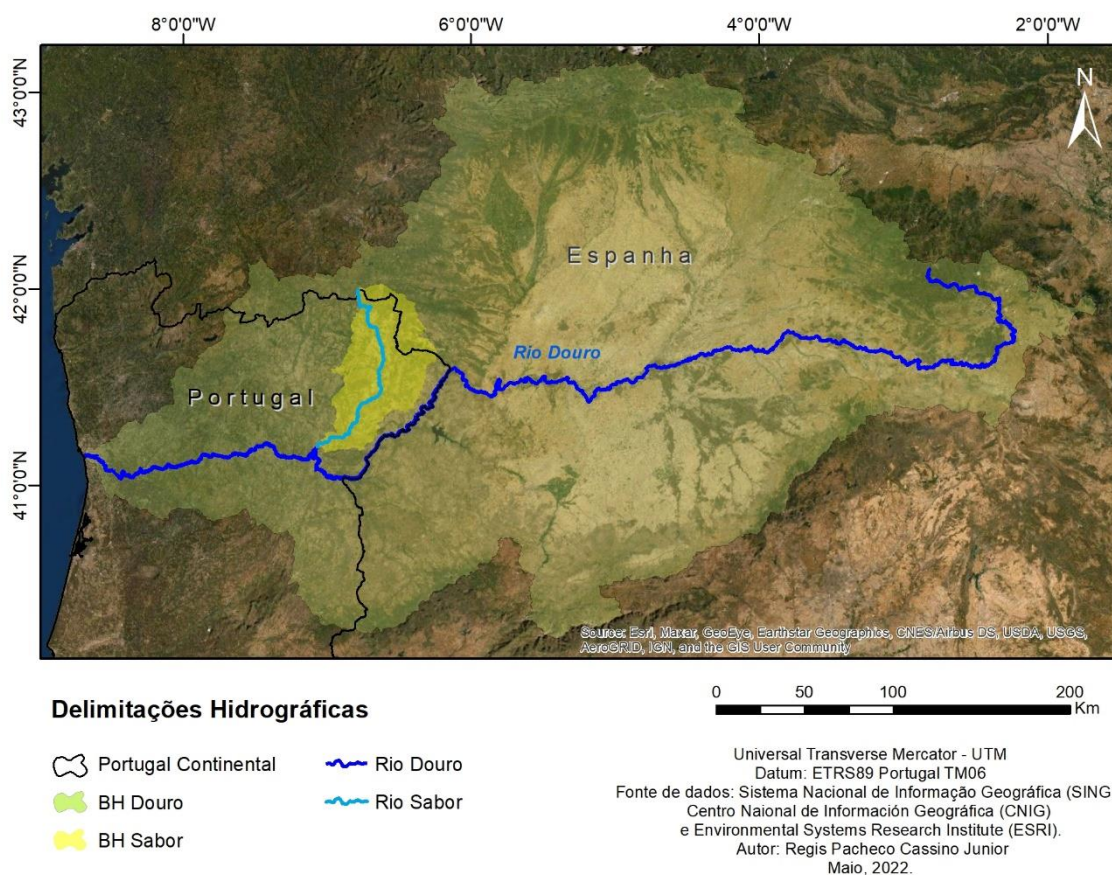


Figura 6. Região Hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Douro e do Rio Sabor.

O Rio Sabor nasce na Espanha e cruza a fronteira com Portugal na zona do Parque Natural do Montesinho, onde percorre cerca de 120 Km até sua foz localizada no Rio Douro. Sua bacia apresenta uma área de 3504 km² e engloba parcialmente o

conselho de Bragança (**Figura 7**), situado na região transmontana no nordeste de Portugal Continental (Vaz & Saraiva, 2007).

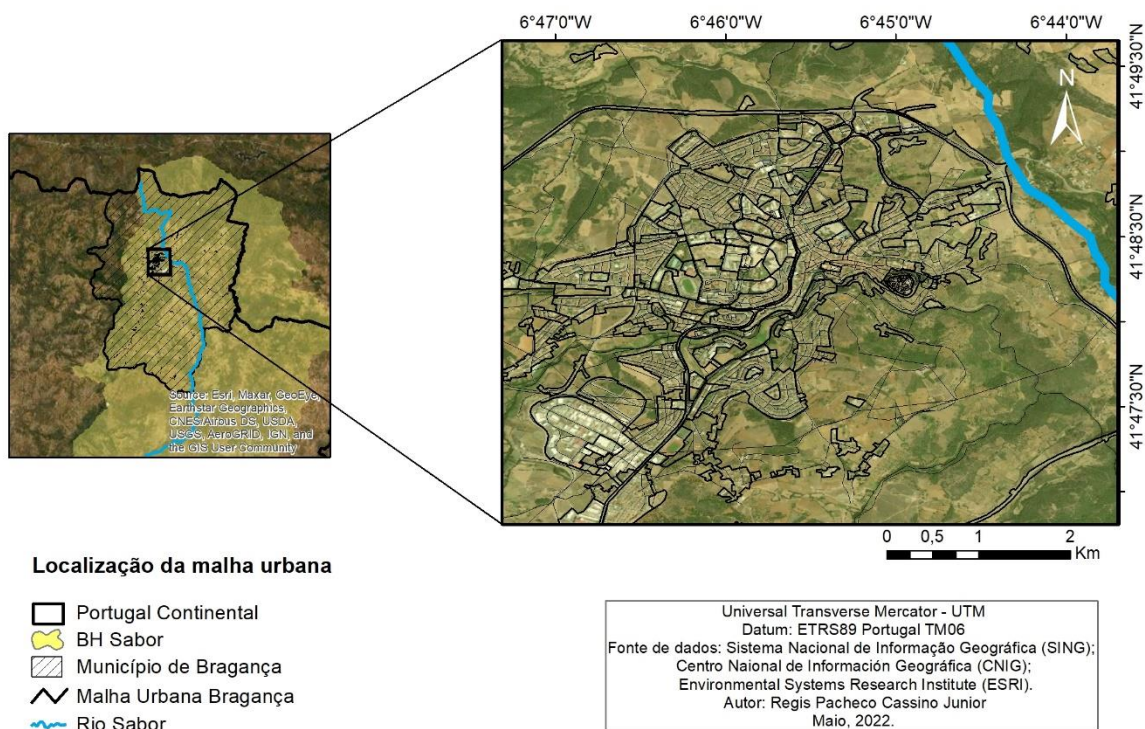


Figura 7. Malha urbana do município de Bragança.

O município de Bragança, inserido na região trasmontana portuguesa, apresenta área territorial de 1.173,5 km² composta por 39 freguesias atendendo um total populacional de 34.589 habitantes (Pordata, 2021). O clima da região apresenta baixa pluviosidade nos meses de julho e agosto, com características mediterrânicas. Fernandes (2002) retrata, para a cidade de Bragança, valores médios de temperatura e precipitação de 12,0 °C e 834,1 mm, respetivamente, durante a série de anos de 1931-1997.

3.2 Tratamento de dados cartográficos

Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento com o auxílio de *softwares* de sistema de informação geográfica (SIG) com o objetivo de obter o local estudado dentro da bacia do Rio Sabor, caracterizar o terreno e extrair informações: delimitação das áreas, altimetria, altura média do terreno, sentido do escoamento da água no terreno, as linhas da água com as suas respetivas ordens, analisar a topografia, bem como o relevo, o declive da área e o declive das linhas de água principais.

Para atingir estes objetivos no *software*, foi utilizado o *digital elevation model*

(DEM) – em português, Modelo Digital de Elevação do terreno (MDE) - em formato *raster* disponibilizado de forma gratuita pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), através do projeto *ALOS Global Digital Surface Model*, mais conhecido como *ALOS World 3D (AW3D)*. O projeto *AW3D* disponibiliza imagens MDE abrangendo todo o planeta com resolução de 30 x 30 metros e com sistemas de coordenadas *World Geodetic System 1984 (WGS1984)*.

Pré-processamentos no *raster* original foram realizados, sendo corrigido aqueles pixels que não possuíam valor de altimetria. Para corrigir as depressões espúrias no terreno foi utilizada a ferramenta *fill*, auxiliando no preenchimento da altimetria através de técnicas para identificar e preencher sumidouros (ESRI, 2021). Com o intuito de padronizar todo sistema de projeção, foram utilizados o sistema de referência geodésico WGS 1984 e *ETRS 1989 Portugal-TM06* para todos arquivos utilizados no GIS.

Realizaram-se pré-processamentos, a fim de corrigir possíveis erros no *raster* original, dessa forma, a ferramenta *fill* foi utilizada para o preenchimento das depressões espúrias no terreno e também, para padronizar o sistema de projeção para o fuso de Portugal continental, foi realizada a projeção do *raster*, transformando-o de *WGS1984* para *ETRS 1989 Portugal-TM06*.

3.2.1 Extração de dados hidrográficos

Para se obter os dados referentes a hidrografia, primeiramente, recortou-se o *raster* utilizando o polígono do município de Bragança como camada de máscara e, posteriormente, foi realizado o *flow direction*, responsável por demonstrar a direção de fluxo de escoamento da água e, conseqüentemente, o *flow accumulation*, que atribuiu valor 1 para os pixels onde o fluxo de água se acumula no terreno e 0 para os demais, formando assim, a rede de drenagem do terreno. Após a obtenção da rede de drenagem, os cursos de água foram classificados de acordo com sua ordem a partir da ferramenta *stream order*.

Foi recorrido a ferramenta *slope* para extrair os valores de declividade para cada pixel do *raster* do município de Bragança. Esses valores foram posteriormente utilizados para identificar a declividade das linhas de água, a partir da multiplicação (ferramenta *raster calculator*) entre os valores de *slope* e *flow accumulation*.

3.2.2 Seleção da Bacia hidrográfica de estudo

A escolha da Bacia hidrográfica dentro da zona urbana da cidade de Bragança foi baseada na carta do Plano Diretor Municipal (PDM), disponível de forma pública e gratuita no sítio virtual da Câmara Municipal de Bragança. Foi investigada de acordo com os apontamentos do PDM, uma área que possuía zonas de urbanização programada, com possíveis intervenções e expansão. Somado a isso, foram avaliadas quais áreas detinham maior importância hidrográfica para a zona urbana da cidade, utilizando os dados de hidrografia extraídos na secção 3.2.1, dando a preferência para essas áreas.

Após a investigação, foi escolhido um ponto de exutório próximo ao Rio Sabor, no *shapefile* da rede de drenagem da cidade e, através da ferramenta *watershed*, combinou-se o ponto exutório com o *raster* de *flow direction*, resultando na delimitação de uma bacia hidrográfica situada na região nordeste de Bragança (**Figura 8**). A área abrangida pela bacia escolhida apresentou capacidade de expansão, com possibilidade de mudanças no terreno, o que permitiu o estabelecimento de diversos cenários no uso e ocupação de solo, avaliando-se os diferentes caudais de ponta gerados.

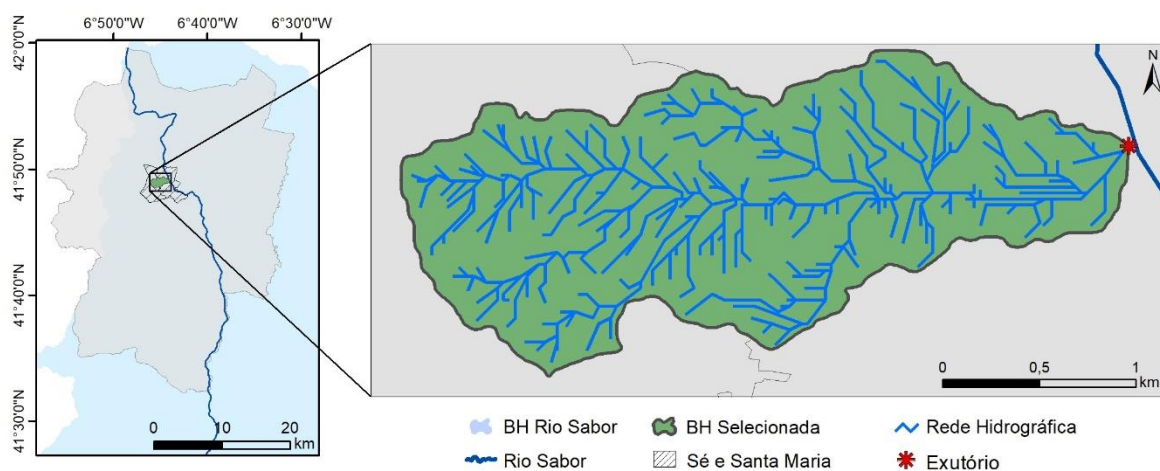


Figura 8. Seleção da bacia hidrográfica em estudo.

A bacia hidrográfica, está inserida na zona urbana de Bragança e abrange parte das freguesias Sé e Santa Maria. Possui uma área de aproximadamente 2,84 km² com altitudes que variam entre 575-743 metros e declividade média de 9,7%. Sua rede hidrográfica (**Figura 9**) é formada por um rio principal de 4ª ordem de 2,228 km de comprimento que desemboca diretamente no Rio Sabor e apresenta 34 afluentes de ordem inferior, que somam 8,973 km de comprimento. Dessa maneira, a rede hidrográfica da área de estudo possui o total de 11,201 km de extensão.

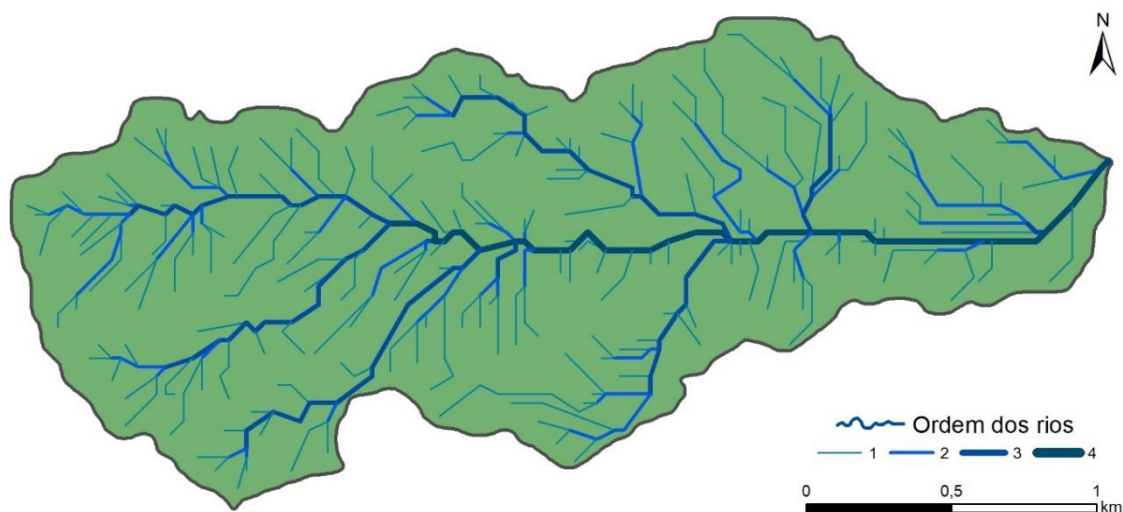


Figura 9. Rio principal e seus afluentes.

3.2.3 Sub-bacias hidrográficas

O critério de escolha das sub-bacias (SB) hidrográficas se deu pela análise do rio principal da bacia e, em sequência, pela seleção dos afluentes de maior ordem (3ª) presentes na bacia. Posteriormente, pretendeu-se subdividir as sub-bacias de 3ª ordem em sub-bacias menores, contudo, a baixa resolução do *raster*, impediu tal procedimento. À vista disso, optou-se por selecionar apenas as sub-bacias geradas pelos afluentes do rio de 4ª ordem, culminando na simplificação da rede de drenagem da bacia. Portanto, cada um dos afluentes do rio de 4ª ordem correspondeu à uma sub-bacia hidrográfica de ordem similar à de sua linha de água principal, resultando na seleção de 34 sub-bacias, sendo elas: dezesseis de 1ª ordem, nove de 2ª ordem e nove de 3ª ordem (**Figura 10**).

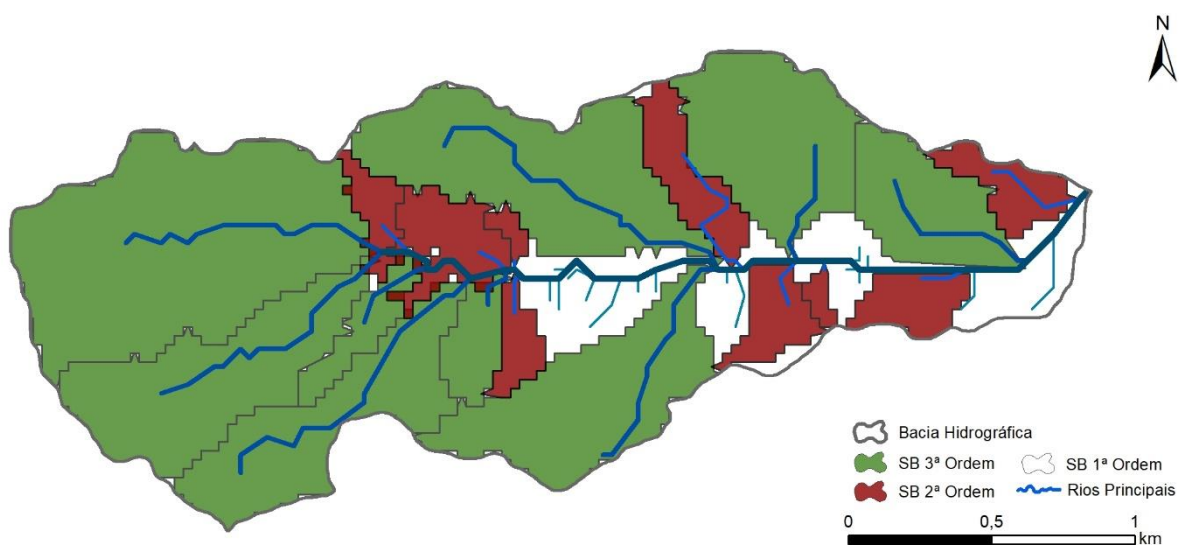


Figura 10. Divisão das sub-bacias e seus rios principais.

Para todas as sub-bacias, foram aferidos dados de área, altimetria, comprimento e declividade do rio principal, individualmente. Entretanto, para extrair os valores de área das sub-bacias de 1ª ordem, foi necessário realizar a diferença entre a área total da bacia e a somatória das áreas das sub-bacias de 2ª e 3ª ordem, calculando a média ponderada da quantidade de afluentes de 1ª ordem, ponderando-a com relação ao comprimento dos afluentes.

3.3 Método SCS-CN

O método hidrológico de modelagem *Soil conservation Service – Curve Number* (SCS-CN) é um método utilizado para simular as características de escoamento superficial, desenvolvido pelo departamento de agricultura dos estados unidos (United States et al., 1986). Diversos autores utilizam este método para os cálculos hidrológicos em bacias hidrológicas urbanas (Yao et al., 2018; Fang et al., 2020; Zuo et al., 2016).

M. Kang & Yoo (2020), Xiao et al. (2011) e Kadam et al. (2012) utilizaram o SCS-CN para cálculos hidrológicos em bacias hidrográficas pequenas (menores que 40 km²), sendo que no trabalho desenvolvido por Kadam et al. (2012), os autores afirmam que o método é ainda mais vantajoso quando integrados com ferramentas de SIG, pois assim, a previsão do escoamento é feita de forma mais precisa e exata, o que melhora a gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, o método SCS-CN foi utilizado para calcular os caudais de ponta, com o objetivo de se obter a previsão das cheias na bacia hidrográfica.

Antes do desenvolvimento dos cálculos, as sub-bacias foram nomeadas e representadas por troços de ligação com o rio principal da bacia (**Apêndice 1**). Os troços foram enumerados seguindo o sentido do fluxo de água na bacia, de montante à jusante. A planilha de cálculo para a aplicação do método SCS-CN foi desenvolvida no *software* Excel. Com a finalidade de facilitar os cálculos, as sub-bacias foram organizadas nas linhas de grade da planilha, enquanto as características fisiográficas individuais (extraídas a partir de ferramentas SIG) são representadas em colunas.

Desta maneira, as variáveis ficaram organizadas conforme a **Tabela 1**, possibilitando calcular, nas colunas seguintes, o tempo de concentração da bacia (t_c), tempo de crescimento (t_p), ou tempo para a ponta, altura da precipitação total (h), perdas iniciais (h_o), altura da precipitação útil (h_u) correspondente, o caudal de ponta

(Q_p) para cada sub-bacia e, na última coluna dos cálculos, o valor do caudal de ponta acumulado, representando no ultimo troço, o caudal de ponta de ponta no exutório.

Tabela 1. Exemplificação da organização dos dados para a planilha de cálculos.

	TROÇO		ÁREA (KM ²)	DECLIV RIO (%)	COMP RIO (KM)	ALTI MIN (M)	ALTI MÉD (M)	H (M)
OR3_SB1	1	2	0,54	4,00	0,80	658,00	693,58	35,58
OR3_SB2	2	3	0,26	6,27	0,86	659,00	706,45	47,45
OR4_SB1	3	5	---	---	0,07	---	---	---
OR2_SB1	4	5	0,04	4,09	0,12	657,00	667,84	10,84
4ª ORDEM	5	7	---	---	0,09	---	---	---
OR3_SB3	6	7	0,05	8,03	0,27	652,00	676,30	24,30
4ª ORDEM	7	9	---	---	0,16	---	---	---
OR3_SB4	8	9	0,23	7,00	1,03	649,00	698,41	49,41
4ª ORDEM	9	12	---	---	0,10	---	---	---
OR2_SB2	10	12	0,11	6,52	0,09	639,00	655,56	16,56
OR3_SB5	11	12	0,05	7,96	0,15	640,00	666,70	26,70
4ª ORDEM	12	14	---	---	0,02	---	---	---
OR2_SB3	13	14	0,01	4,17	0,03	640,00	652,71	12,71
4ª ORDEM	14	16	---	---	0,04	---	---	---
OR2_SB4	15	16	0,03	8,18	0,15	639,00	668,82	29,82
4ª ORDEM	16	18	---	---	0,07	---	---	---
OR1_SB1	17	18	0,02	14,67	0,08	637,00	644,75	7,75

Nota: OR – Ordem da sub-bacia; SB – Sub-bacia.

3.3.1 Tempo de concentração (t_c)

Para obter o tempo de concentração da bacia (t_c), em horas, foi utilizada a fórmula cinemática de Giandotti (1953), descrita pela Equação 1.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}} \quad (1)$$

A representa a área da bacia em Km², que abrange o rio principal de comprimento L (km) e H representa a altura média da bacia (m).

3.3.2 Tempo de crescimento (t_p)

A fim de determinar o tempo necessário para a curva de crescimento do hidrograma de cheia atingir o valor de pico, obteve-se o tempo de crescimento, em horas, através da Equação 2.

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + 0,6 t_c \quad (2)$$

Onde t_r é o tempo de duração da precipitação útil em horas.

Rodrigues et al. (2011) relatam que, para os cálculos deve-se levar em conta a ocorrência de uma chuvada crítica, dessa forma o tempo de precipitação útil (t_r) deve ser maior ou igual ao tempo de concentração (t_c), da bacia:

$$t_r \geq t_c \quad (3)$$

Aplicando a igualdade do tempo de precipitação útil com o tempo de concentração e, substituindo a Equação 3 na Equação 2, resulta-se na Equação 4.

$$t_p = 1,1 t_c \quad (4)$$

Outro fator que interfere diretamente no t_p é o tempo de percurso (t_{pc}), que representa o tempo necessário para a água escoar de montante à jusante no troço. Assim, o t_{pc} foi calculado e somado com o t_c , afim de se obter o valor mais preciso para o t_p , originando a Equação 5.

$$t_p = 1,1 (t_c + t_{pc}) \quad (5)$$

3.3.3 Número de escoamento (N)

O número de escoamento (N) é estritamente dependente do tipo hidrológico do solo, do uso e ocupação e, de suas condições de superfície, conhecidas como “*antecedent moisture conditions*” (AMC) (Lencastre & Franco, 2006).

Os autores citam quatro tipos de classificação hidrológica do solo perante o método SCS, o solo é classificado de “A” a “D” de acordo com seu potencial de escoamento superficial.

- Tipo A: Baixo potencial de escoamento superficial, são solos que mesmo totalmente humedecidos, apresentam alta permeabilidade, como areias profundas;

- Tipo B: Potencial de escoamento superficial abaixo da média, são solos que quando totalmente humedecidos, apresentam permeabilidade moderada, sua textura é parcialmente fina e parcialmente grossa;
- Tipo C: Potencial de escoamento superficial acima da média, são solos que quando totalmente humedecidos, apresentam baixa permeabilidade, estes solos possuem camadas profundas impermeáveis e textura relativamente fina;
- Tipo D: Potencial de escoamento superficial elevado, são solos que quando totalmente humedecidos, apresentam capacidade de infiltração muito baixa, geralmente são solos argilosos, com o lençol freático e camadas impermeáveis próximos da superfície.

Okada (2019) desenvolveu cartas do tipo hidrológico do solo para a Bacia do Rio Sabor, através de ferramentas SIG, o que possibilitou identificar o tipo hidrológico de solo C para a zona urbana do município de Bragança, o que permitiu a utilização deste tipo hidrológico de solo como referência.

Com o objetivo de analisar a configuração atual do uso e ocupação do solo em cada sub-bacia, elas foram projetadas sobre o *basemap* do *software* SIG, o qual representa o terreno atual e, a partir da grade de pixels das sub-bacias, foi possível extrair as percentagens das tipologias de uso e ocupação de solo para cada área de interesse. O mesmo ocorreu com o PDM, onde a carta foi transformada em arquivo “.TIF” para ser compatível com o *software* e, conseqüentemente projetado sob as microbacias para estimar o planejamento de uso do solo de acordo com a Câmara Municipal de Bragança. Além do tipo hidrológico e do uso e ocupação do solo, o número de escoamento também depende da AMC, exemplificada na **Tabela 2**.

Tabela 2. Conversão do número de escoamento em AMC.

AMC											
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
100	100	100	63	80	91	40	60	78	22	40	60
97	99	100	62	79	91	39	59	77	21	39	59
94	98	99	60	78	90	38	58	76	21	38	58
91	97	99	59	77	89	37	57	75	20	37	57
89	96	99	58	76	89	36	56	75	19	36	56
87	95	98	57	75	88	35	55	74	18	35	55
85	94	98	55	74	88	34	54	73	18	34	54
83	93	98	54	73	87	33	53	72	17	33	53
81	92	97	53	72	86	32	52	71	16	32	52
80	91	97	52	71	86	31	51	70	16	31	51
78	90	96	51	70	85	31	50	70	15	30	50
76	89	96	50	69	84	30	49	69	12	25	43
75	88	95	48	68	84	29	48	68	9	20	37
73	87	95	47	67	83	28	47	67	6	15	30
72	86	94	46	66	82	27	46	66	4	10	22
70	85	94	45	65	82	26	45	65	2	5	13
68	84	93	44	64	81	25	44	64	0	0	0
67	83	93	43	63	80	25	43	63			
66	82	92	42	62	79	24	42	62			
64	81	92	41	61	78	23	41	61			

Fonte: Adaptado de Lencastre e Franco (2006).

Para calcular o caudal de ponta da bacia em situação de cheia, Lencastre e Franco (2006), indicam considerar as condições de AMC-III, uma vez que esta apresenta um maior humedecimento do solo em relação as demais, caracterizando um cenário mais crítico de cheia nos cálculos.

Por fim, para a obtenção do número de escoamento em cada sub-bacia, relacionou os valores de uso e ocupação, extraídos anteriormente, com a tabela (**Anexo 1**) proveniente da carta de uso e ocupação do solo de Portugal Continental (COS) e adaptada por Moreira (2017), que estabelece valores para N na AMC-II e, posteriormente foram convertidas em AMC-III de acordo com a **Tabela 2**. Ressalta-se que a COS 2015 apresenta a mesma classificação que a COS 2007 para o terceiro nível, que foi utilizado para a obtenção de N.

3.3.4 Altura da precipitação total (h)

A altura da precipitação total, deu-se a partir das curvas de intensidade e duração e frequência (IDF) pelo método proposto por Matos e Silva (1986), os quais

utilizaram as curvas IDF para Portugal Continental para as diferentes regiões pluviométricas, como representado na **Figura 11**.

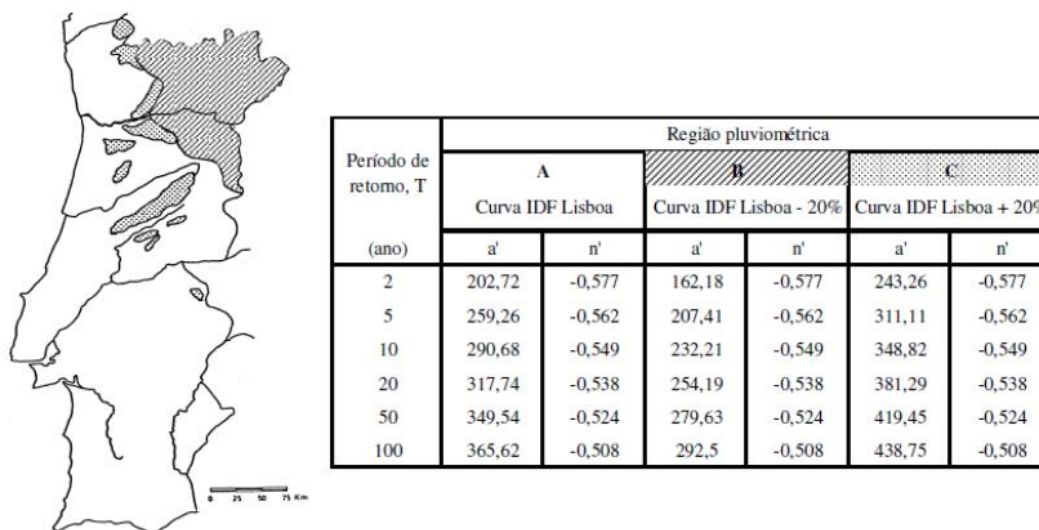


Figura 11. Regiões pluviométricas de Portugal Continental.
Fonte: Matos & Silva, 1986.

A bacia hidrográfica do Rio Sabor fica localizada na região pluviométrica B. Assim, com as Equações 6 e 7, foi possível obter os valores de intensidade pluviométrica (i), em milímetros por hora, e da altura da precipitação total (h), em milímetros, para os períodos de retorno (T) de 2, 10 e 100 anos, utilizando as respetivas constantes a' e n' para a região pluviométrica B.

$$i = a' t^{n'} \quad (6)$$

$$h = i t \quad (7)$$

Cabe ressaltar, que o valor utilizado para o tempo de precipitação (t), foi o tempo de concentração (t_c) obtido através da Equação 1, convertido em minutos e, assim, obteve-se h .

3.3.5 Perdas iniciais (h_o) e Altura da precipitação útil (h_u)

Após obter o número de escoamento (N), foi possível calcular as perdas iniciais (h_o) através da Equação 8.

$$h_o = \frac{5080}{N} - 50,8 \quad (8)$$

Cabe ressaltar que h_o é expresso em milímetros (mm) e equivale as perdas iniciais da precipitação antes do início do escoamento superficial. Em seguida, foi exequível realizar o cálculo da precipitação útil (h_u) correspondente à precipitação total (h) que atingiu a bacia, com a aplicação da Equação 9.

$$h_u = \frac{(h - h_o)^2}{h + 4 h_o} \quad (9)$$

Destaca-se que ao aplicar o cálculo de h_u , foi necessário realizar uma adaptação da equação 8, acrescentando um condicionante a fim de retirar erros causados pela presença da função quadrática nas diferenças entre h e h_o , assim, quando valores de h_o fossem superiores ao valor de h , a precipitação útil (h_u) passa a ser nula.

3.3.6 Caudal de ponta (Q_p)

Para o cálculo do caudal de ponta a partir do método SCS, utilizou-se a Equação 10, a qual depende da área (A) em km^2 , o tempo para ponta (t_p) em horas, da constante do fator de ponta (k) e da altura da precipitação útil (h_u).

$$Q_p = \frac{0,277 k A h_u}{t_p} \quad (10)$$

Lencastre e Franco (2006) retratam k varia acordo com o grau de declividade da bacia sendo 0,5 para bacias muito planas e 1 para bacias muito declivosas. Entretanto, foi utilizado o valor de 0,75 pois os autores fixam este fator nos cálculos habituais.

3.4 Construção dos cenários de simulação

Após a aplicação do método SCS-CN e a planilha de cálculo pronta, foram estabelecidos cenários, onde a única variável para o cálculo do caudal de ponta na bacia passou a ser o N . Primeiramente, foram construídos cenários exploratórios a fim de se entender melhor o funcionamento da resposta hidrológica na bacia hidrográfica, onde, a princípio foram utilizados valores extremos de N , urbanização completa ($N=99$) e cobertura florestal completa ($N=79$).

Estes valores de N foram comparados em cenários de diferentes percentagens de distribuição pela área da bacia, 100%, aproximadamente 50% e, em quartis de aproximadamente 25%, configurando-os em todas as possíveis posições entre montante, trecho médio e jusante. O que permitiu conferir a resposta hidrológica, evolução do caudal e o caudal de ponta no exutório da bacia perante as diferentes disposições do uso e ocupação do solo em cenários extremos.

Também foi conferida a resposta hidrológica da bacia diante do cenário atual, utilizando os valores de N extraídos através da análise do *basemap*. Estes dados foram utilizados como referência para os cenários seguintes, onde foi recorrido às informações do PDM.

No cenário configurado pelo PDM, estabeleceu-se um valor para o número de escoamento para cada classe das zonas de solo urbanizado, zonas de solo afecto à estrutura ecológica e zonas de urbanização programada. Nas áreas nas quais o PDM indicou como zonas de urbanização programada, foram realizadas simulações de urbanização, onde os cenários variaram gradualmente de extremamente urbanizados para zonas de áreas verdes urbanas.

Assim, com os valores obtidos, foram gerados gráficos comparando os resultados dos caudais entre os cenários e entre as diferentes disposições das manchas de urbanização na bacia, a fim de se explicar a influência da urbanização para o caudal de ponta e encontrar a melhor disposição de uso e ocupação do solo, nas áreas mutáveis segundo o PDM da Câmara Municipal de Bragança.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características das sub-bacias

Após realizar os processamentos através do *software* SIG e subdividir a bacia hidrográfica em sub-bacias, de acordo com suas respectivas ordens, extraíram-se as características fisiográficas de cada uma delas, separando-as, para melhor visualização, em grupos de: 1ª, 2ª e 3ª ordens. Também foi possível realizar as análises do uso e ocupação do solo, referentes tanto ao *basemap* (atual), quanto ao PDM e, conseqüentemente, distribuir os respectivos valores ponderados de N à cada uma delas.

4.1.1 Características fisiográficas

As **Tabela 3, 4 e 5** apontam as características fisiográficas extraídas das sub-bacias de 1ª, 2ª e 3ª ordem, respectivamente, que foram utilizados como dados introdutórios na planilha de cálculo, para realizar os cálculos do caudal de ponta através do método SCS-CN. As divisões das sub-bacias de 2ª e 3ª ordem, podem ser observadas nas **Figuras 12 e 13**.

Tabela 3. Características fisiográficas das sub-bacias (SB) de 1ª ordem.

	Sub-bacia	A (Km ²)	L (Km)	Alt. Méd. (m)	Alt. Mín. (m)	H (m)
Ordem 1	SB1	0,014	0,077	644,75	637	7,75
	SB2	0,019	0,108	647,20	635	12,20
	SB3	0,006	0,035	634,50	634	0,50
	SB4	0,017	0,094	629,75	622	7,75
	SB5	0,015	0,081	636,75	622	14,75
	SB6	0,035	0,192	642,20	618	24,20
	SB7	0,008	0,046	618,00	613	5,00
	SB8	0,014	0,077	615,25	612	3,25
	SB9	0,008	0,046	602	601	1,00
	SB10	0,037	0,206	613,00	601	12,00
	SB11	0,012	0,069	591,67	590	1,67
	SB12	0,006	0,035	590,50	590	0,50
	SB13	0,008	0,046	590,67	590	0,67
	SB14	0,008	0,046	590,50	590	0,50
	SB15	0,027	0,150	595,43	589	6,43
	SB16	0,051	0,281	593,36	581	12,36

Ao analisar as 16 sub-bacias de 1ª ordem, nota-se que a SB16 é a que apresenta o maior comprimento do rio principal (L), com 0,281 km de extensão, e consequentemente, a maior área de drenagem (A), com 0,051 km², por outro lado, as SB3 e SB12, apresentam a menor área e menor comprimento do rio principal (ambas com 0,006 km² e 0,012 km, respetivamente). Verifica-se também, que a sub-bacia com a maior altura média (H) é a SB6, com cerca de 24,20 metros de diferença entre a altitude média e mínima e, as sub-bacias com as menores alturas média são as SB3, SB12 e SB14, todas com 0,5 m.

Tabela 4. Características fisiográficas das sub-bacias (SB) de 2ª ordem.

	Sub-bacia	A (Km ²)	L (Km)	Alt. Méd. (m)	Alt. Mín. (m)	H (m)
Ordem 2	SB1	0,036	0,116	667,84	657	10,84
	SB2	0,106	0,094	655,56	639	16,56
	SB3	0,012	0,031	652,71	640	12,71
	SB4	0,035	0,147	668,82	639	29,82
	SB5	0,075	0,524	627,30	601	26,30
	SB6	0,053	0,172	616,73	594	22,73
	SB7	0,011	0,031	609,31	592	17,31
	SB8	0,056	0,125	606,41	589	17,41
	SB9	0,058	0,298	595,65	577	18,65

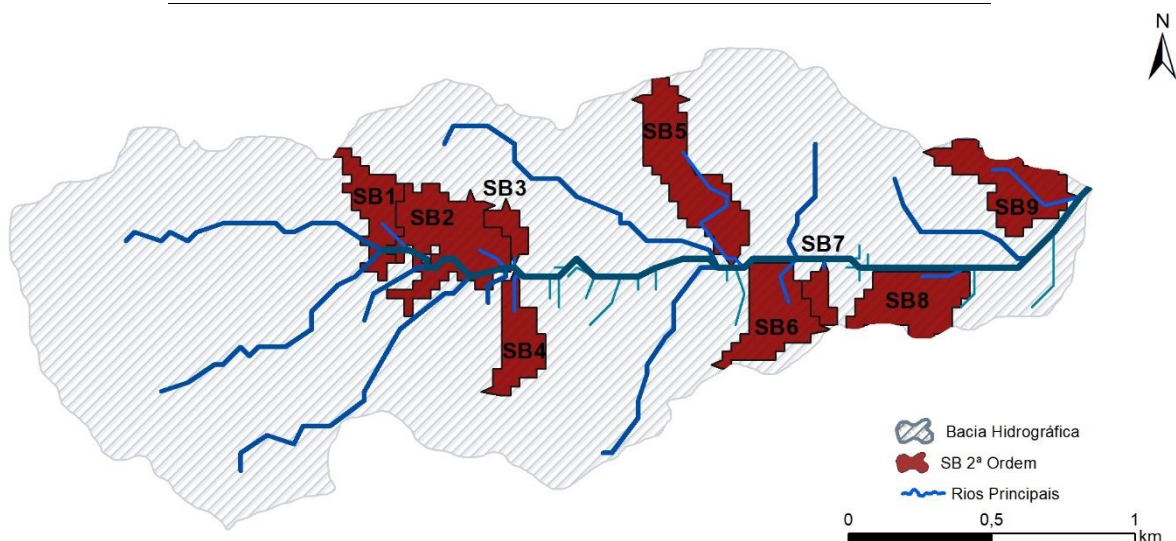


Figura 12. Distribuição das sub-bacias de 2ª ordem.

Em relação as sub-bacias de 2ª ordem, a que apresentou a maior área, foi a SB2, com aproximadamente 0,106 km², a sub-bacia que apresentou a maior linha de água, foi a SB5, com seu rio medindo 0,524 km desde onde ele passa a ser de 2ª ordem, até desembocar no rio principal da bacia. Com relação a altura média (H), a

SB4 é a que apresenta a maior variação entre a altitude média e mínima, apresentando 29,82 metros de altura média.

Tabela 5. Características fisiográficas das sub-bacias (SB) de 3ª ordem.

	Sub-bacia	A (Km ²)	L (Km)	Alt. Méd. (m)	Alt. Mín. (m)	H (m)
Ordem 3	SB1	0,541	0,796	693,58	658	35,58
	SB2	0,262	0,856	706,45	659	47,45
	SB3	0,052	0,266	676,30	652	24,30
	SB4	0,230	1,031	698,41	649	49,41
	SB5	0,054	0,148	666,70	640	26,70
	SB6	0,256	0,775	656,76	602	54,76
	SB7	0,326	1,032	649,57	602	47,57
	SB8	0,229	0,425	626,47	595	31,47
	SB9	0,138	0,516	601,35	589	12,35

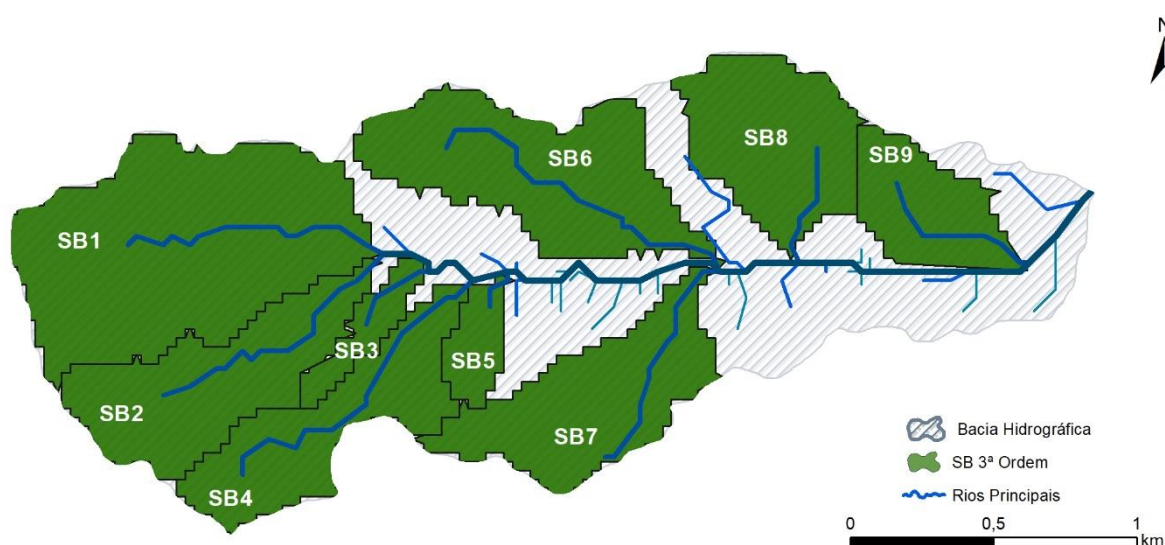


Figura 13. Distribuição das sub-bacias de 3ª ordem.

As sub-bacias de 3ª ordem, de modo geral, apresentaram maior área, comprimento do rio principal e altura média que as demais. Dentre elas, destacaram-se: a SB1 por apresentar a maior área de drenagem (0,541 km²), a SB4 e SB7 por apresentarem as maiores extensões do corpo hídrico principal (1,031 e 1,032 km) e a SB6 designa-se como a que apresenta a maior variação de altitude (54,76 m).

A área, o comprimento do rio principal e a altura média, interferem diretamente no resultado do tempo de concentração de cada uma das sub-bacias e, conseqüentemente, no tempo de concentração da bacia que as abrangem, desencadeando influencia direta no cálculo do caudal de ponta da bacia, visto que são variáveis que entram diretamente na sequência de cálculos do método SCS-CN (Lencastre & Franco, 2006).

Em seu estudo, de Almeida et al., 2021, promoveu análises multivariadas dos fatores que influenciam o pico de caudal e volume de escoamento em bacias hidrográficas, que apontaram que linhas de água extensas resultam numa melhor distribuição do volume de escoamento durante o evento de chuva. Os mesmos autores, encontraram relações para a altura média da (H), onde concluíram que os valores maiores, apontam para inclinações mais acentuadas para a bacia, o que apresentou forte correlação, através das análises de componentes principais (ACP), com os fluxos de pico de caudal e volume de escoamento.

Já Khan et al. (2019) avaliaram as tendências espaciais no escoamento superficial a partir de factores climáticos e fisiográficos e, em seu estudo, apontaram que a área da bacia hidrográfica é o fator fisiográfico que apresenta a maior correlação ao fluxo de água gerado, demonstrando que o fluxo de água gerado na bacia está intimamente ligado com a sua área de captação. Assim, quanto maior a área da bacia, maior será sua área de captação e, conseqüentemente, maior será a sua contribuição ao aumento do caudal da bacia.

4.1.2 *Uso do solo de acordo com o Basemap*

O *layer* da ferramenta *basemap*, disponível no *software* SIG, serviu de auxílio para realizar a extração das percentagens do tipo de uso e ocupação do solo no momento atual em cada uma das sub-bacias. Assim a **Tabela 6** apresenta as percentagens, individualmente para cada sub-bacia, das tipologias de uso e ocupação do solo identificadas, divididas em dois grandes grupos, onde o marcado em cinza representa cobertura por áreas urbanizadas e o marcado em verde, representa as áreas verdes identificadas.

Tabela 6. Distribuição em percentagem do uso e ocupação do solo nas sub-bacias de acordo com o *basemap*.

Sub Bacias	Áreas Urbana			Áreas Verdes						
	TUC	TUD	RDV	VHB	MTS	MTD	PQJ	FLT	SAF	
Ordem 3	SB1	0%	75%	0%	15%	0%	0%	0%	10%	0%
	SB2	0%	85%	0%	15%	0%	0%	0%	0%	0%
	SB3	90%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%
	SB4	50%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%
	SB5	20%	0%	0%	40%	40%	0%	0%	0%	0%
	SB6	0%	40%	0%	0%	30%	0%	0%	30%	0%
	SB7	0%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	70%
	SB8	0%	10%	5%	0%	55%	0%	0%	0%	30%
	SB9	0%	0%	20%	0%	65%	15%	0%	0%	0%
Ordem 2	SB1	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	SB2	0%	40%	0%	30%	0%	0%	30%	0%	0%
	SB3	40%	0%	0%	30%	30%	0%	0%	0%	0%
	SB4	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	70%
	SB5	0%	10%	0%	0%	90%	0%	0%	0%	0%
	SB6	0%	0%	20%	0%	80%	0%	0%	0%	0%
	SB7	0%	10%	0%	0%	90%	0%	0%	0%	0%
	SB8	0%	50%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%
	SB9	0%	0%	15%	0%	25%	0%	0%	60%	0%
Ordem 1	SB1	0%	30%	0%	0%	70%	0%	0%	0%	0%
	SB2	0%	30%	0%	0%	70%	0%	0%	0%	0%
	SB3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
	SB4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
	SB5	0%	30%	0%	0%	70%	0%	0%	0%	0%
	SB6	0%	30%	0%	0%	70%	0%	0%	0%	0%
	SB7	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
	SB8	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
	SB9	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
	SB10	0%	0%	10%	0%	90%	0%	0%	0%	0%
	SB11	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
	SB12	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
	SB13	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
	SB14	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
	SB15	50%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	SB16	0%	0%	40%	0%	60%	0%	0%	0%	0%

O *basemap* apontou que há grande ocorrência de zonas verdes ou áreas ainda não ocupadas com edificações ou pavimentação na bacia de estudo. Cerca de 52,1% da área da bacia foi reconhecida como zonas verdes, sendo distinguidas entre si por: vegetação herbácea (VHB), matos (MTS), matos densos (MTD), parques e jardins (PQJ), florestas (FLT) ou por sistemas agroflorestais (SAF) e, 47,9% da área foi apontada como zonas onde apresentam edificações ou ocupação urbana, assimiladas como: tecido urbano contínuo (TUC), tecido urbano descontínuo (TUD) e redes viárias (RDV).

A partir da identificação das classes de uso e ocupação do solo no cenário do

basemap, cada classe foi correspondida a um número de escoamento (N), representado convertido em AMC-III na **Tabela 7**, que foram ponderados relativamente as suas percentagens de ocupação na área, assim, cada sub-bacia apresentou seu N individual, sendo possível observar sua distribuição por toda a bacia hidrográfica na **Figura 14**, a qual varia gradualmente do verde escuro ao vermelho, apontando cores frias para os menores valores de N e cores quentes para os maiores.

Tabela 7. Valores do número de escoamento (N) para cada classe identificada no *basemap*.

Áreas Urbanas			Áreas Verdes					
TUC	TUD	RDV	VHB	MTS	MTD	PQJ	FLR	SAF
99	93	97	91	86	65	90	79	91

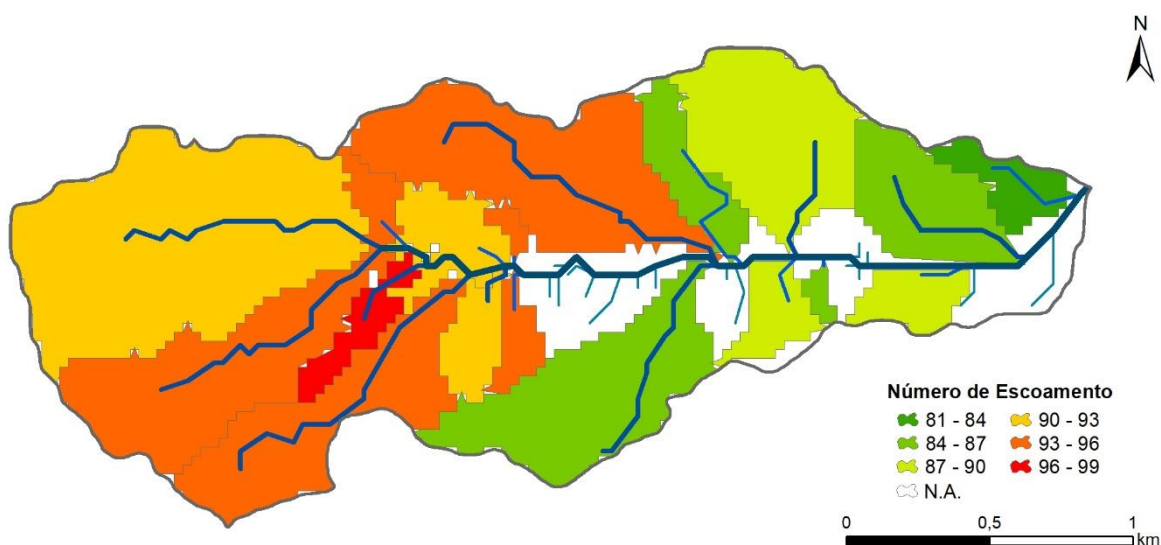


Figura 14. Distribuição do número de escoamento (N) baseado no *basemap*.

Nota-se que os maiores valores de N se encontram mais concentrados do trecho superior ao médio da bacia, visto que é a parte na qual se concentra a aglomeração urbana, salienta-se também, que as bacias marcadas em laranja e amarelo presentes nesta secção mais urbanizada, acabaram por não ser totalmente vermelhas (N = 96-99) devido a presença de jardins, áreas com vegetação rasteira e algumas árvores presentes em meio ao aglomerado urbano.

Já a secção do trecho médio para o trecho mais próximo ao exutório, foram marcadas com cores mais frias, onde predominam-se as áreas livres, parques/jardins e quintas, as quais apresentam bastante vegetação rasteira, arbustiva e algumas florestas. Cabe frisar que as áreas em branco (N.A.) não foram possíveis de retratar na **Figura 14**, por conta da dificuldade da divisão da área para as sub-bacias de 1ª ordem, entretanto, foram distribuídas as percentagens das classes de uso e ocupação do solo (**Tabela 6**), as quais predominaram classes de área verde, pois estas

pequenas linhas de água de 1ª ordem, estão maioritariamente localizadas nas faixas de vegetação que acompanham o rio principal da bacia.

4.1.3 Uso do solo de acordo com o Plano Diretor Municipal

Utilizando a carta do PDM, convertida e georreferenciada para a bacia hidrográfica em estudo, extraíram-se as percentagens do uso e ocupação do solo (**Tabela 8**) apontados como urbanizado (cinza), como urbanização programada (laranja), zonas destinadas à ecologia (verde) e zonas onde o PDM não apresentou dados (S.D).

Tabela 8. Distribuição em percentagem do uso e ocupação do solo nas sub-bacias de acordo com o PDM.

Sub Bacias	Solo Urbanizado				Urbanização Programada				Ecol Urbana		S.D	
	CSL	PCT	AMZ	EQT	EUM	EUB	EQP	PCP	PTC	ZVD		
Ordem 3	SB1	50%	10%	4%	4%	20%	10%	2%	0%	0%	0%	0%
	SB2	40%	0%	0%	30%	10%	0%	15%	0%	0%	5%	0%
	SB3	30%	40%	15%	5%	5%	0%	5%	0%	0%	0%	0%
	SB4	15%	20%	0%	25%	20%	0%	10%	0%	0%	10%	0%
	SB5	30%	0%	0%	0%	35%	30%	0%	0%	0%	5%	0%
	SB6	10%	0%	0%	40%	2%	20%	0%	0%	3%	25%	0%
	SB7	15%	20%	0%	10%	10%	0%	10%	0%	0%	35%	0%
	SB8	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	70%	0%	0%	20%
	SB9	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	60%	12%	0%	25%
Ordem 2	SB1	45%	20%	0%	0%	30%	0%	0%	0%	0%	5%	0%
	SB2	10%	30%	0%	0%	10%	5%	0%	0%	10%	35%	0%
	SB3	10%	0%	0%	0%	70%	0%	0%	0%	5%	15%	0%
	SB4	50%	0%	0%	0%	0%	40%	0%	0%	5%	5%	0%
	SB5	0%	0%	0%	20%	0%	0%	10%	60%	10%	0%	0%
	SB6	0%	10%	0%	0%	25%	15%	0%	0%	15%	35%	0%
	SB7	0%	20%	0%	0%	0%	15%	0%	0%	15%	50%	0%
	SB8	0%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%
	SB9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Ordem 1	SB1	5%	0%	0%	0%	0%	90%	0%	0%	5%	0%	0%
	SB2	5%	0%	0%	0%	0%	90%	0%	0%	5%	0%	0%
	SB3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
	SB4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
	SB5	5%	0%	0%	0%	0%	90%	0%	0%	5%	0%	0%
	SB6	0%	0%	0%	0%	0%	70%	0%	0%	15%	15%	0%
	SB7	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	30%	70%	0%
	SB8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	30%	70%	0%
	SB9	20%	0%	0%	0%	40%	0%	0%	0%	20%	20%	0%
	SB10	20%	0%	0%	0%	40%	0%	0%	0%	20%	20%	0%
	SB11	5%	10%	0%	0%	0%	5%	0%	40%	30%	10%	0%
	SB12	5%	10%	0%	0%	0%	5%	0%	40%	30%	10%	0%
	SB13	5%	10%	0%	0%	0%	5%	0%	40%	30%	10%	0%
	SB14	5%	10%	0%	0%	0%	5%	0%	40%	30%	10%	0%
	SB15	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	SB16	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	60%

As zonas onde o PDM apontou como urbanizado, correspondeu à 44,4% da área total da bacia, subdivididas entre as classes: urbanização consolidada (CSL), zonas de preenchimento (PCT), armazéns (AMZ) e zonas de equipamento (EQT). As áreas destinadas à ecologia urbana, somaram um total de 16,2% da área da bacia, representando as áreas de proteção (PTC) e as zonas verdes (ZVD). Já os locais nos quais o PDM não forneceu informações (S.D), representaram aproximadamente 6% da área total da bacia hidrográfica. Ressalta-se que estas 3 classificações são fixas na bacia e não passaram por alterações nos cenários de simulação, visto que já estão consolidadas e não apresentam indícios de alterações segundo o PDM.

Por outro lado, a cobertura das zonas de urbanização programada representou 33,4% da área total, as quais apresentaram 4 classes distintas: expansão urbana de média densidade (EUM - 10,4% da área total da bacia), expansão urbana de baixa densidade (EUB - 8,4% da área total), zonas de equipamento programado (EQP - 3,8% da área total) e zonas de preenchimento programado (PCP - 10,7% da área total). Estas zonas foram utilizadas para simular os diferentes usos de solo e comparar os respetivos caudais gerados.

Todas as classes identificadas foram associadas ao **Anexo 1** e convertidos para as condições AMC-III, possibilitando estabelecer um valor de N para cada classificação do tipo e uso do solo do PDM (**Tabela 9**) e, ponderar estes valores de acordo com sua percentagem em cada sub-bacia, onde sua distribuição por toda bacia hidrográfica, pode ser observada na **Figura 15**.

Tabela 9. Valores do número de escoamento (N) para cada classe identificada no PDM.

Solo Urbanizado				Urbanização Programada				Ecol Urbana		S.D
CSL	PCT	AMZ	EQP	EUM	EUB	EQP	PCT	PTC	ZVD	
99	93	97	93	93	91	93	91	79	86	86

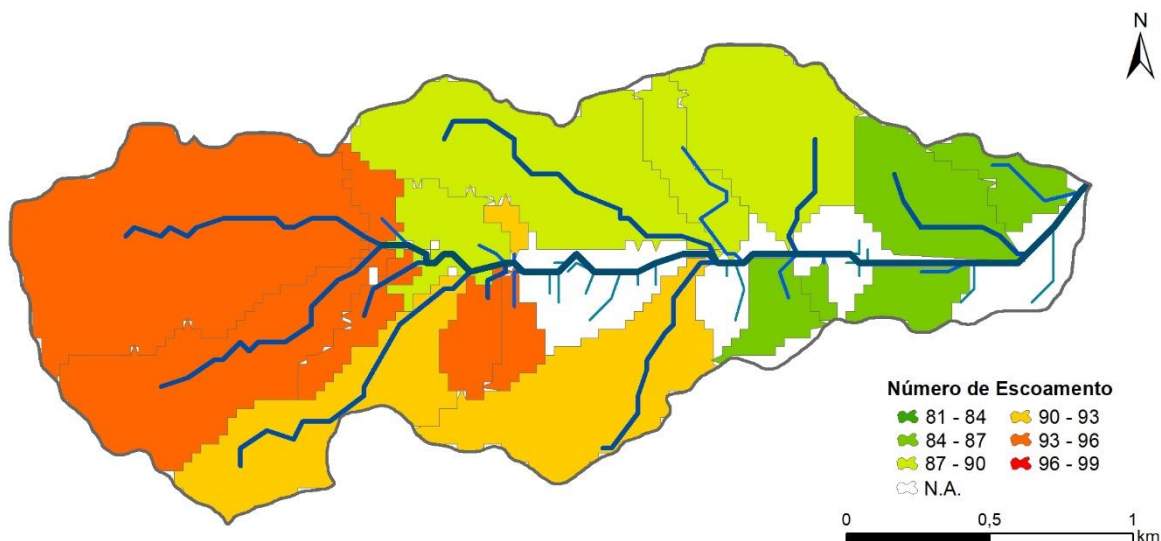


Figura 15. Distribuição do número de escoamento (N) baseado no PDM.

Assim como no caso do *basemap*, a distribuição do N na bacia hidrográfica relativa ao PDM, apresentou maiores valores nos trechos superiores e menores nos inferiores, diferenciando-se apenas nos locais onde já estão sancionadas algumas alterações (porém não apontadas pelo *layer* do *basemap*), ou em zonas onde as alterações estão previstas para o futuro. As regiões mais próximas do exutório da bacia e da linha de água principal, são as regiões protegidas como áreas de ecologia urbana, e também, zonas onde o PDM não apresentou dados (S.D), para estes últimos, foram atribuídos valores de $N=86$, visto que nestes locais, não há alguma previsão pela Câmara Municipal de Bragança para o uso do solo, portanto a propensão é de se tornarem zonas de matos.

4.2 Caudais de ponta exploratórios

Afim de entender a resposta hidrológica da bacia hidrográfica em estudo, antes de se realizarem as simulações de acordo com as possíveis mudanças apontadas no PDM, foram realizadas simulações com cenários extremos para o número de escoamento (N), onde foram comparadas situações com $N=99$ (urbanização densa) e $N=79$ (florestas) em diferentes coberturas da área: cobertura integral (100%) e cobertura parcial (50%), alterando nesta última, todas as disposições possíveis onde a área esteve coberta 50% por florestas e 50% por urbanização densa.

4.2.1 Cobertura extrema integral (100%)

Após atribuir os valores extremos do número de escoamento, de forma integral para todas as sub-bacias, os caudais de ponta no exutório (Q_p) foram comparados diante dos três períodos de retorno (T). Também foram geradas as equações da reta em escala logarítmica, onde foi possível analisar as inclinações de reta (M) e compará-las, realizando a razão entre os dois diferentes cenários de cobertura (**Tabela 10**).

Tabela 10. Caudal de ponta (Q_p), inclinação da reta (M) e razão comparando os dois cenários extremos de cobertura integral.

T (anos)	Qp (m ³ /s)		M		Razão (99/79)	
	N=79	N=99	N=79	N=99	Qp	M
2	0,001	7,229	0,00001	1,959	6441,52	195920,00
10	0,321	12,485	0,064	3,385	38,91	52,81
100	1,769	19,036	0,406	5,146	10,76	12,67

De modo geral, nota-se que os valores de Q_p para o N que representa o coberto florestal é muito inferior ao caudal gerado no cenário de urbanização densa. Entretanto, neste caso, destacam-se as diferenças entre a variação dos períodos de retorno. Para $T = 2$ anos, a razão entre o Q_p para os cenários, está na casa dos milhares, já quando T passa a ser 10 e 100 anos, esta razão cai para a casa das dezenas. O mesmo ocorre quando se observa a inclinação da reta, esta que no período de retorno de dois anos, apresenta razão de 10^5 que passa a ser 10^1 quando $T=10$ e 100 anos.

Isso se explica, pois, o número de escoamento apresenta influencia direta no valor das perdas iniciais (h_o) utilizadas durante o processo dos cálculos (Equação 8) e, quando estas são maiores que o valor da altura da precipitação total (h), resulta em uma altura de precipitação útil (h_u) nula, o que, significa, conseqüentemente, que a superfície reteve o total de precipitação gerada naquele dado período de retorno, impossibilitando a ocorrência de escoamento superficial, não havendo incremento no caudal de ponta. Assim, para valores maiores de T, a intensidade da precipitação (i) resulta num valor maior de h , o que pode permitir a ocorrência de escoamento, fato este que explica o decréscimo da razão entre os caudais de ponta dos cenários quando o T aumenta.

Para demonstrar o efeito do aumento do caudal no decorrer do rio principal da bacia hidrográfica nestes dois cenários extremos, foi desenvolvido um gráfico (**Figura 16**), onde a linha vermelha contínua representa a evolução do caudal no decorrer da

bacia para N=99, a linha verde contínua representa a evolução do caudal para N=79 e, os pontos simbolizam a contribuição de uma ou mais sub-bacias para o caudal do rio de 4ª ordem.

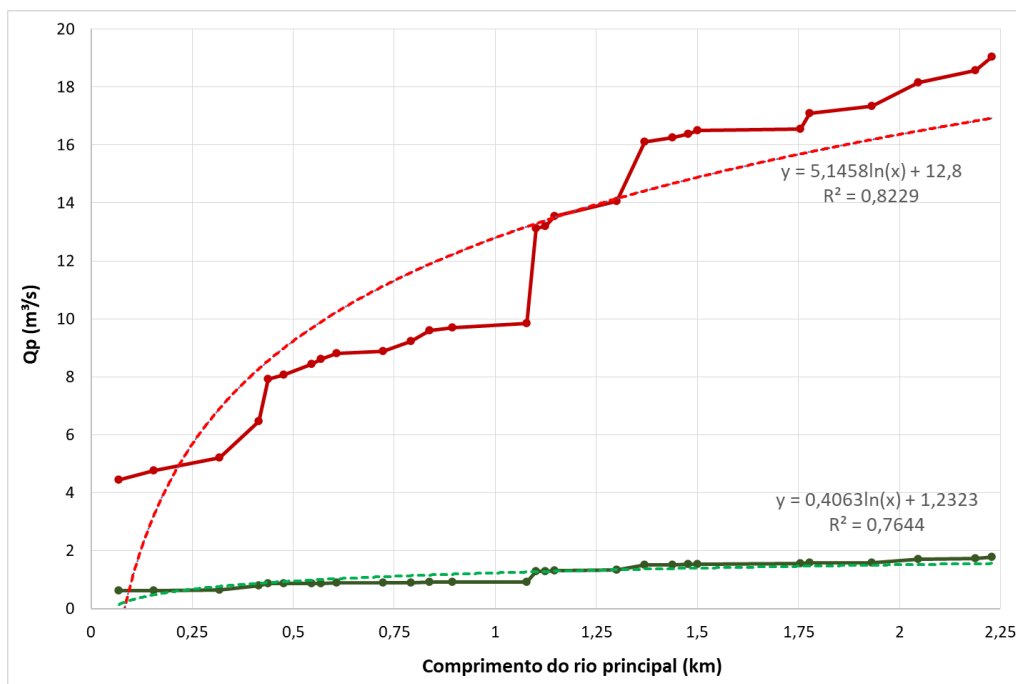


Figura 16. Evolução do Qp no rio principal, para T = 100 anos, nos cenários extremos de cobertura integral.

Os saltos verticais presentes na **Figura 16** estão intimamente ligados à contribuição de caudal de grandes sub-bacias ou até mesmo de duas sub-bacias que se encontram no mesmo ponto do rio principal, como é o caso das SB6 e SB7 de ordem 3, que se encontram aproximadamente no comprimento de 1,08 km do rio principal e, que juntas, apresentam áreas de contribuição consideráveis (aproximadamente 20% da área total da bacia) resultando num grande incremento para o caudal no rio de 4ª ordem.

4.2.2 Cobertura extrema parcial (50%)

Avaliaram-se também as diferentes disposições da cobertura extrema de forma parcial na bacia hidrográfica, onde a área total da bacia esteve coberta 50% por urbanização densa e 50% por florestas, modificando entre si, apenas a posição da bacia na qual estas coberturas prevaleceram. A **Figura 17** apresenta um gráfico de barras que aponta o caudal de ponta no exutório da bacia para as coberturas 100% urbana (URB), 50% floresta no trecho superior (FTS), 50% urbano no trecho superior (UTS) e 100% floresta (FLT) para os três períodos de retorno diferentes. As cores vermelha e verde, representam o uso do solo com mancha urbana densa e floresta

respetivamente, onde as cores no topo da barra do gráfico apontam para o respetivo uso do solo na parte superior da bacia e, quando próximas do eixo das abcissas, apontam para o respetivo uso do solo próximo do exutório.

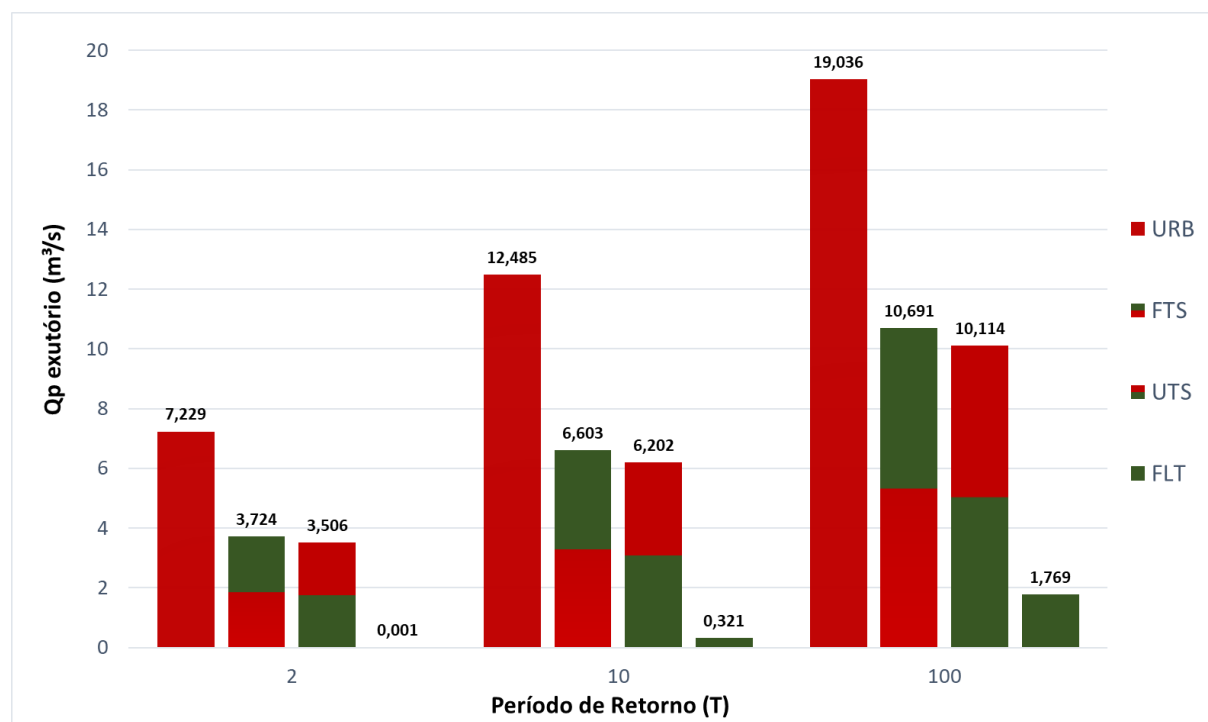


Figura 17. Gráfico de barras comparativo entre os caudais de ponta no exutório em cenários extremos de cobertura integral e parcial.

Observando as barras centrais da **Figura 17**, verifica-se que mesmo a área estando dividida pela metade e, utilizando os mesmos valores para N, os caudais de ponta no exutório apresentam diferenças significativas quando o uso e ocupação do solo ocorre em posições distintas na bacia hidrográfica em estudo. Neste sentido, o Q_p no exutório se mostrou elevado quando a mancha urbana esteve presente na metade inferior da bacia.

Com a intenção de detalhar melhor esta diferença, foi elaborado um painel contendo gráficos de linha que apontam a evolução do caudal no rio principal da bacia, diante dos dois cenários de cobertura parcial da área por urbanização e por florestas, para os três períodos de retorno estudados (**Figura 18**), onde a linha tracejada representa a divisão de 50% da área da bacia hidrográfica, dividindo a bacia em trecho superior e inferior. Desta forma, no cenário de cobertura parcial, a linha vermelha apresentou urbanização densa no trecho superior (UTS), que passou a ser floresta no trecho inferior, invertendo-se para a linha verde, que representou floresta no trecho superior (FTS) e urbanização densa no trecho inferior e, os pontos presentes em cada uma das linhas, representam as sub-bacias que contribuem para o aumento do caudal

no rio principal.

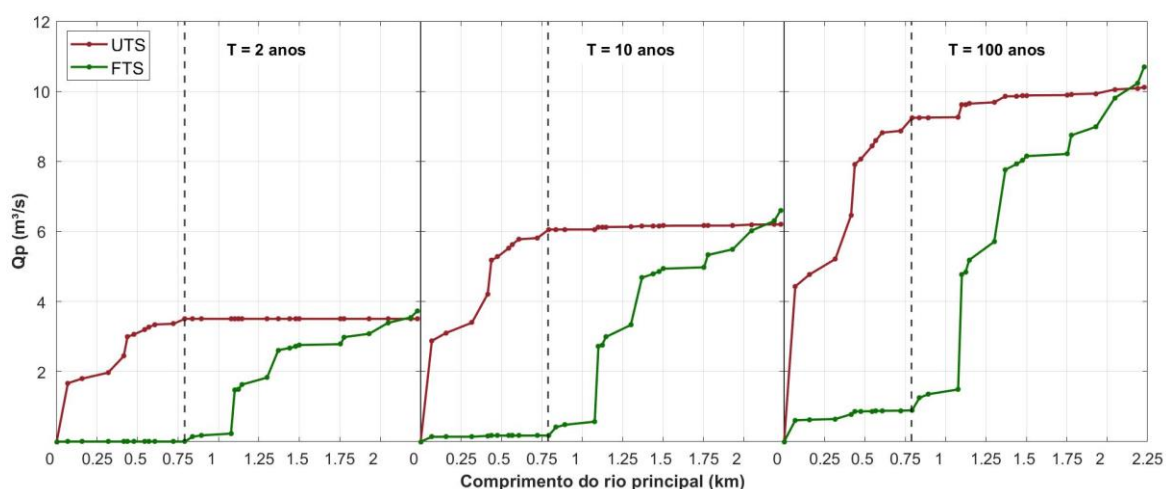


Figura 18. Evolução do Q_p no rio principal, em cenários extremos de cobertura (50%) nos três períodos de retorno.

As maiores sub-bacias que compõe a bacia hidrográfica em estudo, se encontram no trecho superior da bacia, justificando o fato de 50% da área ser delimitada no trecho onde o rio principal possui 0,79 km de extensão. Ao verificar as linhas de evolução do caudal no rio principal, identifica-se que onde N é igual a 79, não houve incremento do caudal para $T = 2$ anos, o que passou a ocorrer de forma sucinta para $T = 10$ anos e de forma mais perceptível para $T = 100$ anos. Nota-se também, que para todos os períodos de retorno, a urbanização surtiu maior efeito no aumento progressivo do caudal, quando esteve na parte inferior da bacia (linha verde).

Diversos trabalhos (Astuti et al., 2019; Fang et al., 2020; Seidl et al., 2020) apontam que o uso do solo está diretamente ligado à variação do fluxo de água na bacia hidrográfica, apontando que quanto maior a quantidade de cobertura verde, maior é o tempo de retenção de água na bacia, o que indica que a água levará mais tempo para atingir a rede de drenagem, resultando num caudal reduzido. Entretanto, nestas simulações, a percentagem da área está dividida de forma igual entre mancha urbana e zonas verdes, notando-se diferenças entre os caudais quando a cobertura verde está à montante ou a jusante da bacia, (Seidl et al., 2020) indicaram que quando as zonas verdes estão próximas ao exutório da bacia, estas zonas passam a funcionar como áreas de retenção de água, permitindo sua maior infiltração no solo e, conseqüentemente, a diminuição do caudal de ponta no exutório.

4.2.3 Cobertura extrema em quartis (25%)

A bacia hidrográfica foi dividida em quartis de aproximadamente 25% da área total, sendo eles, primeiro quartil (28,26%), segundo quartil (23,35%), terceiro quartil (24,89) e quarto quartil (23,50%). Com esta divisão, foram analisados os caudais das duas coberturas extremas, intercaladas entre os quartis e concentradas nos aproximados 50% centrais da bacia. Neste contexto, a **Figura 19** caracteriza o caudal de ponta no exutório da bacia, onde os quartis intercalados correspondem a FIU (floresta intercalada com urbano) e UIF (urbano intercalado com floresta) e os 50% centrais correspondem a FCT (floresta na parte central) e UCT (urbano na parte central).

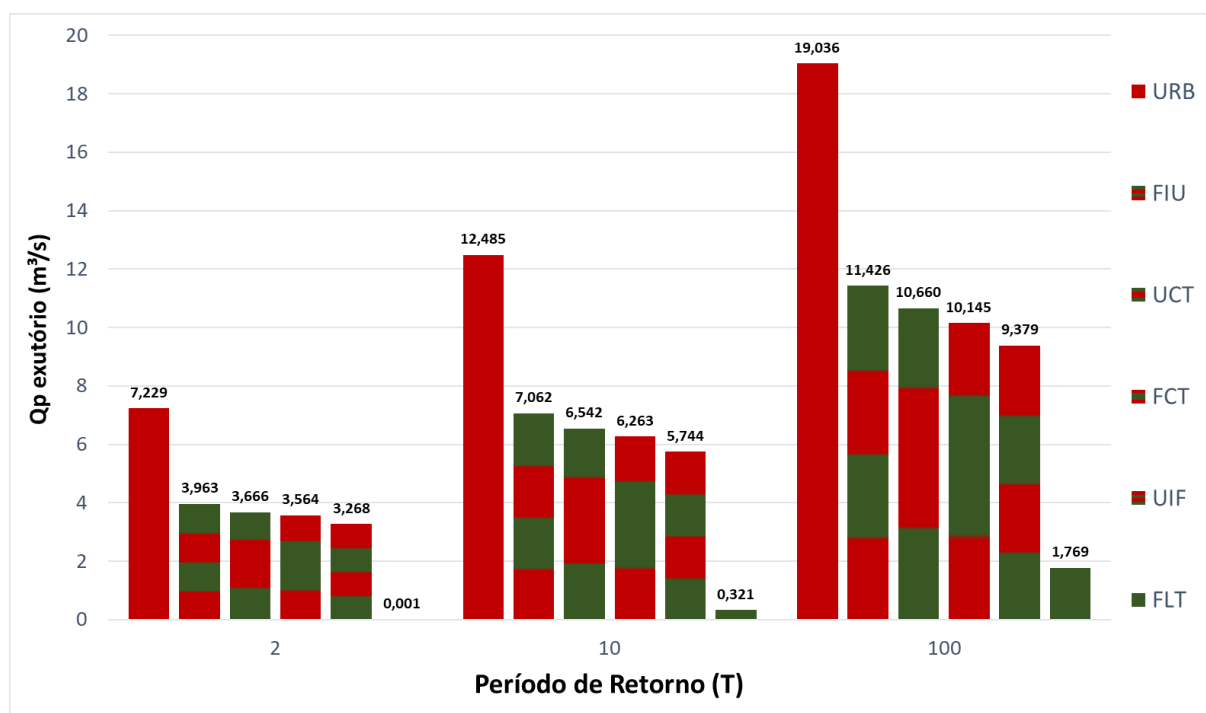


Figura 19. Gráfico de barras comparativo entre os caudais de ponta no exutório em cenários extremos de cobertura integral em quartis.

Diante $T = 100$, desprezando o Q_p para as situações onde a cobertura urbana e de floresta é integral (URB e FLT), o maior valor de Q_p pode ser observado para FIU ($11,43 \text{ m}^3/\text{s}$) e, o menor, para UIF ($9,38 \text{ m}^3/\text{s}$) que são antagônicos entre si, em relação à posição e percentagem de mancha urbana densa e floresta. Nota-se que apesar de UIF conter maior percentagem de área urbana (53,15%) do que FIU (46,85%), seu Q_p é relativamente menor e a diferença entre eles aumenta gradativamente com o avanço de T . O mesmo ocorre com os opostos UCT ($10,66 \text{ m}^3/\text{s}$) e FCT ($10,14 \text{ m}^3/\text{s}$), visto que o primeiro apresenta 48,25% da área urbanizada e o segundo 51,75%, reforçando a ideia de que a posição onde o tipo de uso e ocupação do solo está presente na

bacia, interfere, também, no caudal de ponta gerado no exutório da bacia hidrográfica.

Ao avaliar os caudais gerados pela distribuição de N em quartis, percebe-se que ao posicionar manchas verdes no trecho médio e trecho final da bacia (UIF), resulta no menor caudal de ponta no exutório dentre as outras distribuições. Este fato pode ser explicado pois além das zonas verdes funcionarem como zonas de retenção quando próximas do exutório (Seidl et al., 2020), é no trecho central da bacia, onde se encontram as linhas de água com menores comprimentos (**Figura 10**), fortalecendo a ideia de que rios com os maiores comprimentos apresentam melhor distribuição do fluxo de água do que os de menor comprimento (de Almeida et al., 2021), o que indica que os rios mais curtos apresentam melhor resposta hidrológica à bacia, quando submetidos a valores de N menores.

O painel representado pela **Figura 20**, indica a evolução do caudal de UIF (vermelho) e FIU (verde) no rio principal da bacia hidrográfica e, as linhas verticais tracejadas, indicam a inversão do número de escoamento de mancha urbana densa para floresta e vice-versa, que ocorreu de acordo com as divisões dos quartis. Justifica-se que o primeiro quartil esteve presente logo no início do percurso do rio principal, pois as SB1 e SB2 de 3ª ordem detêm a primeira e terceira maior área dentre as sub-bacias e, seus rios de 3ª ordem se unem, dando origem ao rio de 4ª ordem (rio principal).

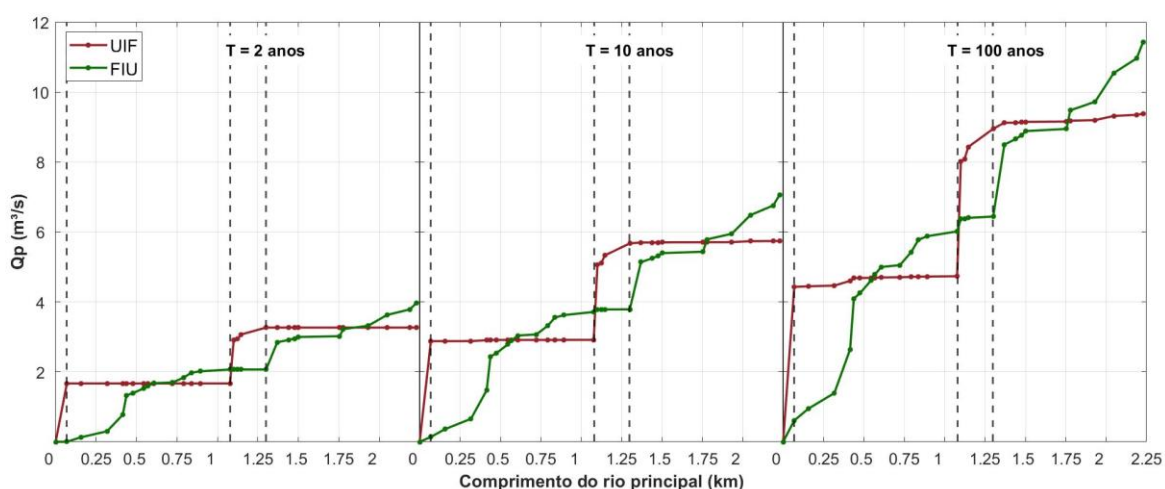


Figura 20. Evolução do Q_p no rio principal, nos três períodos de retorno, intercalando N (99 e 79) para os quartis.

Diante da evolução do caudal no rio principal, observa-se que no primeiro quartil, ocorre uma ampla divergência e superioridade no valor do caudal de UIF perante FIU, que diminui e se inverte com as mudanças dos números de escoamento no segundo quartil, voltando se repetir de acordo com a mudança de N, no terceiro e

no quarto quartil, onde neste último, o Q_p no exutório se apresenta maior para FIU em todos os períodos de retorno observados.

Visto isso, ressalta-se que uma das diferenças fisiográficas da bacia, entre os quartis, é que o 1º e o 3º apresentam, juntos, sub-sabcias que representam maior percentagem de área, resultando em caudais de contribuição volumosos e concentrados, já os 2º e 4º quartis, apresentam sub-bacias de menor área, que contribui para que o incremento do caudal no rio principal seja mais suave e ramificado ao longo dos troços da bacia. Entretanto, quando submetidos à urbanização, os quartis 1 e 3, apresentaram-se menos responsáveis pelo incremento do Q_p no exutório do que os quartis 2 e 4.

Outra modificação observada (**Figura 21**), foi posicionando o mesmo tipo de uso e ocupação do solo concentrado nos quartis centrais (2º e 3º), para urbanização na parte central (UCT) em vermelho e floresta na parte central (FCT) em verde e as linhas verticais tracejadas, delimitando os quartis centrais.

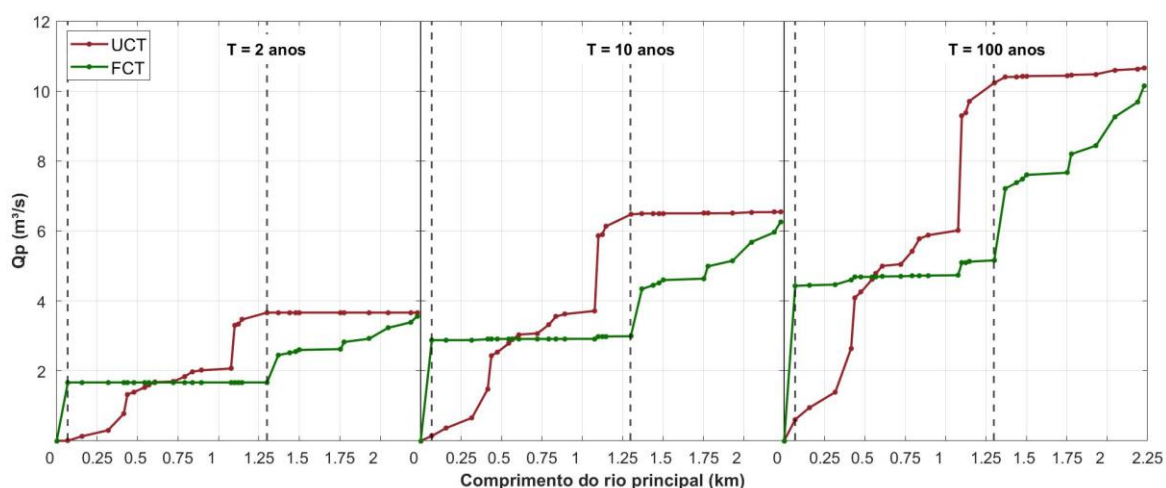


Figura 21. Evolução do Q_p no rio principal, nos três períodos de retorno, concentrando N (99 e 79) nos quartis centrais.

Na configuração dos 50% centrais de área da bacia hidrográfica, para $T=2$ anos, os Q_p no exutório apresentaram proximidade UCT ($3,66 \text{ m}^3/\text{s}$) e FCT ($3,56 \text{ m}^3/\text{s}$). Entretanto, quando o período de retorno foi aumentando, o Q_p de UCT se sobressaiu cada vez mais em relação a FCT. Destaca-se que nesta configuração, diferentemente de quando a área foi dividida em quartis, ocorreu apenas uma inversão entre as linhas vermelha e verde, as quais apontaram que a mancha urbana presente nos quartis centrais da bacia, surtiu efeitos negativos para o caudal de ponta do que quando presente nos quartis das extremidades.

4.3 Caudais de ponta simulados

Após investigar a resposta hidrológica da bacia hidrográfica simulando cenários extremos de uso e cobertura do solo, avaliaram-se os caudais gerados para a cobertura extraída do *basemap*, que aponta para a configuração atual do uso e cobertura do solo na bacia e, os caudais gerados para a cobertura apontada no PDM, que correspondeu às mudanças previstas pela Câmara Municipal de Bragança. Em seguida, foram simulados 4 cenários distintos nas zonas onde o PDM apontou futuras alterações, sendo eles, urbanização completa, zonas verdes urbanas (parques e jardins), matos e florestas, avaliando-se a evolução do caudal no decorrer dos troços e o caudal de ponta gerado no exutório da bacia hidrográfica em estudo.

4.3.1 Caudais de acordo com o *basemap* e PDM

Em seguida de analisar o terreno da bacia hidrográfica com o *basemap* e com o PDM sobrepostos pelo gradeamento das sub-bacias, foram extraídos os respectivos valores de N de cada sub-bacia para ambos (**Figura 14** e **Figura 15**). Consequentemente, foi possível calcular o caudal gerado na bacia ao longo dos troços, desde à montante, até o ponto exutório. Neste contexto, a **Tabela 11** foi desenvolvida comparando o Q_p no exutório da bacia nos cenários apontados pela urbanização integral da bacia (URB), pelo plano diretor municipal (PDM) e pelo *basemap* (BMP).

Tabela 11. Q_p no exutório para urbanização integral (URB), plano diretor municipal (PDM) e *basemap* (BMP).

T (anos)	Qp (m ³ /s)			Razão BMP/PDM
	URB	PDM	BMP	
2	7,23	1,74	1,29	1,35
10	12,48	4,59	3,77	1,22
100	19,04	9,07	7,88	1,15

O caudal gerado no exutório da bacia, por URB, se sobressai dos demais, visto que neste, toda a área da bacia está sendo representada com N=99. Entretanto, quando se avaliam os cenários PDM e BMP, nota-se que os caudais são inferiores, em razão destas coberturas apresentarem áreas mais permeáveis como, zonas destinadas à ecologia urbana (PDM) e zonas de matos, jardins, florestas e vegetação herbácea (BMP), como pôde ser observado na **Tabela 6** e **Tabela 8**.

As diferenças notadas entre os caudais de PDM e BMP são decorrentes do

PDM apresentar planos de mudança na cobertura e uso do solo, tornando-o mais permeável, em zonas nas quais o *basemap* ainda aponta como zonas de áreas verdes. Estas mudanças acarretaram no aumento de Q_p na razão de 1,35 para $T = 2$ anos, 1,22 para $T = 10$ anos e 1,15 diante de $T = 100$ anos.

A **Figura 22**, apresenta a evolução do caudal de ponta ao longo dos troços do rio principal diante dos 3 cenários retratados, URB em vermelho, PDM em amarelo e BMP em azul, nos períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos, permitindo nestas condições, avaliar a resposta do aumento do caudal no rio principal perante a contribuição das sub-bacias de montante à jusante.

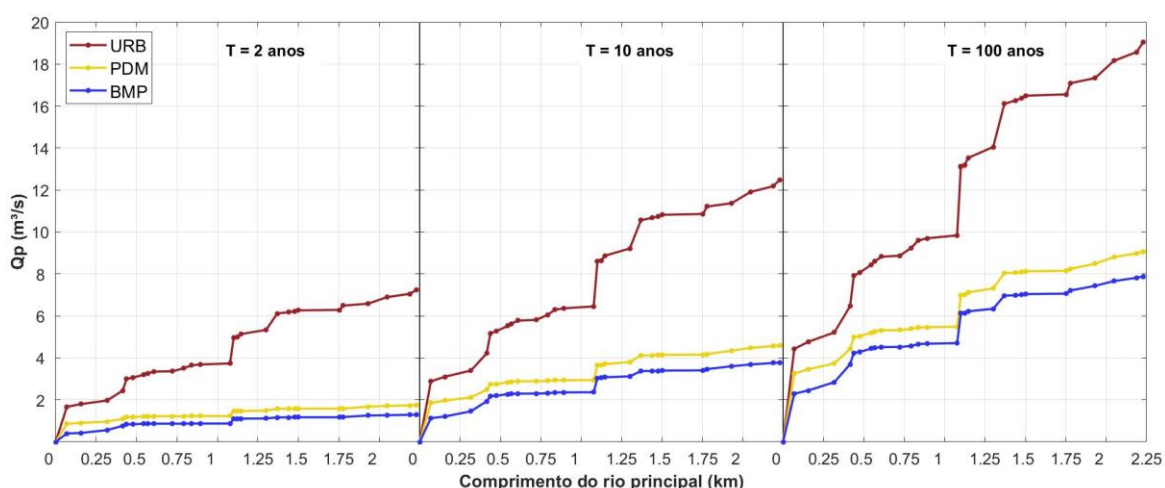


Figura 22. Evolução do Q_p no rio principal, nos cenários URB, PDM e BMP.

A **Figura 22** salienta a diferença entre a evolução do caudal de ponta nos 3 cenários distintos, expondo que durante os diferentes períodos de retorno a diferença entre eles aumentou gradualmente. Ao comparar a linha de evolução do PDM com a do BMP, evidencia que a alteração do terreno apontado pelo *basemap* para o que está apontado no PDM, resulta num aumento expressivo do caudal ao longo do rio principal, que passa a ser ainda mais expressivo no exutório, visto que para $T = 2$ anos, diferença entre eles é de aproximadamente $0,45 m^3/s$, que passa a ser $0,82 m^3/s$ para $T = 10$ anos e $1,2 m^3/s$ para $T = 100$ anos. Entretanto, o aumento da intensidade da precipitação com o passar dos anos promove a saturação do solo, indicando que mesmo com um número de escoamento baixo, após certo ponto, o solo passa a perder sua capacidade de retenção de água, o que explica as razões entre os Q_p do PDM e BMP no exutório decaírem com o avanço dos períodos de retorno, sendo de 1,35, 1,21 e 1,15 vezes maior em $T = 2$, 10 e 100 anos, respetivamente.

Visto que a maior diferença entre os caudais gerados, está no período de

retorno de 100 anos, a **Figura 23** foi desenvolvida no intuito de demonstrar, em mapas, a contribuição das sub-bacias para o aumento gradual do caudal ao longo da bacia quando $T = 100$ anos, com os números de escoamento retirados do BMP (a) e do PDM (b). Nela estão retratadas as bacias de 3ª ordem (verde), 2ª ordem (vermelho) e 1ª ordem (branco), onde os caudais gerados em cada uma delas são representados por linhas que variam sua espessura e sua tonalidade de azul, conforme o aumento do caudal.

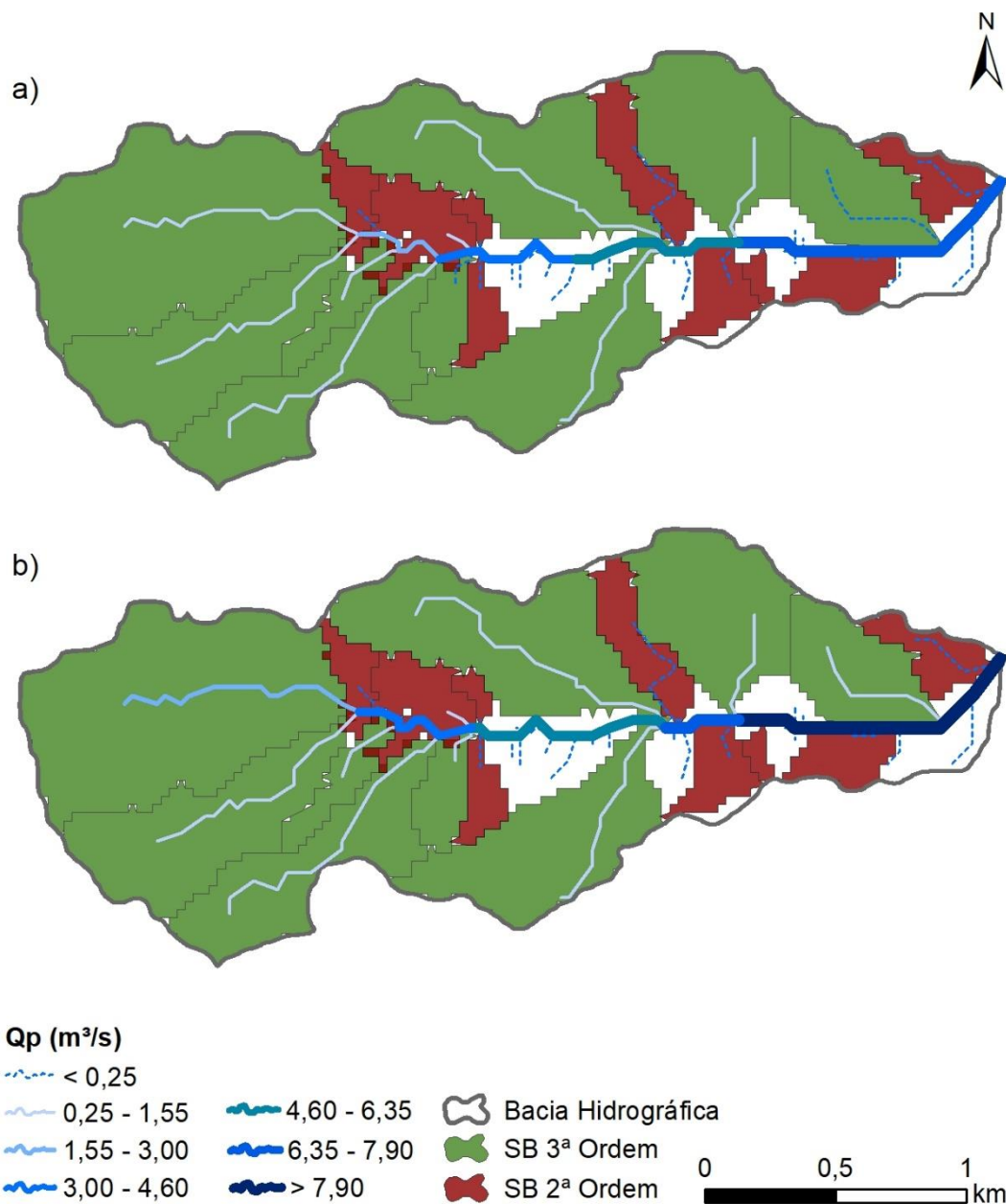


Figura 23. Aumento gradual do caudal na bacia hidrográfica, nos cenários BMP (a) e PDM (b) para $T = 100$ anos.

Em (a), observa-se que todas sub-bacias de 1ª ordem, geraram caudais inferiores a 0,25m³/s, o mesmo ocorreu para as sub-bacias de 2ª ordem, com exceção da segunda sub-bacia (de montante à jusante) que gerou caudal entre 0,25 e 1,55 m³/s, já nas bacias de 3ª ordem, duas delas apresentaram caudais inferiores a 0,25 m³/s e as demais, produziram caudais entre 0,25 e 1,55 m³/s. Ao notar a evolução do caudal no rio principal, é possível inferir que a junção das duas primeiras sub-bacias de 3ª ordem, dão origem ao rio de 4ª ordem com caudal entre 1,55 e 3,00 m³/s, este que vai aumentando gradualmente, até chegar em aproximadamente 7,90 m³/s.

Contudo, ao analisar o caudal gerado no cenário do PDM (b), se notam algumas diferenças como, caudais superiores a 0,25 m³/s para todas as sub-bacias de 3ª ordem e, até, um caudal superior a 1,55 m³/s para a primeira bacia de 3ª ordem. Quando a SB1 e SB2 de 3ª ordem se unem, formando o rio principal da bacia, o caudal que para BMP era entre 0,25 e 1,55 m³/s, passa a estar entre 1,55 e 3,00 m³/s, e, onde o rio principal de BMP apresenta seu intervalo de caudal máximo (6,55 e 7,90 m³/s), no mesmo ponto em PDM, o caudal já está superior a 7,90 m³/s. Estas diferenças se explicam, pois, o PDM indica o avanço da urbanização em zonas que na situação atual, se encontram cobertas por áreas verdes.

A passagem de zonas verdes para zonas urbanizadas, fomenta o aumento do caudal de ponta no exutório da bacia, resultando em situações de caudais mais críticos em casos de chuvas intensas, o que contribui para a ocorrência de inundações repentinas (Ansari et al., 2016) que podem ocasionar diversos problemas sociais e económicos para a população atingida por elas.

4.3.2 Caudais simulados no PDM

Conforme o plano diretor municipal, 33,4% da área da bacia hidrográfica está sujeita a alterações no uso e ocupação do solo para zonas de urbanização programada, sendo que estas zonas de mudança representam, 10,43% da área da bacia para urbanização de média densidade (EUM); 8,42% para urbanização de baixa densidade (EUB); 3,83% para zonas de equipamento programado (EQP) e 10,68% para zonas destinadas a parques, ciência e tecnologia (PCT). Diante da possibilidade de mudanças, foram simuladas situações nas quais estas zonas passam a ter estes 33,4% de urbanização densa (N=99), de áreas verdes urbanas, representadas por parques e jardins (N=90), de matos (N=86) e de florestas (N=79). A **Tabela 12** indica os valores para o caudal de ponta no exutório da bacia diante estas três situações de

modificação e as razões entre o que está previsto no PDM com o que foi simulado.

Tabela 12. Dados do caudal de ponta no exutório (Q_p) diante dos cenários de alteração de urbanização densa (URB), parques e jardins (PQJ), matos (MTS) e florestas (FLT).

T (anos)	Q_p (m ³ /s)					Razão			
	PDM	URB	PQJ	MTS	FLT	URB/PDM	PQJ/PDM	MTS/PDM	FLT/PDM
2	1,74	3,08	1,49	1,14	0,74	1,78	0,86	0,66	0,43
10	4,59	6,74	4,16	3,45	2,54	1,47	0,91	0,75	0,55
100	9,07	11,96	8,46	7,37	5,87	1,32	0,93	0,81	0,65

A alteração dos 33,4% da área que estavam representados com N = 93 e 91 no PDM (**Tabela 8**) para N=99, representando urbanização densa, acarretou no aumento de 1,78 vezes no Q_p no exutório da bacia para T=2 anos, que foi reduzindo com o aumento do período de retorno, visto a saturação do solo em chuvas mais intensas. Por outro lado, para o mesmo T, quando a área passiva de alterações passou a ser configurada com parques e jardins, houve significativa diminuição no caudal de ponta no exutório, passando a ser 0,86 do caudal apontado pelas mudanças previstas no PDM e, que se reduziu ainda mais quando a área passou a ser simulada com matos (0,66), já a transformação mais significativa, ocorreu ao substituir os 33,4% da área do PDM por florestas, que se converteu em 0,43 do caudal de ponta no exutório previsto pelo PDM.

Entretanto, ao comparar estas simulações de Q_p do PDM com a condição atual, encontrada em BMP, os valores de PQJ foram superiores, apontando para uma piora do caudal caso o PDM consolidar parques e jardins para as áreas sujeitas a alteração. Contudo, ao simular o PDM para MTS e FLT os caudais foram inferiores aos caudais atuais, indicando uma melhoria nas condições atuais perante o caudal de ponta no exutório da bacia.

Neste contexto, foi avaliada a possibilidade de seguir as configurações do plano diretor diante das expansões urbanas média (EUM) e baixa (EUB) e, instaurar florestas nas zonas onde o PDM indicou zonas de equipamento (EQP) e zonas destinadas a parques, ciência e tecnologia (PCT), visando manter a expansão urbana prevista pela Câmara Municipal ao mesmo tempo em que a bacia apresente boa retenção de escoamento superficial e, conseqüentemente, boas condições do caudal de ponta no exutório, em casos de cheia (**Figura 24**).

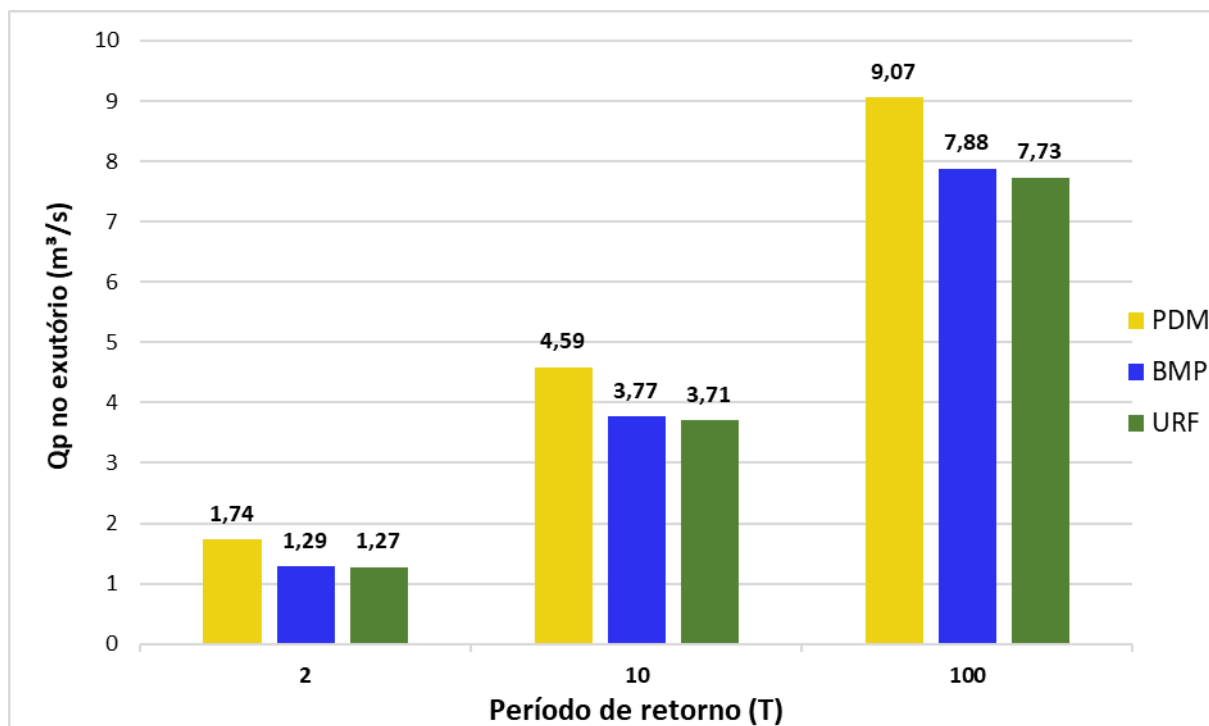


Figura 24. Gráfico de barras comparativo entre os caudais de ponta no exutório em cenários do PDM, BMP e urbanização florestada no PDM (URF).

Nestas configurações, a urbanização continua sua expansão em 63,3% da área que é destinada a modificações pela Câmara Municipal, o que resulta numa expansão urbana de 21% da área total da bacia e apenas 12,3% da área da bacia seria destinada ao florestamento. Assim, mesmo com a expansão da urbanização em 21% da área da bacia, a implementação de zonas de florestas, será responsável por reter boa parte do escoamento superficial gerado nas zonas urbanas, tornando o caudal de ponta, no exutório da bacia hidrográfica, menor do que o encontrado nas condições atuais.

O aumento nos caudais de ponta de bacias hidrográficas está intimamente ligado com a diminuição dos tempos de resposta hidrológica das bacias, quando submetidas à processos de urbanização (Hu et al., 2020; F. Li et al., 2019; Wei et al., 2018), estes processos promovem o aumento de superfícies impermeáveis, o que contribui para o acréscimo do escoamento superficial.

Entretanto, quando o cenário é invertido e políticas de florestamento são implantadas, a resposta hidrológica da bacia e o caudal de ponta tentem a melhorar. Um estudo recente, avaliou o impacto da mudança no caudal de ponta de inundação de duas bacias hidrográficas na China, a partir incremento de políticas de reflorestamento durante o período de 1990 à 2017 (Kabeja et al., 2020), como resultado, os autores obtiveram que o aumento de 18% de cobertura florestal e 1,6%

de expansão urbana na bacia de Yanhe e, de 16% de florestas e 8% de urbanização na bacia de Guangyuan, resultaram na diminuição de 14 e 6% no caudal de ponta das respectivas bacias.

5 CONCLUSÕES

Utilizar *softwares* SIG combinados com o método *Soil Conservation Service – CN* se mostrou útil para calcular os caudais de ponta de uma bacia hidrográfica inserida na porção urbana do Município de Bragança - Portugal. O modelo digital de elevação foi essencial para delimitar a bacia hidrográfica estudada, bem como extrair suas informações de drenagem, de uso e ocupação do solo e suas características fisiográficas, estas que foram primordiais para os cálculos e simulação dos caudais.

As técnicas SIG aplicadas, identificaram e caracterizaram fisiograficamente as 16 sub-bacias de 1ª ordem, 9 sub-bacias de 2ª ordem e 9 sub-bacias de 3ª ordem inseridas na bacia hidrográfica estudada (4ª ordem). As maiores áreas, comprimentos do rio principal e altura média, foram encontradas para as sub-bacias de maior ordem, indicando que as sub-bacias que apresentam maior influência hidrológica para o caudal de ponta da bacia hidrográfica, são as 3ª, 2ª e primeira ordem, respetivamente.

Ao extrair os valores do número de escoamento diante do cenário atual (*basemap*) e do plano diretor municipal, ambos apontaram para maiores valores de N na parte superior da bacia, sendo que o PDM apresentou valores relativamente maiores ao *basemap*, devido sua propensão à urbanização futura. O *basemap* indicou 47,9% de áreas urbanizadas e 52,1% de áreas verdes, já o PDM apontou para 44,4% de urbanização consolidada, 33,4% de urbanização programada e 16,2% de zonas verdes.

Cenários hipotéticos foram criados para analisar a resposta hidrológica da bacia diante de situações extremas de uso e cobertura do solo, submetidos a diferentes percentagens de cobertura. A partir destes, foi possível entender que:

- A razão entre os caudais dos cenários de urbanização e floresta diminuiu com o avanço do período de retorno, visto que períodos de retorno maiores geram chuvas com maior intensidade, responsáveis por gerar escoamento superficial, já com chuvas de menor intensidade, o escoamento é retido pela superfície, quando submetida a florestas, resultando no incremento do caudal.
- O posicionamento do uso e ocupação do solo na bacia influencia seu caudal de ponta no exutório. Quando submetida à urbanização na parte central e próxima ao exutório, a bacia apontou para caudais mais elevados do que quando submetida à urbanização nos trechos superiores.
- Utilizar coberturas de solo com N baixos próximos ao exutório, resulta

em maior eficácia na retenção do caudal do que quando presente em trechos superiores da bacia hidrográfica.

O cumprimento do plano diretor pela Câmara Municipal, implica no possível aumento do caudal de ponta no exutório da bacia de 35%, 22%, 15% para os períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos, quando comparados aos caudais gerados no cenário atual. Entretanto, ao avaliar o cumprimento das áreas destinadas à urbana (21%) combinada com a implementação de florestas (12%), resultou na diminuição de 37%, 24% e 17% dos caudais de ponta no exutório nos respectivos períodos de retorno, quando comparados com os caudais apontados no cenário esperado pelo plano diretor municipal de Bragança.

A metodologia aplicada demonstrou robustez para avaliar o caudal gerado em bacias hidrográficas inseridas em meio urbano. O avanço da urbanização e a consequente impermeabilização da superfície da bacia tende a provocar escoamentos superficiais volumosos e aumentar sua resposta hidrológica, promovendo caudais de ponta acentuados. Em situações de cheia, eventos extremos como as inundações podem ser presentes, gerando perdas socioeconômicas e danos humanitários irreparáveis ao município. Contudo, este trabalho demonstrou a importância de se avaliar a resposta hidrológica da bacia antes da implementação de planos que visam alterações no uso e ocupação do solo, sendo de extrema importância para os tomadores de decisão.

Estudos futuros podem implementar o método SCS-CN, utilizando *rasters* com melhor resolução espacial, permitindo maiores sub-divisões das áreas, o que aumentaria a precisão dos cálculos na geração dos caudais. Outra sugestão, é utilizar as plantas de base do sistema de drenagem urbana do município e, calcular o caudal do escoamento drenado por este sistema em conjunto com o caudal escoado superficialmente aos corpos hídricos.

6 REFERÊNCIAS

- Al-Amri, N. S., & Subyani, A. M. (2017). Generation of Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Curves for Ungauged Sites in Arid Region. *Earth Systems and Environment*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41748-017-0008-8>
- Ansari, T. A., Katpatal, Y. B., & Vasudeo, A. D. (2016). Spatial evaluation of impacts of increase in impervious surface area on SCS-CN and runoff in Nagpur urban watersheds, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(18). <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2702-5>
- APA | Agência Portuguesa do Ambiente (2018). Retrieved June 13, 2022, from <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=1250>
- Astuti, I. S., Sahoo, K., Milewski, A., & Mishra, D. R. (2019). Impact of Land Use Land Cover (LULC) Change on Surface Runoff in an Increasingly Urbanized Tropical Watershed. *Water Resources Management* 2019 33:12, 33(12), 4087–4103. <https://doi.org/10.1007/S11269-019-02320-W>
- Blumstock, M., Tetzlaff, D., Dick, J. J., Nuetzmann, G., & Soulsby, C. (2016). Spatial organization of groundwater dynamics and streamflow response from different hydrogeological units in a montane catchment. *Hydrological Processes*, 30(21), 3735–3753. <https://doi.org/10.1002/HYP.10848>
- Canholi, A. P. (2014). Drenagem Urbana e Controle de enchentes. 2ª ed. Editora Oficina de Textos, São Paulo.
- Chen, Y., Wang, S., Ren, Z., Huang, J., Wang, X., Liu, S., Deng, H., & Lin, W. (2019). Increased evapotranspiration from land cover changes intensified water crisis in an arid river basin in northwest China. *Journal of Hydrology*, 574(September 2018), 383–397. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.045>
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrologia aplicada. In *Hidrologia aplicada* (p. 575 pp). <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISC&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=158911&indexSearch=ID%5Cnhttp://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IscScript=BINA1.xis&method=post&formato=2&cantidad=>
- Collischonn, W., & Tassi, R. (2008). *Introduzindo hidrologia*. https://www.academia.edu/download/55829885/apostila_Completa_2008.pdf
- Davie, T., & Quinn, N. W. (2019). *Fundamentals of Hydrology*. <https://doi.org/10.4324/9780203798942>
- de Almeida, L. V. F., Kameya, L. C., Correa, J. M., Almeida, A. K., & de Almeida, I. K. (2021). Multivariate analysis of factors influencing the peak flow and runoff volume in the Cerrado and Atlantic Forest biomes in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(10), 1–15. <https://doi.org/10.1007/S10661-021-09408-0/TABLES/9>

- de Paola, F., Giugni, M., Topa, M. E., & Bucchignani, E. (2014). Intensity-Duration-Frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in African cities. *SpringerPlus*, 3(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-133>
- Di Salvo, C., Ciotoli, G., Pennica, F., & Cavinato, G. P. (2017). Pluvial flood hazard in the city of Rome (Italy). *Journal of Maps*, 13(2), 545–553. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1333968>
- Diogo, P. A., Coelho, P. S., Almeida, M. C., & Mateus, N. S. (n.d.). *SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NAS ALBUFEIRAS DO RIO DOURO COM UM MODELO DE ALBUFEIRAS EM SÉRIE*. Retrieved May 18, 2022, from <http://www.inag.pt>.
- Du, S., Gu, H., Wen, J., Chen, K., & Rompaey, A. Van. (2015). Detecting Flood Variations in Shanghai over 1949–2009 with Mann-Kendall Tests and a Newspaper-Based Database. *Water* 2015, Vol. 7, Pages 1808-1824, 7(5), 1808–1824. <https://doi.org/10.3390/W7051808>
- Elhakim, A. F. (2016). Estimation of soil permeability. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2631–2638. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.034>
- EM-DAT | *The international disasters database* (2018). Retrieved June 13, 2022, from <https://www.emdat.be/>
- Escoamento urbano: desenvolvimento de baixo impacto | US EPA*. (2019). Retrieved October 22, 2021, from <https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-low-impact-development>
- Fahle, M., & Dietrich, O. (2014). Estimation of evapotranspiration using diurnal groundwater level fluctuations: Comparison of different approaches with groundwater lysimeter data. *Water Resources Research*, 50(1), 273–286. <https://doi.org/10.1002/2013WR014472>
- Fang, Z., Song, S., He, C., Liu, Z., Qi, T., Zhang, J., & Li, J. (2020). Evaluating the Impacts of Future Urban Expansion on Surface Runoff in an Alpine Basin by Coupling the LUSD-Urban and SCS-CN Models. *Water* 2020, Vol. 12, Page 3405, 12(12), 3405. <https://doi.org/10.3390/W12123405>
- Fernandes, L. F. P. (2002). Recursos hídricos e impactos antrópicos na bacia do rio Fervença. *6º Congresso Da Água*, 11.
- ESRI - *Fill (Spatial Analyst)—ArcMap | Documentation* (2021). Retrieved May 20, 2022, from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/fill.htm>
- Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, 261–279. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2012.09.001>
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2014). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding

- urban drainage. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Ghiaei, F., Kankal, M., Anilan, T., & Yuksek, O. (2018). Regional intensity–duration–frequency analysis in the Eastern Black Sea Basin, Turkey, by using L-moments and regression analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1–2), 245–257. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1953-0>
- Guzha, A. C., Rufino, M. C., Okoth, S., Jacobs, S., & Nóbrega, R. L. B. (2018). Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15, 49–67. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2017.11.005>
- Hipólito, J. R., & Vaz, A. C. (2017). Hidrologia e recursos hídricos. 3ª ed. Editora Universitária do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Holthusen, D., Brandt, A. A., Reichert, J. M., & Horn, R. (2018). Soil porosity, permeability and static and dynamic strength parameters under native forest/grassland compared to no-tillage cropping. *Soil and Tillage Research*, 177(November 2017), 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.003>
- Hossain Anni, A., Cohen, S., & Praskievicz, S. (2020). Sensitivity of urban flood simulations to stormwater infrastructure and soil infiltration. *Journal of Hydrology*, 588, 125028. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.125028>
- Hosseinzadehtalaei, P., Tabari, H., & Willems, P. (2020). Satellite-based data driven quantification of pluvial floods over Europe under future climatic and socioeconomic changes. *Science of the Total Environment*, 721, 137688. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137688>
- Hu, S., Fan, Y., & Zhang, T. (2020). Assessing the Effect of Land Use Change on Surface Runoff in a Rapidly Urbanized City: A Case Study of the Central Area of Beijing. *Land* 2020, Vol. 9, Page 17, 9(1), 17. <https://doi.org/10.3390/LAND9010017>
- Hussein, K., Alkaabi, K., Ghebreyesus, D., Liaqat, M. U., & Sharif, H. O. (2020). Land use/land cover change along the Eastern Coast of the UAE and its impact on flooding risk. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 112–130. <https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1707718>
- Lida, S., Levia, D. F., Shimizu, A., Shimizu, T., Tamai, K., Nobuhiro, T., Kabeya, N., Noguchi, S., Sawano, S., & Araki, M. (2017). Intrastorm scale rainfall interception dynamics in a mature coniferous forest stand. *Journal of Hydrology*, 548, 770–783. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.009>
- Jencso, K. G., & McGlynn, B. L. (2011). Hierarchical controls on runoff generation: Topographically driven hydrologic connectivity, geology, and vegetation. *Water Resources Research*, 47(11), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2011WR010666>
- Jiang, Y., Zevenbergen, C., & Ma, Y. (2018). Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China’s challenges and “sponge cities” strategy. *Environmental Science & Policy*, 80, 132–143. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2017.11.016>

- Kabeja, C., Li, R., Guo, J., Rwangabo, D. E. R., Manyifika, M., Gao, Z., Wang, Y., & Zhang, Y. (2020). The Impact of Reforestation Induced Land Cover Change (1990–2017) on Flood Peak Discharge Using HEC-HMS Hydrological Model and Satellite Observations: A Study in Two Mountain Basins, China. *Water* 2020, Vol. 12, Page 1347, 12(5), 1347. <https://doi.org/10.3390/W12051347>
- Kadam, A. K., Kale, S. S., Pande, N. N., Pawar, N. J., & Sankhua, R. N. (2012). Identifying Potential Rainwater Harvesting Sites of a Semi-arid, Basaltic Region of Western India, Using SCS-CN Method. *Water Resources Management* 2012 26:9, 26(9), 2537–2554. <https://doi.org/10.1007/S11269-012-0031-3>
- Kang, M., & Yoo, C. (2020). Application of the SCS–CN Method to the Hancheon Basin on the Volcanic Jeju Island, Korea. *Water* 2020, Vol. 12, Page 3350, 12(12), 3350. <https://doi.org/10.3390/W12123350>
- Kang, N., Kim, S., Kim, Y., Noh, H., Hong, S. J., & Kim, H. S. (2016). Urban Drainage System Improvement for Climate Change Adaptation. *Water* 2016, Vol. 8, Page 268, 8(7), 268. <https://doi.org/10.3390/W8070268>
- Khan, A. A., Ashraf, M. I., Malik, S., & Gulzar, S. (2019). *Spatial trends in surface runoff and influence of climatic and physiographic factors: A case study of watershed areas of Rawalpindi district*. <https://doi.org/10.25252/SE/19/81787>
- Kozłowski, T., & Ludynia, A. (2019). Permeability coefficient of low permeable soils as a single-variable function of soil parameter. *Water (Switzerland)*, 11(12), 5–7. <https://doi.org/10.3390/w11122500>
- Kumar, M., Denis, D. M., Singh, S. K., Szabó, S., & Suryavanshi, S. (2018). Landscape metrics for assessment of land cover change and fragmentation of a heterogeneous watershed. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10(April), 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.04.002>
- Lencastre, A.; Franco, F. M. (2006). *Lições de Hidrologia*. 3ª ed. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
- Li, F., Chen, J., Liu, Y., Xu, P., Sun, H., Engel, B. A., & Wang, S. (2019). Assessment of the Impacts of Land Use/Cover Change and Rainfall Change on Surface Runoff in China. *Sustainability* 2019, Vol. 11, Page 3535, 11(13), 3535. <https://doi.org/10.3390/SU11133535>
- Li, X., Xiao, Q., Niu, J., Dymond, S., McPherson, E. G., van Doorn, N., Yu, X., Xie, B., Zhang, K., & Li, J. (2017). Rainfall interception by tree crown and leaf litter: An interactive process. *Hydrological Processes*, 31(20), 3533–3542. <https://doi.org/10.1002/hyp.11275>
- Lousada, S. A. N., & Camacho, R. F. (2018). *Hidrologia, recursos hídricos e ambiente: aulas teóricas*. 1ª ed. Universidade da Madeira.
- Lucas-Borja, M. E., Carrà, B. G., Nunes, J. P., Bernard-Jannin, L., Zema, D. A., & Zimbone, S. M. (2020). Impacts of land-use and climate changes on surface runoff in a tropical forest watershed (Brazil). *Hydrological Sciences Journal*, 65(11), 1956–1973. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1787417>

- McGrane, S. J. (2016). Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2295–2311. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>
- Mesquita, L. F. G., Lindoso, D., & Filho, S. R. (2018). CRISE HÍDRICA NO DISTRITO FEDERAL: O CASO DA BACIA DO RIO PRETO. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23(0). <https://doi.org/10.5380/ABCLIMA.V23I0.56642>
- Mirzaei, M., Jafari, A., Verrlest, J., Haghghi, M., Zargarnia, A. H., Khoshnoodmotlagh, S., Azadi, H., & Scheffran, J. (2020). Trans-boundary land cover changes and its influences on water crisis: Case study of the Aras River. *Applied Geography*, 124(September), 102323. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102323>
- Moreira, F. D. (2017). Protótipo do Atlas da Qualidade do solo e Cartografia da suscetibilidade à contaminação de solos. Lisboa: Universidade de Lisboa. Relatório de Estágio.
- Nath, B., Ni-Meister, W., & Choudhury, R. (2021). Impact of urbanization on land use and land cover change in Guwahati city, India and its implication on declining groundwater level. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100500. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2020.100500>
- O Ciclo d'água, O ciclo das águas, Português (2017). Retrieved November 3, 2021, from <https://www.usgs.gov/media/images/o-ciclo-d-gua-water-cycle-portuguese>
- Ogden, F. L., Crouch, T. D., Stallard, R. F., & Hall, J. S. (2013). Effect of land cover and use on dry season river runoff, runoff efficiency, and peak storm runoff in the seasonal tropics of Central Panama. *Water Resources Research*, 49(12), 8443–8462. <https://doi.org/10.1002/2013WR013956>
- Okada, V.K., (2019). Escoamentos fluviais e riscos hidrológicos em bacias de montanha do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal: variabilidade espacial e tendências temporais. (Dissertação de Mestrado, Programa de dupla diplomação em Tecnologia Ambiental). Instituto Politécnico de Bragança (IPB) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
- Pinto, P. (1999). BACIAS HIDROGRÁFICAS INTERNACIONAIS DA PENÍNSULA IBÉRICA UM PATRIMÓNIO COMUM. In *El agua a debate desde la Universidad: hacia una nueva cultura del agua: 1er Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas* (pp. 885-888). Institución" Fernando el Católico".
- PORDATA - Base de Dados dos Municípios (2021.). Retrieved May 10, 2022, from <https://www.pordata.pt/Municipios>
- Ramos, C., & Reis, E. (2002). Floods in southern Portugal: their physical and human causes, impacts and human response. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2002 7:3, 7(3), 267–284. <https://doi.org/10.1023/A:1024475529524>
- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77–84. <https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2015.02.002>

- Rodrigues, C. M., Moreira, M., & Guimarães, R. C. (n.d.). *UNIVERSIDADE DE ÉVORA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL APONTAMENTOS PARA AS AULAS DE HIDROLOGIA*.
- Seidl, M., Hadrich, B., Palmier, L., Petrucci, G., & Nascimento, N. (2020). Impact of urbanisation (trends) on runoff behaviour of Pampulha watersheds (Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 14259–14270. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-06029-6/FIGURES/7>
- Seleem, O., Heistermann, M., & Bronstert, A. (2021). Efficient hazard assessment for pluvial floods in urban environments: A benchmarking case study for the city of berlin, germany. *Water (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/w13182476>
- Shrestha, S., Cui, S., Xu, L., Wang, L., Manandhar, B., & Ding, S. (2021). Impact of land use change due to urbanisation on surface runoff using GIS-based SCS–CN method: A case study of Xiamen city, China. *Land*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/land10080839>
- Singh, S. K., Laari, P. B., Mustak, S., Srivastava, P. K., & Szabó, S. (2018). Modelling of land use land cover change using earth observation data-sets of Tons River Basin, Madhya Pradesh, India. *Geocarto International*, 33(11), 1202–1222. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1343390>
- Sinha, R. K., Eldho, T. I., & Subimal, G. (2020). Assessing the impacts of land cover and climate on runoff and sediment yield of a river basin. *https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1791336*, 2097–2115. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1791336>
- Smith, B. K., Smith, J. A., Baeck, M. L., & Miller, A. J. (2015). Exploring storage and runoff generation processes for urban flooding through a physically based watershed model. *Water Resources Research*, 51(3), 1552–1569. <https://doi.org/10.1002/2014WR016085>
- Sun, H., Zhang, X., Liu, X., Liu, X., Shao, L., Chen, S., Wang, J., & Dong, X. (2019). Impact of different cropping systems and irrigation schedules on evapotranspiration, grain yield and groundwater level in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 211(286), 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.046>
- Tabari, H., Madani, K., & Willems, P. (2020). The contribution of anthropogenic influence to more anomalous extreme precipitation in Europe. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104077. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABB268>
- Tabari, H., Moghtaderi Asr, N., & Willems, P. (2021). Developing a framework for attribution analysis of urban pluvial flooding to human-induced climate impacts. *Journal of Hydrology*, 598, 126352. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126352>
- United States, Of, D., Agriculture, Natural, Resources, Conservation, & Service. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. In *Soil Conservation* (Issue Technical Release 55 (TR-55), p. 164). <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/other/TR55documentation.pdf>

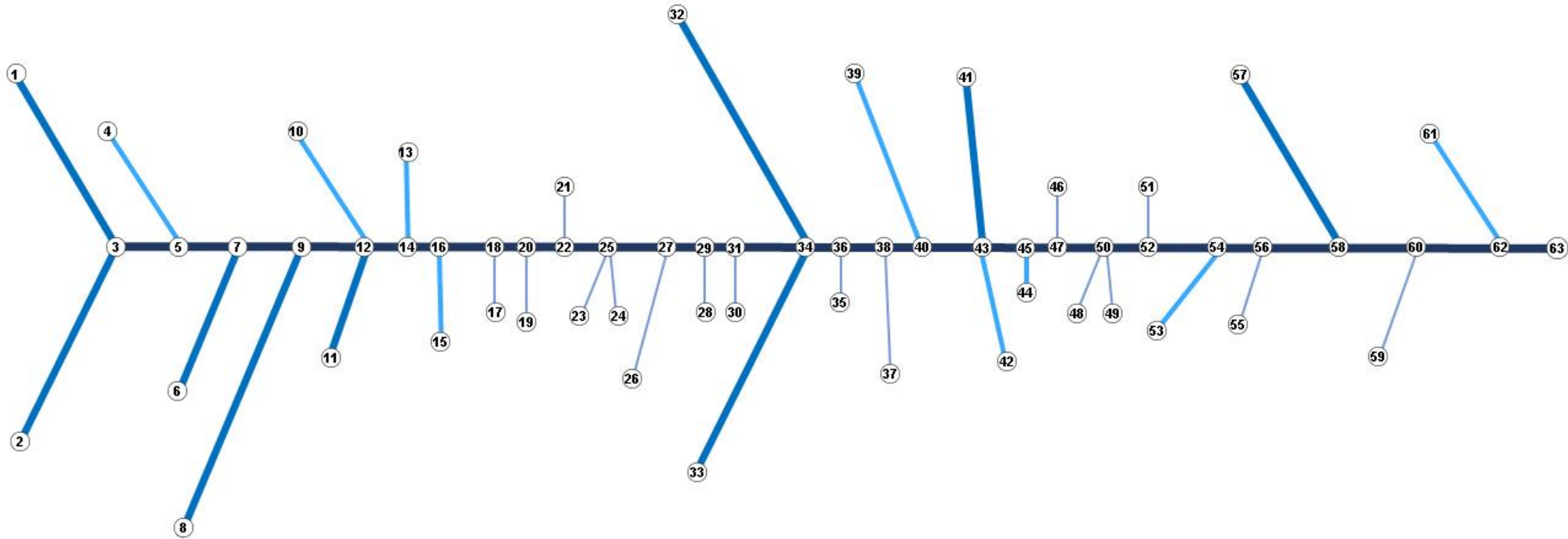
- Vaz, L., & Saraiva, M. G. (2007). Requalificação de margens e cursos de água urbanos como avaliar o sucesso?. 7º Congresso Ibérico de Urbanismo Paisagem, Frentes de Água e Território, 19.
- Wang, P., & Pozdniakov, S. P. (2014). A statistical approach to estimating evapotranspiration from diurnal groundwater level fluctuations. *Water Resources Research*, 50(3), 2276–2292. <https://doi.org/10.1002/2013WR014251>
- Wei, L., Hubbart, J. A., & Zhou, H. (2018). Variable Streamflow Contributions in Nested Subwatersheds of a US Midwestern Urban Watershed. *Water Resources Management*, 32(1), 213–228. <https://doi.org/10.1007/S11269-017-1804-5/FIGURES/5>
- Welde, K., & Gebremariam, B. (2017). Effect of land use land cover dynamics on hydrological response of watershed: Case study of Tekeze Dam watershed, northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2017.03.002>
- Xiao, B., Wang, Q. H., Fan, J., Han, F. P., & Dai, Q. H. (2011). Application of the SCS-CN Model to Runoff Estimation in a Small Watershed with High Spatial Heterogeneity. *Pedosphere*, 21(6), 738–749. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60177-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60177-X)
- Yang, B., Lee, D. K., Heo, H. K., & Biging, G. (2019). The effects of tree characteristics on rainfall interception in urban areas. *Landscape and Ecological Engineering*, 15(3), 289–296. <https://doi.org/10.1007/s11355-019-00383-w>
- Yao, L., Wei, W., Yu, Y., Xiao, J., & Chen, L. (2018). Rainfall-runoff risk characteristics of urban function zones in Beijing using the SCS-CN model. *Journal of Geographical Sciences* 2018 28:5, 28(5), 656–668. <https://doi.org/10.1007/S11442-018-1497-6>
- Zheng, C., & Jia, L. (2020). Global canopy rainfall interception loss derived from satellite earth observations. *Ecohydrology*, 13(2), 1–13. <https://doi.org/10.1002/eco.2186>
- Zuo, D., Xu, Z., Yao, W., Jin, S., Xiao, P., & Ran, D. (2016). Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Science of The Total Environment*, 544, 238–250. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.11.060>

6.1 Artigos de jornais

- (1) <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-57923153>
- (2) <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-57868005>
- (3) <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2021/07/18/enchentes-na-europa-veja-fotos-das-cidades-depois-das-inundacoes.ghtml>

Apêndice

Apêndice 1. Troços de ligação entre as sub-bacias e o rio principal da bacia hidrográfica em estudo.



Anexo

Quadro 1. Classificação do N segundo a COS (2015) e o tipo hidrológico do solo
(adaptada da classificação de Moreira (2017))

Descrição COS 2007	A	B	C	D
Tecido urbano contínuo predominantemente vertical	98	98	98	98
Tecido urbano contínuo predominantemente horizontal	98	98	98	98
Áreas de estacionamentos e logradouros	80	86	90	92
Tecido urbano descontínuo	60	74	83	87
Tecido urbano descontínuo esparso	55	70	80	80
Indústria	85	90	93	94
Comércio	85	90	93	94
Instalações agrícolas	60	74	83	87
Equipamentos públicos e privados	60	74	83	87
Infra-estruturas de produção de energia renovável	80	86	90	92
Infra-estruturas de produção de energia não renovável	80	86	90	92
Infra-estruturas de captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo	80	86	90	92
Infra-estruturas de tratamento de resíduos e águas residuais	80	86	90	92
Rede viária e espaços associados	82	88	91	93
Rede ferroviária e espaços associados	55	70	80	80
Terminais portuários de mar e de rio	98	98	98	98
Estaleiros navais e docas secas	98	98	98	98
Marinas e docas pesca	98	98	98	98
Aeroportos	90	90	90	90
Aeródromos	80	86	90	92
Minas a céu aberto	81	88	91	93
Pedreiras	81	88	91	93
Aterros	81	88	91	93
Lixeiras e Sucatas	81	88	91	93
Áreas em construção	81	88	91	93
Áreas abandonadas em territórios artificializados	81	88	91	93
Parques e jardins	46	68	78	84
Cemitérios	46	68	78	84
Campos de golfe	46	68	78	84
Outras instalações desportivas	46	68	78	84
Parques de campismo	46	68	78	84
Outros equipamentos de lazer	46	68	78	84
Equipamentos culturais e zonas históricas	46	68	78	84
Culturas temporárias de sequeiro	60	72	81	84
Estufas e Viveiros	60	72	81	84
Culturas temporárias de regadio	60	72	81	84
Arrozais	100	100	100	100
Vinhas	62	74	82	85
Vinhas com pomar	62	74	82	85
Vinhas com olival	62	74	82	85
Pomares de frutos frescos	62	74	82	85
Pomares de amendoeira	62	74	82	85
Pomares de castanheiro	62	74	82	85
Pomares de alfarrobeira	46	68	78	84
Pomares de citrinos	62	74	82	85
Outros pomares	62	74	82	85
Pomares de frutos frescos com vinha	62	74	82	85
Pomares de amendoeira com vinha	62	74	82	85

Pomares de castanheiro com vinha	62	74	82	85
Pomares de alfarrobeira com vinha	46	68	78	84
Pomares de citrinos com vinha	62	74	82	85
Outros pomares com vinha	62	74	82	85
Pomares de frutos frescos com olival	62	74	82	85
Pomares de amendoeira com olival	62	74	82	85
Pomares de castanheiro com olival	62	74	82	85
Pomares de alfarrobeira com olival	46	68	78	84
Pomares de citrinos com olival	62	74	82	85
Outros pomares com olival	62	74	82	85
Olivais	62	74	82	85
Olivais com vinha	62	74	82	85
Olivais com pomar	62	74	82	85
Pastagens permanentes	62	74	82	85
Culturas temporárias de sequeiro associadas a vinha	61	73	82	85
Culturas temporárias de sequeiro associadas a pomar	61	73	82	85
Culturas temporárias de sequeiro associadas a olival	61	73	82	85
Culturas temporárias de regadio associadas a vinha	61	73	82	85
Culturas temporárias de regadio associadas a pomar	61	73	82	85
Culturas temporárias de regadio associadas a olival	61	73	82	85
Pastagens associadas a vinha	61	73	82	85
Pastagens associadas a pomar	61	73	82	85
Pastagens associadas a olival	61	73	82	85
Sistemas culturais e parcelares complexos	61	73	82	85
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	61	73	82	85
SAF de sobreiro com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
SAF de azinheira com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
SAF de outros carvalhos com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
SAF de outras espécies com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
SAF de sobreiro com azinheira e com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
SAF de outras misturas com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
SAF de sobreiro com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
SAF de azinheira com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
SAF de outros carvalhos com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
SAF de outras espécies com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
SAF de sobreiro com azinheira e com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
SAF de outras misturas com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
SAF de sobreiro com pastagens	53	70	80	84
SAF de azinheira com pastagens	53	70	80	84
SAF de outros carvalhos com pastagens	53	70	80	84
SAF de outras espécies com pastagens	53	70	80	84
SAF de sobreiro com azinheira com pastagens	53	70	80	84
SAF de outras misturas com pastagens	53	70	80	84
SAF de sobreiro com culturas permanentes	53	70	80	84
SAF de azinheira com culturas permanentes	53	70	80	84
SAF de outros carvalhos com culturas permanentes	53	70	80	84
SAF de outras espécies com culturas permanentes	53	70	80	84
SAF de sobreiro com azinheira com culturas permanentes	53	70	80	84
SAF de outras misturas com culturas permanentes	53	70	80	84
Florestas de sobreiro	26	52	62	69
Florestas de azinheira	26	52	62	69
Florestas de outros carvalhos	26	52	62	69
Florestas de castanheiro	26	52	62	69
Florestas de eucalipto	26	52	62	69
Florestas de espécies invasoras	26	52	62	69
Florestas de outras folhosas	26	52	62	69

Florestas de sobreiro com folhosas	26	52	62	69
Florestas de azinheira com folhosas	26	52	62	69
Florestas de outros carvalhos com folhosas	26	52	62	69
Florestas de castanheiro com folhosas	26	52	62	69
Florestas de eucalipto com folhosas	26	52	62	69
Florestas de espécies invasoras com folhosas	26	52	62	69
Florestas de outra folhosa com folhosas	26	52	62	69
Florestas de pinheiro bravo	26	52	62	69
Florestas de pinheiro manso	26	52	62	69
Florestas de outras resinosas	26	52	62	69
Florestas de pinheiro bravo com resinosas	26	52	62	69
Florestas de pinheiro manso com resinosas	26	52	62	69
Florestas de outra resinosa com resinosas	26	52	62	69
Florestas de sobreiro com resinosas	26	52	62	69
Florestas de azinheira com resinosas	26	52	62	69
Florestas de outros carvalhos com resinosas	26	52	62	69
Florestas de castanheiro com resinosas	26	52	62	69
Florestas de eucalipto com resinosas	26	52	62	69
Florestas de espécies invasoras com resinosas	26	52	62	69
Florestas de outra folhosa com resinosas	26	52	62	69
Florestas de misturas de folhosas com resinosas	26	52	62	69
Florestas de pinheiro bravo com folhosas	26	52	62	69
Florestas de pinheiro manso com folhosas	26	52	62	69
Florestas de outra resinosa com folhosas	26	52	62	69
Florestas de misturas de resinosas com folhosas	26	52	62	69
Vegetação herbácea natural	49	69	79	84
Matos densos	30	58	71	78
Matos pouco densos	40	65	45	82
Vegetação esclerófita densa	30	58	71	78
Vegetação esclerófita pouco densa	40	65	45	82
Florestas abertas de sobreiro	46	68	78	84
Florestas abertas de azinheira	46	68	78	84
Florestas abertas de outros carvalhos	46	68	78	84
Florestas abertas de castanheiro	46	68	78	84
Florestas abertas de eucalipto	46	68	78	84
Florestas abertas de espécies invasoras	46	68	78	84
Florestas abertas de outras folhosas	46	68	78	84
Florestas abertas de sobreiro com folhosas	46	68	78	84
Florestas abertas de azinheira com folhosas	46	68	78	84
Florestas abertas de outros carvalhos com folhosas	46	68	78	84
Florestas abertas de castanheiro com folhosas	46	68	78	84
Florestas abertas de eucalipto com folhosas	46	68	78	84
Florestas abertas de espécies invasoras com folhosas	46	68	78	84
Florestas abertas de outra folhosa com folhosas	46	68	78	84
Florestas abertas de pinheiro bravo	46	68	78	84
Florestas abertas de pinheiro manso	46	68	78	84
Florestas abertas de outras resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de pinheiro bravo com resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de pinheiro manso com resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de outra resinosa com resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de sobreiro com resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de azinheira com resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de outros carvalhos com resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de castanheiro com resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de eucalipto com resinosas	46	68	78	84
Florestas abertas de espécies invasoras com resinosas	46	68	78	84

