

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Aplicação de índices geomorfológicos na compreensão da evolução da bacia hidrográfica do Rio Paiva.

José Paulo Lopes Sousa

M

2019



José Paulo Lopes Sousa

**Aplicação de índices geomorfológicos na compreensão da
evolução da bacia hidrográfica do Paiva**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Setembro de 2019

Aplicação de índices geomorfológicos na compreensão da evolução da bacia hidrográfica do Paiva

José Paulo Lopes Sousa

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira
Gomes

Membros do Júri

Professora Doutora Laura Maria Pinheiro de Machado Soares
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Classificação obtida: 18 valores

Declaração de Honra

Declaro que a presente dissertação é de minha autoria e não foi utilizado previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (afirmações, ideias, pensamentos) respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referenciação. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Porto, 30 de setembro de 2019

José Paulo Lopes Sousa

Para o meu irmão Luís

Agradecimentos

Em primeiro lugar um agradecimento especial ao Professor Doutor Alberto Gomes pelas conversas, amizade, orientação, pela constante partilha de conhecimentos e palavras de incentivo nas fases menos boas. O auxílio e as críticas construtivas nos momentos cruciais desta longa aventura foram essenciais e sem isso não seria possível o findar desta etapa. O meu muito obrigado também pelo incentivo à participação em congressos científicos, pelas viagens à área de estudo e pelo acompanhamento nas viagens a Évora.

Ao Professor António Martins o meu muito obrigado pela hospitalidade aquando das deslocações a Évora e pela disponibilidade para partilhar conhecimentos tão importantes para o enriquecimento deste estudo.

Deixo também um agradecimento ao Professor José Teixeira e ao Professor Ricardo Batista pelas palavras de encorajamento e disponibilidade que sempre tiveram para comigo.

Aos meus pais, avós e restante família agradeço do fundo do coração todo o incentivo, esforço e compreensão que sempre demonstraram. Pelos conselhos, desabafos, críticas construtivas e votos de confiança. Pela liberdade de me deixarem percorrer o meu caminho, sempre com a vontade e disponibilidade permanente em ser parte integrante do meu percurso académico. Pelo vosso amor incondicional sabem que vos sou eternamente grato.

Ao meu irmão Luís, estarei sempre grato por toda a confiança que deposita em mim e pela vontade de todos estes anos estar presente nos eventos importantes deste meu percurso apesar da minha ausência do dia a dia. Tem sido um privilégio ver-te crescer. A ti dedico esta dissertação.

A Alexandra agradeço toda a companhia, as palavras de encorajamento, a paciência e vontade de ajudar, ao longo destes anos, principalmente nesta reta final. Sem o teu apoio o caminho teria sido mais difícil.

A todos os meus amigos quero acima de tudo agradecer os momentos e as vivências que pude disfrutar ao vosso lado durante o meu percurso académico. O apoio que sempre demonstraram e as palavras de encorajamento ajudaram a que esta etapa conseguisse ser fechada com sucesso. Um obrigado especial aquela malta do ano 2012 / 2012+1.

Resumo

O rio Paiva tornou-se recentemente num destino turístico com elevada procura não só pelas paisagens, trilhos e geossítios que se podem encontrar ao longo do seu percurso, principalmente no seu trecho pertencente ao Arouca Geopark, como pelas condições favoráveis à prática dos mais variados desportos radicais aquáticos que possui.

A sua bacia hidrográfica destoa das restantes sub-bacias hidrográficas do rio Douro pelo seu formato, que se apresenta de forma quase paralela ao curso médio do Douro onde a forte dissimetria que existe dentro da bacia em relação aos factores condicionantes da evolução da rede hidrográfica e da sua geomorfologia são merecedores de análise.

No presente estudo, numa primeira fase procura-se a obtenção de um modelo digital de elevação com rigor, seguido de uma análise global das condições atuais da bacia e dos factores condicionantes da rede hidrográfica.

Com a análise do perfil longitudinal do rio Paiva foi possível inferir sobre a localização de knickpoints, que são quebras mais acentuadas de declive, associados a rápidos e em casos extremos a quedas de água, sendo que estes estão profundamente interligados com a evolução do perfil longitudinal dos rios. A sua existência promove a dinâmica dos cursos de água originando divisões sectoriais no rio Paiva, a partir das quais é possível inferir sobre comportamentos antigos que podem explicar o seu traçado atual.

Na fase final do estudo o cálculo de índices geomorfológicos para o rio Paiva permitiu a análise aprofundada do seu traçado atual, de possíveis traçados antigos e das distintas dinâmicas que apresenta conforme as diferentes condicionantes que encontra até desembocar no rio Douro.

Palavras-chave: Paiva; Perfil Longitudinal; Knickpoints; Índices Geomorfológicos; Geoturismo.

Abstract

The Paiva River has recently become a tourist destination with high demand not only for the landscapes, trails and geosites that can be found along its route, especially in its section belonging of Arouca Geopark, but also for the favourable conditions for the practice of the most varied. extreme water sports

Its river basin differs from the other sub-basins of the Douro river by its shape, which is almost parallel to the middle course of the Douro, where the strong dissymmetry that exists within the basin in relation to the factors affecting the evolution of the river and of its geomorphology are worthy of analysis.

In the present study, the first step is to obtain a rigorous digital elevation model, followed by a global analysis of the current conditions of the basin and the conditioning factors of the hydrological network.

With the analysis of the longitudinal profile of the Paiva River, it was possible to infer about the location of knickpoints, which are steeper slope breaks, associated with rapid and in extreme cases waterfalls, being deeply interconnected with the evolution of the longitudinal profile of the rivers. Its existence promotes the dynamics of watercourses giving rise to sectoral divisions in the Paiva River, from which it is possible to infer old behaviours that may explain its current layout.

In the final phase of the study, the calculation of geomorphological indexes for the Paiva River aims at in-depth analysis of its current layout, possible ancient outlines and the different dynamics it presents according to the different conditions that it finds until it flows into the Douro River.

Keywords: Paiva; Longitudinal Profile; Knickpoints; Geomorphological Indexes; Geotourism.

Índice

Declaração de Honra	5
Agradecimentos	7
Resumo	9
Abstract.....	10
Índice de figuras.....	12
Índice de tabelas.....	14
Lista de abreviaturas e siglas	15
I. Introdução	16
I. 1. Enquadramento Geral	17
I. 2. Objetivos	19
I. 3. Estrutura da Dissertação	19
I. 4. Materiais e Dados	20
II. Conceitos Base	23
II. 1. Geomorfologia Fluvial	24
II. 2. Perfil Longitudinal.....	29
II. 3. Knickpoint e Knickzones	32
II. 4. Erosão Remontante.....	36
II. 5. Nível de Base	37
II. 6. Competência e Capacidade de um Rio.....	39
II. 7. Gradiente de um Rio	39
III. A Bacia do Paiva	41
III. 1. Metodologia e materiais de base	42
III. 2. Geomorfologia.....	47
III. 3. Litologia.....	54
III. 4. Precipitação e Hidrologia.....	57
III. 5. Perfil Longitudinal e Knickpoints do Rio Paiva	64
IV. Índice de Gradiente (SL) & Índice de Inclinação Normalizado (K_{SN})	70
IV 1. Índice de Gradiente (SL) de John T. Hack.....	71
IV 1.1 Índice de Gradiente (SL) de John T. Hack – Método	72
IV 1.2 Índice de Gradiente (SL) de John T. Hack – Resultados	75
IV 2. Índice de Inclinação Normalizado (K_{SN})	77
IV 2.1 Índice de Inclinação Normalizado (K_{SN}) - Métodos	78
IV 1.2 - Índice de Inclinação Normalizado (K_{SN}) -Resultados.....	81
V. Atividade turística na bacia do Paiva	84

V.1 Locais e atividades turísticas na bacia do Paiva.....	85
VI. Conclusões.....	89
VI.1 Síntese e considerações finais	90
VI.2. Perspetivas Futuras	93
Referências bibliográficas.....	95

Índice de figuras

Figura 1 Enquadramento geral da Bacia Hidrográfica do Rio Paiva.	17
Figura 2 Bacia de Drenagem com a hierarquia de drenagem seguindo o critério de Strahler (Adaptado de Charlton, 2008).	25
Figura 3 Exemplos de padrões da rede de drenagem (Adaptado de Charlton, 2008).	27
Figura 4 Rede hidrográfica hierarquicamente ordenada de acordo com: (a) o Modelo de Horton (1945); (b) o Modelo de Strahler (1957); (c) o modelo de Shreve (1966). (Adaptado de Goudie, 2004)	28
Figura 5 Ilustração dos tipos de perfis longitudinais.....	30
Figura 6 - Rápidos no rio Paiva.....	32
Figura 7 Morfologia do knickpoint (Adaptado de Gardner, 1983).	33
Figura 8 Perfil longitudinal da Ribeira de Deilão, afluente do Rio Paiva.	34
Figura 9 Perfil longitudinal e declive longitudinal da Ribeira de Deilão, afluente do Rio Paiva.	35
Figura 10 Evolução de knickpoints em substratos rochosos de diferentes resistências (Adaptado de Gardner, 1983).....	36
Figura 11 Ilustração da migração do knickpoint e da vaga erosiva remontante ao longo de uma bacia de drenagem, a partir de uma queda única do nível de base (Adaptado de Gallen & Wegmann, 2015)	37
Figura 12 Esquema ilustrativo da mudança de nível de base (C. Ferreira 2010)	38
Figura 13 Metodologia de obtenção do Modelo Digital de Elevação	42
Figura 14 Metodologia para a obtenção de cartografia temática.	43
Figura 15 Metodologia para obtenção da rede de drenagem e delimitação da Bacia do Paiva... ..	45
Figura 16 Metodologia para obtenção da Bacia do Paiva e respectiva rede de drenagem.....	46
Figura 17 Mapa hipsométrico e rede hidrográfica da Bacia do Paiva.....	47

Figura 18 - Paisagem na Bacia do Paiva.....	49
Figura 19 Mapa de declives da bacia do Paiva	50
Figura 20 Cortes na bacia do Paiva para a realização dos perfis topográficos.....	51
Figura 21 Perfil topográfico A	52
Figura 22 Perfil topográfico B	52
Figura 23 Perfil topográfico D	53
Figura 24 Perfil topográfico C	53
Figura 25 Mapa litológico da bacia do Paiva.....	54
Figura 26 - Passadiços do Paiva.....	55
Figura 27 Mapa da precipitação média anual na bacia do Paiva.....	57
Figura 28 Caudal médio diário na estação hidrométrica de Castro Daire – Fonte: SNIRH.....	58
Figura 29 Caudal médio diário na estação hidrométrica de Fragas da Torre - Fonte: SNIRH....	59
Figura 30 Mapa de ocupação e uso do solo (1995).....	60
Figura 31 Mapa de ocupação e uso do solo (2007).....	61
Figura 32 Mapa de ocupação e uso do solo (2010).....	62
Figura 33 Mapa de ocupação e uso do solo (2015).....	63
Figura 34 Perfil longitudinal do Rio Paiva e síntese morfométrica	64
Figura 35 Mapa hipsométrico e knickpoints da bacia do Paiva	65
Figura 36 Mapa litológico e knickpoints da Bacia do Paiva.....	66
Figura 37 – Poster informativo do geossítio Rápido do Salto'	67
Figura 38 - Knickpoint Rápido do Salto	68
Figura 39 Perfis dos sectores individuais para análise do índice de gradiente SL	73
Figura 40 Gráficos de dispersão dos três perfis	74
Figura 41 Perfis longitudinais estimados de acordo com a fórmula SL de Hack.....	75
Figura 42 Script do model builder para o cálculo das sub-bacias	79
Figura 43 Mapa hipsométrico e valores KSN do Rio Paiva.....	81
Figura 44 Mapa litológico e valores KSN do Rio Paiva	82
Figura 45 - Kayaking no rio Paiva	86
Figura 46 Empresas e clubes de desportos radicais aquáticos e locais de atividades	87
Figura 47- Percursos pedestres, pequenas rotas e praias fluviais	88

Índice de tabelas

Tabela 1 Dados e fontes utilizadas.....	22
Tabela 2 Dados gerais das Estações Hidrométricas ativas na bacia do Paiva.....	58
Tabela 3 Dados base para o cálculo do índice de gradiente SL	73
Tabela 4 Dados tabulares obtidos e cálculo do K_{SN}	80

Lista de abreviaturas e siglas

BHP – Bacia Hidrográfica do Paiva

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

COS – Carta de Ocupação do Solo

CXG – Complexo Xisto-Grauváquico

DGT – Direção-Geral do Território

Gr – Gradiente médio

ICNF – Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas

IGEOE – Instituto Geográfico do Exército

KP(s) – Knickpoints

KCZ(s) – Knickzones

Ks – Índice de Inclinação

K_{SN} – Índice de Inclinação Normalizado

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MDE – Modelo Digital de Elevação

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SL – Índice de Gradiente

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

ZCI – Zone Centro Ibérica

I. Introdução

Os passadiços do Paiva percorrem o vale do rio Paiva em completa harmonia com a natureza durante um percurso de 8 Km entre Espiunca e Areinho. Este projecto visionário faz parte do Arouca Geopark desde que foi inaugurado em 2015, sendo um dos grandes destinos turísticos não só do geoparque, como da região Norte de Portugal. Foi já classificado como um dos rios menos poluídos da Europa e faz parte da Rede Natura 2000 como Sítio de Importância Comunitária. (ICNF, 2008)

Os seus ecossistemas e habitats são considerados prioritários a nível europeu. Ao longo das margens do rio, existe uma flora variada e bem conservada e uma fauna rica e diversa, existindo espécies com medidas de proteção e conservação a nível europeu salvaguardadas pela Rede Natura 2000¹.

Ao longo do rio observa-se também alguma diversidade de paisagens e vários geossítios. Aliás, logo no início dos Passadiços do Paiva, junto à ponte de Espiunca, é possível constatar, de forma bem clara, expressa num afloramento de quartzitos a falha de Espiunca. Apenas no pequeno trajeto de cerca de 8,7 quilómetros dos passadiços encontram-se cinco geossítios merecedores de visita, múltiplos rápidos e afloramentos geológicos diferenciados².

A exploração turística nesta área é possível derivado a estas características naturais para a realização de caminhadas em percursos temáticos e à inteligente utilização dos rápidos e knickpoints espalhados pelo curso do rio para a prática de desportos radicais com o rafting, canyoning e kayaking (Vieira & Cunha, 2014).

No entanto, a bacia do rio Paiva ao possuir estas características, pode ainda ser utilizada para pequenas explorações hidroelétricas, para a exploração de pequenas áreas de regadio através das pequenas ribeiras que ganham expressão na Primavera e pode ser considerada uma reserva estratégica de água potável para os concelhos pertencentes à sua bacia e para a Área Metropolitana do Porto.

¹ https://ec.europa.eu/environment/basics/natural-capital/natura2000/index_pt.htm (Consultado em 2019)

² <http://aroucageopark.pt/pt/conhecer/geodiversidade/rota-dos-geossitios/> (Consultado em 2019)

Sernancelhe, Viseu, Lamego e Moimenta da Beira (figura 1).

Destoa das restantes sub-bacias hidrográficas do rio Douro, no formato que apresenta, correndo de forma quase paralela ao curso médio do Douro. Outra diferença reside na forte dissimetria que existe entre a margem direita e a margem esquerda do rio Paiva relativamente à área drenada por cada uma (figura 1), sendo que a margem esquerda, a montante de Reriz, recebe praticamente apenas a drenagem da vertente do vale do Paiva (A. d. B. Ferreira, 1978).

De forma a enquadrar esta bacia segue-se uma descrição muito geral das suas características, dentro dos seus 795,9 Km² de área e 211,6 Km de perímetro, as quais vão ser individualmente chamadas para análise numa fase posterior.

Relativamente à litologia presente na bacia hidrográfica do Paiva, os granitos e as rochas metamórficas, nomeadamente xistos e grauvaques, são as litologias dominantes ao longo da bacia. É a partir do centro da bacia que a dissimetria se torna notória, observando-se maioritariamente rochas metamórficas a Este, enquanto, a Oeste os granitos dominam (LNEG³).

Em termos de relevo a bacia está contida a norte pela Serra de Montemuro, a Nordeste pela Serra de Leomil, a Su-Sudeste encontramos a Serra de S^o Lourenço e a Su-Sudoeste a Serra de São Macário. Também está ainda limitada a Sudoeste pela Serra da Arada, a Oés-Sudoeste pela Serra da Freita e a Oeste pelo Monte da Senhora da Mó e Monte de Santo Adrião.

Com várias serras a constituir os limites da bacia, confirma-se que existe um bom espectro de variação da hipsometria ao longo da bacia que tem seu ponto máximo a uma altitude de 1380 metros na Serra de Montemuro, e uma altitude média de 685 metros dentro dos limites da bacia hidrográfica, onde o uso do solo predominante é a floresta e meios naturais e seminaturais (COS 2015⁴) ocupando cerca de 85% da área da bacia, principalmente na parte Oeste onde as vertentes são mais inclinadas e os vales escavados, limitando a agricultura que por sua vez ganha expressão na área da foz com o Douro e na

³ Carta Geológicas de Portugal 1:50000, folhas 13B,13C,13D,14^a,14B,14C,14D

⁴ Carta de Ocupação e Uso do Solo 2015

área Este onde o relevo se transforma como supramencionado.

Do ponto de vista hidrológico, a bacia do rio Paiva regista em média de valores de precipitação anuais entre 1400 – 1600 milímetros podendo, no entanto, atingir os valores máximos anuais entre 2500-3000 milímetros no ponto mais alto da bacia, a Serra de Montemuro (Daveau, 1977).

I. 2. Objetivos

O objectivo principal deste trabalho reside na análise geomorfológica e estatística da bacia hidrográfica do rio Paiva, do seu perfil longitudinal, assim como na exploração dos factores explicativos do seu traçado e evolução geomorfológica. Como objetivos específicos pretende-se:

- i. proceder a uma análise morfométrica da bacia hidrográfica do Paiva e a sua rede hidrográfica;
- ii. analisar o traçado do rio Paiva e da rede de drenagem da bacia;
- iii. identificar Knickpoints e Knickzones no perfil longitudinal do Paiva;
- iv. calcular possíveis níveis de equilíbrio antigos e correspondentes níveis de incisão, através do índice de gradiente SL (Stream-Gradient Index);
- v. calcular o índice K_{SN} (Normalized Steepness Index) ao longo do perfil longitudinal do Paiva e a distinção de sectores em termos de incisão fluvial;
- vi. interpretar as classes K_{SN} em função da litologia do leito, área da bacia e outros factores que se julguem pertinentes.
- vii. inventariar as atividades turísticas e de lazer associadas ao leito do rio Paiva.

I. 3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação divide-se em seis capítulos principais, os quais estão dispostos seguindo a ordem pela qual os trabalhos foram realizados e as metodologias necessárias para obter o rigor que o estudo merece, foram realizadas.

O primeiro capítulo tem na sua génese uma índole introdutória ao tema principal, aos objetivos pretendidos, ao enquadramento da área de estudo e a especificação dos dados de base e respectivas fontes.

O segundo capítulo consiste numa extensa pesquisa bibliográfica e apresentação dos conceitos mais importantes e imprescindíveis para o estudo do tema, de forma a garantir uma correcta e bem fundamentada análise científica dos resultados que são obtidos.

O terceiro capítulo inicia-se com a apresentação da primeira parte da metodologia detalhada que foi utilizada, seguindo-se uma análise dos mais importantes factores condicionantes da rede hidrográfica que caracterizam a bacia hidrográfica do Paiva na atualidade, terminando com os primeiros resultados obtidos e sua análise conjunta.

O quarto capítulo aborda os índices geomorfológicos aplicados no perfil longitudinal do rio Paiva, expondo a metodologia para cada um dos mesmos, com o objetivo de construir uma análise melhor fundamentada sobre as dinâmicas que o mesmo apresenta e para a obtenção de conhecimentos que complementem o entendimento sobre os vários obstáculos que teve de ultrapassar enquanto talhava o seu percurso e vale atual.

O quinto capítulo recai na vertente do ordenamento do território, neste caso incidindo no turismo geocultural e na prática de desportos/actividades radicais aquáticas, que tem vindo a crescer, dando assim a conhecer esta faceta da bacia do Paiva com enorme potencial para continuar a desenvolver-se.

Por fim, no sexto capítulo são expostas as considerações finais, hipóteses e ideias sobre possíveis condicionantes e causas da evolução do rio Paiva até aos dias atuais e perspectivas para trabalhos futuros.

I. 4. Materiais e Dados

Nesta dissertação existiu uma comparação prévia dos modelos digitais do terreno obtidos a partir de duas fontes distintas, nomeadamente, da cartografia militar portuguesa produzida pelo IGEOE (Instituto Geográfico do Exército), folhas N°135, N°136, N°145,

Nº146, Nº147, Nº148, Nº155, Nº156, Nº157, Nº158, Nº165, Nº166, Nº167 e Nº168 (escala 1:25000) e os dados altimétricos provenientes da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Os dados da cartografia militar do IGeoE mostraram-se mais eficientes na obtenção do modelo digital de elevação mais fidedigno para servir de base ao estudo.

Desta forma, a rede hidrográfica do rio Paiva, o relevo e os limites da sua bacia hidrográfica foram retirados através de um modelo digital de elevação, realizado tendo como base a informação vectorial da cartografia militar portuguesa à escala 1:25 000, incluindo a rede hidrográfica, as curvas de nível com equidistância de 10 metros e pontos cotados. Posteriormente, de forma a complementar e aprofundar a análise, foram usadas também as Cartas Geológicas 1:50 000 da área de estudo (folhas 13B, 13C, 13D, 14A, 14B, 14C e 14D). O sistema de coordenadas utilizado ao longo deste estudo foi o Lisboa Hayford Gauss IGeoE.

A ferramenta mais utilizada para trabalhar os dados e obtenção de resultados ao longo da dissertação foi o *software ArcGIS Desktop 10.4.1* que permitiu a elaboração de cartografia temática, esquemas interpretativos e edição de dados espaciais e/ou tabulares, enquanto para realizar metodologias específicas, cálculos estatísticos intermédios e gráficos foi utilizado o *software Microsoft Office Excel*. Para a elaboração de tabelas e esquemas o *software Microsoft Office Publisher* foi o escolhido. O *software Adobe Illustrator CC 2015* foi utilizado para complementar esquemas ilustrativos e figuras.

Na tabela 1 encontra-se um sumário dos dados utilizados bem como as diferentes características e respectivas fontes.

Tabela 1 Dados e fontes utilizadas

Dados	Escala	Tipo de Dados	Fonte
Pontos Cotados Curvas de Nível Rede Hidrográfica	1 : 25 000	Vectorial & Raster	IGEOE
Imagens Satélite SRTM	30 x 30	Raster	https://earthexplorer.usgs.gov
Carta Administrativa de Portugal	1 : 25 000	Vectorial	http://mapas.dgterritorio.pt/ows/caop/continente
Geologia	1 : 50 000	Raster & Vectorial	https://lneg.pt
Uso do Solo - Carta de Ocupação do Solo Ano 1995 ; Ano 2007; Ano 2010; Ano 2015;	1 : 25 000	Vectorial	http://mapas.dgterritorio.pt/wms/cos1995v1 http://mapas.dgterritorio.pt/wms/cos2007v2 http://mapas.dgterritorio.pt/wms-inspire/cos2010v1 http://mapas.dgterritorio.pt/wms-inspire/cos2015v1
Precipitação	---	Raster & Formato papel	Suzanne Daveau (1977)
Hidrologia	---	Vectorial & Tabular	https://snirh.apambiente.pt/

II. Conceitos Base

II. 1. Geomorfologia Fluvial

“A geomorfologia fluvial é unicamente a geomorfologia dos rios.”

(Goudie, 2004)

“A geomorfologia fluvial é o estudo das interações entre as formas e processos dos canais fluviais numa escala de tempo e espaço.”

(Charlton, 2008)

A unidade base nos sistemas fluviais é a bacia de drenagem, ou bacia hidrográfica, pois esta delimita a área total onde a água e os sedimentos disponíveis para a drenagem estão inseridos (figura 2). Por norma, quando se situam em áreas montanhosas a separação de bacias vizinhas e a área de drenagem pode ser facilmente definida, estando delimitada por cabeceiras de montanhas ou colinas existentes ao seu redor, enquanto que no caso de terrenos mais aplanados essa delimitação constitui um desafio maior (Charlton, 2008). Geralmente, a foz de um rio estará num nível inferior do resto da bacia em termos de hipsometria. Dentro de cada bacia podemos observar uma hierarquia entre um curso de água principal e um variado número de tributários, ou afluentes. Com a união sequencial dos tributários ao canal principal, o caudal e o tamanho do rio vai progressivamente aumentando, quanto maior for a distância percorrida para jusante. As dimensões de cada bacia podem variar bastante, desde alguns quilómetros até vários milhares de km² de área. No entanto, os principais processos e dinâmicas ocorrem de igual forma em todas elas podendo, no entanto, ter diferentes magnitudes de acordo com essas dimensões (Charlton, 2008).

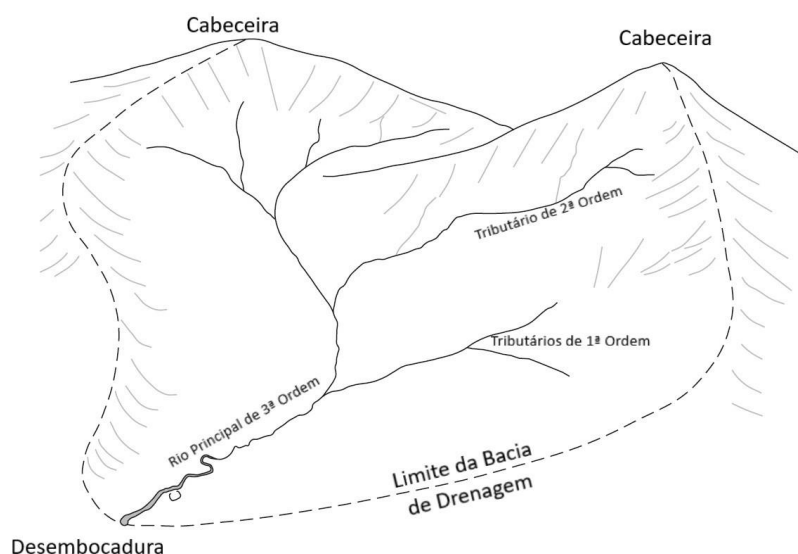


Figura 2 Bacia de Drenagem com a hierarquia de drenagem seguindo o critério de Strahler (Adaptado de Charlton, 2008).

Cada bacia hidrográfica é única, podendo, no entanto, existir semelhanças entre bacias, em termos da sua forma e do padrão para o qual a rede de drenagem evolui. Estas semelhanças são mais facilmente encontradas em sub-bacias próximas e que partilhem a mesma bacia hidrográfica principal, pois os factores que influenciam estes aspetos, não serão muito diferentes. Estes factores são, por exemplo, o clima, a geologia e/ou estrutura geológica, e a topografia da área onde se encontram (Charlton, 2008).

A zona climática onde se insere a bacia é um factor com grande peso na drenagem levada a cabo pelos rios e seus tributários, sendo essa drenagem contínua e extensa em quase todas as zonas climáticas, com excepção de zonas híper áridas ou permanentemente congeladas (Charlton, 2008). Isto, leva a que se verifique um processo contínuo de drenagem onde a grande parte da água disponível nessas áreas, inclusive aquela que é fornecida pela precipitação, é drenada e transporta sedimentos para jusante. De modo teórico, em áreas propensas a grandes volumes de precipitação, os rios vão atingir valores de caudal máximo mais elevados e os processos erosivos e de transporte serão mais intensos, conduzindo à evolução da rede de drenagem.

Na figura 3, observamos alguns padrões que as redes de drenagem podem apresentar, verificando-se que a geologia das bacias (litologia e deformação) é um dos factores que mais influencia o padrão de distribuição espacial que a rede de drenagem

assume. O exemplo da figura 3A que corresponde a uma rede de drenagem dendrítica, é um típico caso onde a geologia da área influencia a distribuição espacial da bacia. Este padrão encontra-se, maioritariamente, em áreas onde existem substratos rochosos de fraca resistência, por exemplo, substratos xistentos e arenosos. Neste contexto, de baixa resistência litológica e com a ausência de obstáculos mais resistentes, a evolução da rede de drenagem de forma aleatória, é facilitada através dos processos erosivos.

O caso exemplar onde se pode verificar a importância da topografia na evolução da rede, está representado no exemplo 3B, que apresenta uma rede de drenagem paralela. Este tipo de drenagem ocorre, por exemplo, em encostas de montanhas de inclinações regulares e de forte declive, onde o canal situado a um nível superior, explora a força que a gravidade fornece aos processos erosivos já existentes, fomentando assim a evolução da rede que atinge este padrão de drenagem.

No exemplo 3C encontramos uma rede de drenagem do tipo treliça, e no exemplo 3D uma rede de drenagem do tipo rectangular. Estes casos estão geralmente associados à estrutura geológica da área, mais propriamente em áreas de deformação geológica vincada, bem como à topografia da área, sendo mais frequentes onde exista alguma inclinação no relevo. A rede treliça tem a sua forma associada a estruturas dobradas situadas em locais com alguma inclinação, onde os canais geralmente evoluem de forma paralela às dobras e perpendicularmente quando conseguem erodir e ultrapassar a dobra com a ajuda da topografia local.

No caso da rede rectangular, a sua origem estará também relacionada com a estrutura, neste caso, com estruturas de falhas verticais ou horizontais, onde as fraquezas estruturais criam ângulos retos entre si, forçando os canais a evoluir ao longo dos mesmos, resultando assim a sua forma de distribuição espacial rectangular (Charlton, 2008). Também aqui os factores topográficos, conciliados com as estruturas de falha, podem facilitar este tipo de padrão de drenagem.

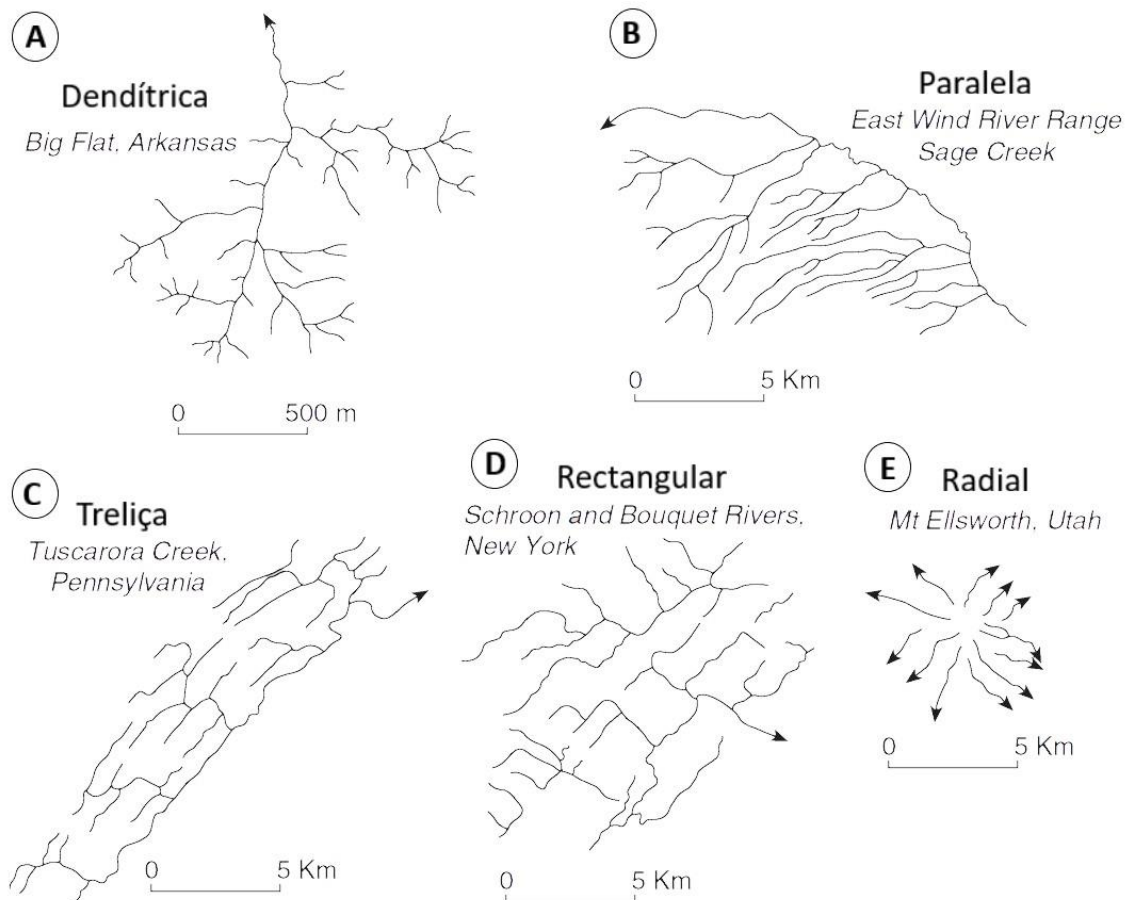


Figura 3 Exemplos de padrões da rede de drenagem (Adaptado de Charlton, 2008).

O exemplo da figura 3E, corresponde a uma rede de drenagem com um padrão radial onde a estrutura geológica e a topografia desempenham um papel importante, tendo em conta que estes casos resultam de processos erosivos simétricos e são geralmente encontrados em vulcões ou domos levantados (Charlton, 2008).

Estes segmentos que formam a rede de drenagem, fazem parte do sistema fluvial de cada bacia, no sentido em que se verificam processos que causam a sua constante evolução. Desta forma, fazem parte de um sistema aberto onde existe troca de matéria e energia, considerando que cada segmento do rio, de forma individual, é a unidade base deste sistema.

Cada segmento possui 2 extremidades, o ponto inicial e o seu ponto final. Assim, uma rede é formada por segmentos e por nódulos, sendo estes últimos a designação dada aos locais onde existe junção entre segmentos. A ordem hierárquica dos segmentos de

determinada rede varia de acordo com o modelo através do qual é classificada como se observa na figura 4.

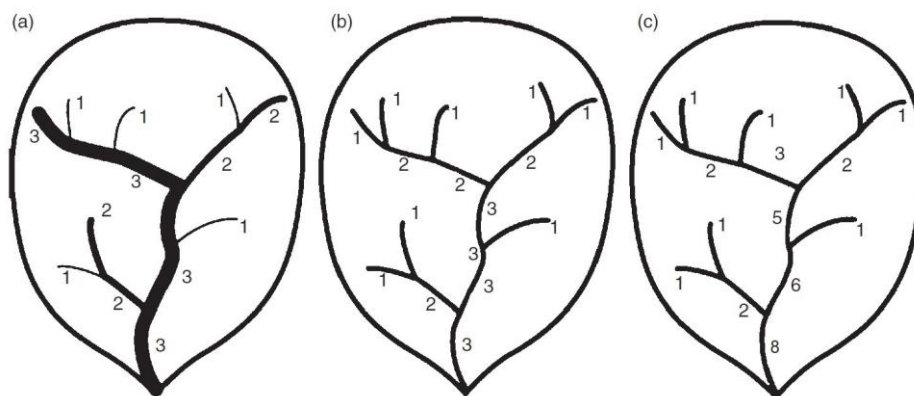


Figura 4 Rede hidrográfica hierarquicamente ordenada de acordo com: (a) o Modelo de Horton (1945); (b) o Modelo de Strahler (1957); (c) o modelo de Shreve (1966). (Adaptado de Goudie, 2004)

Horton (1945) foi o primeiro a utilizar este conceito de ordem numa rede de drenagem, com um modelo que procurava expressar a disposição hierárquica e a densidade de drenagem em termos quantitativos (Goudie, 2004). As regras utilizadas por Horton para delinear a ordem dos segmentos eram:

- a) Tributários não ramificados são sempre classificados como de 1ª ordem;
- b) Segmentos de 2ª ordem recebem unicamente tributários de 1ª ordem;
- c) Segmentos de 3ª ordem devem receber dois ou mais tributários de 2ª ordem, podendo também receber tributários de 1ª ordem;
- d) Segmentos de 4ª ordem recebem tributários de 3ª ordem e de ordens inferiores, e assim por diante, sendo o segmento principal da rede obrigatoriamente aquele que obtivesse a ordem mais elevada;

No entanto, Horton também defendia que a ordem do segmento principal da bacia deveria ser identificada desde a nascente até à foz (figura 4a). Sendo esta extrapolação da ordem considerada subjetiva e de difícil delimitação, foi o modelo de Strahler (1957), que propondo alterações ao método utilizado por Horton, começou a ser universalmente

utilizado (figura 4b). Desta forma, Strahler definiu como regras que:

- a) Segmentos sem tributários que fluem a partir de uma nascente são considerados de 1ª ordem;
- b) Aquando da junção de dois segmentos de 1ª ordem, um segmento de 2ª ordem é formado;
- c) Aquando da junção de dois segmentos de 2ª ordem, um segmento de 3ª ordem é formado, e assim por diante;
- d) Não há aumento de ordem quando um segmento de determinada ordem recebe um segmento de ordem inferior;

Shreve (1966), desenvolveu o conceito de magnitude da bacia (figura 4c) que, de forma simplificada, podemos afirmar que corresponde ao número de tributários com magnitude 1 que a bacia de drenagem possui. A cada segmento é atribuído o valor da sua magnitude, sendo que os segmentos sem tributários possuem valor 1, tendo os segmentos posteriores o valor da soma da magnitude dos segmentos que drenam em si.

A magnitude dos segmentos está intimamente relacionada com a proporção da área total de escoamento da bacia, proporcionando assim uma boa estimativa da descarga relativa dos segmentos, em pequenos sistemas fluviais (Charlton, 2008).

II. 2. Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal de um rio mostra a sua inclinação, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água (Christofolletti, 1980).

A visualização gráfica da inclinação de um rio permite-nos obter alguns elementos importantes acerca dele como o nível de base ao qual está sujeito na sua foz, a possível proximidade do estado de equilíbrio, o grau de concavidade ou de convexidade, nível de

base e ruturas de declive, podendo também com análises mais profundas e complementando-se o perfil com a litologia e falhas, inferir algum contexto da evolução da paisagem, e do traçado do rio e do seu vale ao longo do tempo.

Existem três traçados principais que os perfis longitudinais podem tomar, *i.e.*, côncavos, convexos ou em equilíbrio (Goudie, 2004), (Hack, 1973), (Kirby, Whipple, Tang, & Chen, 2003). Esta nomenclatura está relacionada com a curvatura que o traçado do rio apresenta no perfil. No caso dos traçados convexos e côncavos, as suas formas podem ser geralmente explicadas pela litologia do local onde se encontram e interligando com as ruturas de declive (Knickpoints) que encontramos ao longo do perfil, será possível inferir sobre o comportamento do rio e seu gradiente nesses sectores (Hack, 1973), (Goldrick & Bishop, 2007).

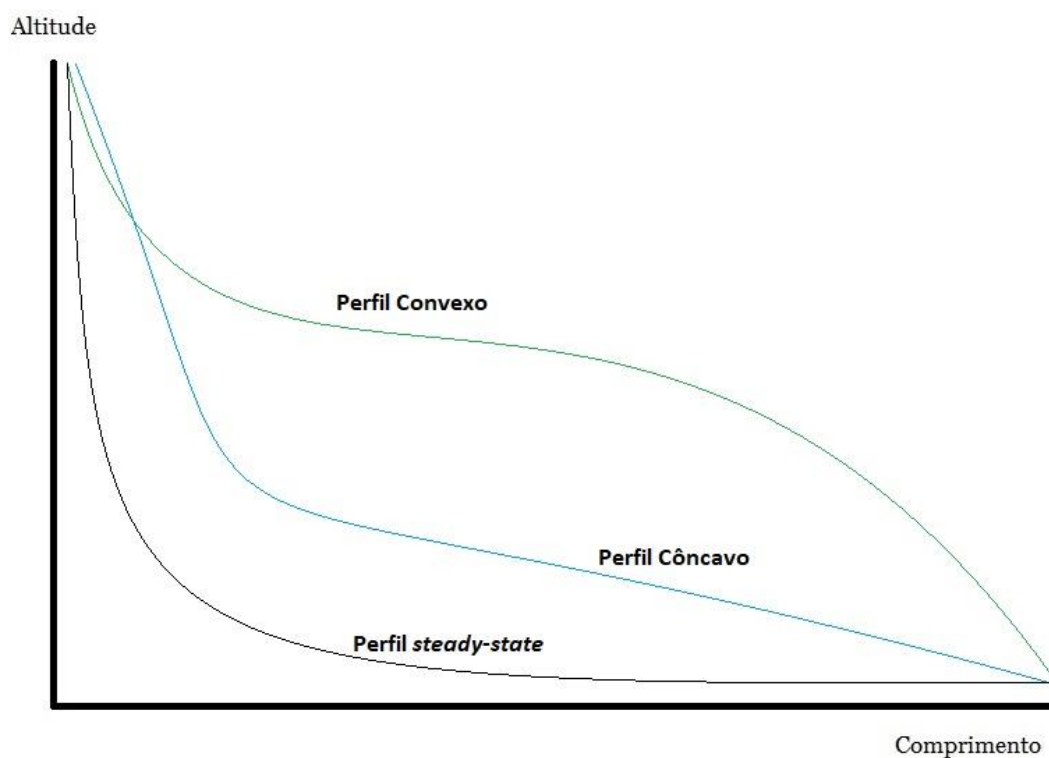


Figura 5 Ilustração dos tipos de perfis longitudinais

É importante destacar que todos os rios estão constantemente a trabalhar para atingir um perfil de equilíbrio ou *steady-state*, que se caracteriza pela forma em L e pela suave

curvatura côncava onde as ruturas de declive são inexistentes ou mínimas (Kirby et al., 2003). No entanto, é igualmente importante referir que nestas condições, o perfil de equilíbrio é meramente uma conceção teórica onde o rio equilibrado não entalha nem deposita, sendo meramente um agente transportador (Christofoletti, 1980).

Esta ideia não impede, no entanto, que sectores do rio atinjam o equilíbrio provisório, o que pode acontecer no sector mais a montante do perfil, chamado de troço relíquia, no caso de no passado o rio já ter atingido um estado próximo do equilíbrio numa idade transata.

Derivado a ser o troço mais antigo e mais a montante, se não existir um nível de base local mais a montante, i.e., barragens e lagos naturais, que interfira com a dinâmica previamente instalada neste sector, a erosão a remontante, se existir, será mais lenta pois a sua vaga erosiva perde força quanto mais para montante do nível de base geral do curso de água. Outra característica comum deste troço relíquia é o facto de geralmente terminar num Knickpoint antigo e resistente que impede a vaga erosiva de avançar para montante. Os troços mais a jusante também podem atingir um equilíbrio provisório se existir mudanças no nível de base verificado na foz do rio. Este equilíbrio propaga-se de maneira progressiva, sendo os sectores a jusante os primeiros a alcançar o perfil de equilíbrio provisório para colmatar a descida do nível de base geral e através da erosão a remontante os sectores a montante serão os últimos a atingi-lo (Christofoletti, 1980).

Complementando, em teoria, quanto maior for a capacidade erosiva de um rio, mais rapidamente este pode desgastar o seu leito e acentuar a sua concavidade aproximando-se ou alcançando assim o denominado estado de equilíbrio ou *steady-state* (Gomes, 2008).

II. 3. Knickpoint e Knickzones

Os Knickpoint(s) ou KP(s) referem-se a determinados pontos do perfil longitudinal do rio onde ocorre uma mudança drástica no declive do leito do rio (Goudie, 2004), estando interligados com a evolução do perfil longitudinal dos rios. Estão geralmente associados a rápidos e em casos extremos a quedas de água.



Figura 6 - Rápidos no rio Paiva

Para além do seu possível aproveitamento, seja para fins turísticos devido às paisagens que a sua existência proporciona, seja para a prática de desportos radicais como por exemplo rafting ou canyoning ou ainda o seu potencial para serem locais propícios à construção de barragens.

Na morfologia dos KPs podemos considerar vários elementos, patentes na figura 6.

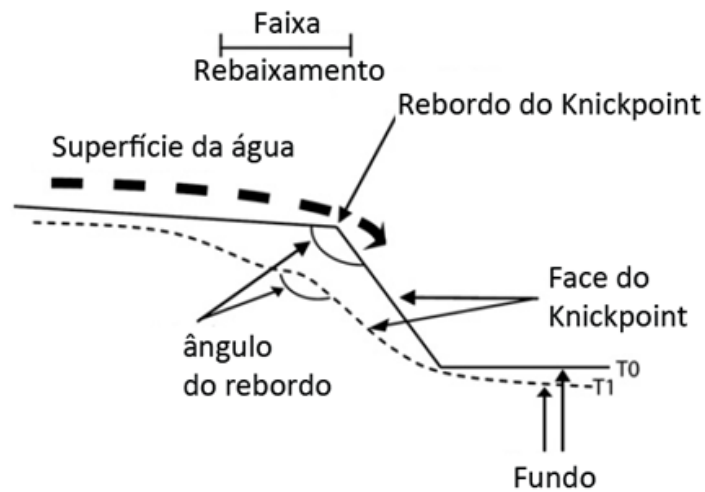


Figura 7 Morfologia do knickpoint (Adaptado de Gardner, 1983).

A sua existência promove a dinâmica nos cursos de água e origina uma divisão no perfil por sectores e, conseqüentemente, uma mudança das condições de equilíbrio, ou seja, o rio a jusante terá que se adaptar a novas condições enquanto o troço mais a montante, designado de troço relíquia, manterá o seu *steady-state* até que o KP evolua para montante ou outros factores o influenciem (A. Martins & Bento Caldeira, 2012).

Existem dois tipos de KPs, os transitórios e os permanentes, sendo que estes últimos se originam geralmente onde há transposição de litologias menos resistentes para litologias altamente resistentes a processos erosivos ou ainda falhas tectónicas (A. Martins & Bento Caldeira, 2012), e em último caso, em segmentos do rio onde exista um amplo abastecimento de sedimentos que impeça os processos erosivos de atuar normalmente.

No caso dos KPs transitórios, estes são “*considerados móveis ao longo do perfil longitudinal(...), migram no sentido da desembocadura para as cabeceiras da bacia hidrográfica, transmitindo a toda a bacia as novas condições de equilíbrio do sistema fluvial, impostas pelas variações dos mecanismos exteriores que controlam o sistema fluvial.*” (A. Martins & Bento Caldeira, 2012). Também a distinção entre o termo Knickpoint e o termo Knickzone é importante, sendo que este último se “*aplica a um troço do perfil longitudinal do rio mais inclinado do que os troços adjacentes, a montante*

e a jusante” (A. Martins & Bento Caldeira, 2012).

O processo mais comum de identificar Knickpoints num curso de água é geralmente através da sua identificação visual no perfil longitudinal do rio (figura 8).

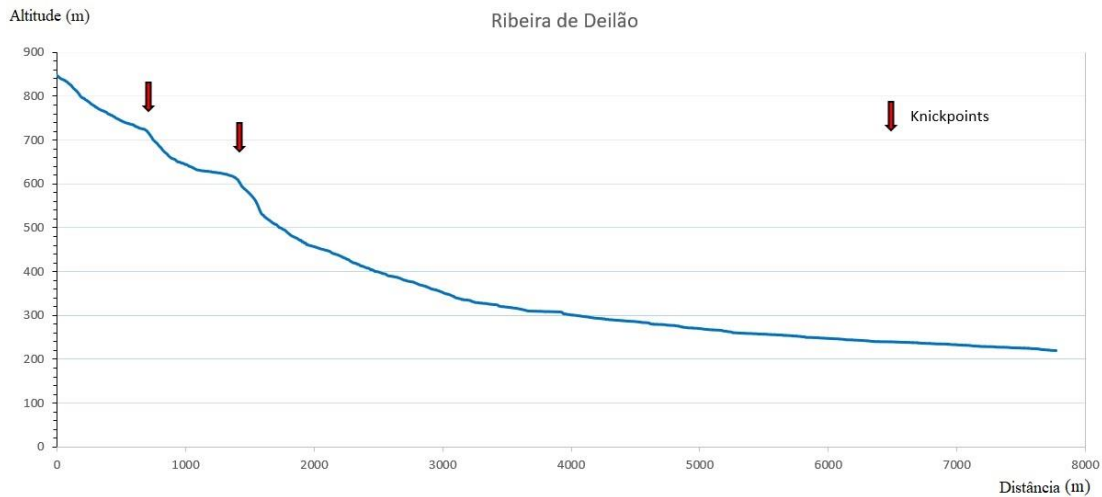


Figura 8 Perfil longitudinal da Ribeira de Deilão, afluente do Rio Paiva.

No entanto, este método visual de identificação dos KPs através do seu perfil longitudinal, pode ser complementado através da análise do declive longitudinal dos cursos de água que permite observar pequenas mudanças de declive no curso de água, fornecendo este cálculo uma forma mais viável de encontrar KPs que o método visual de análise do perfil longitudinal não permite identificar de forma explícita (figura 9).

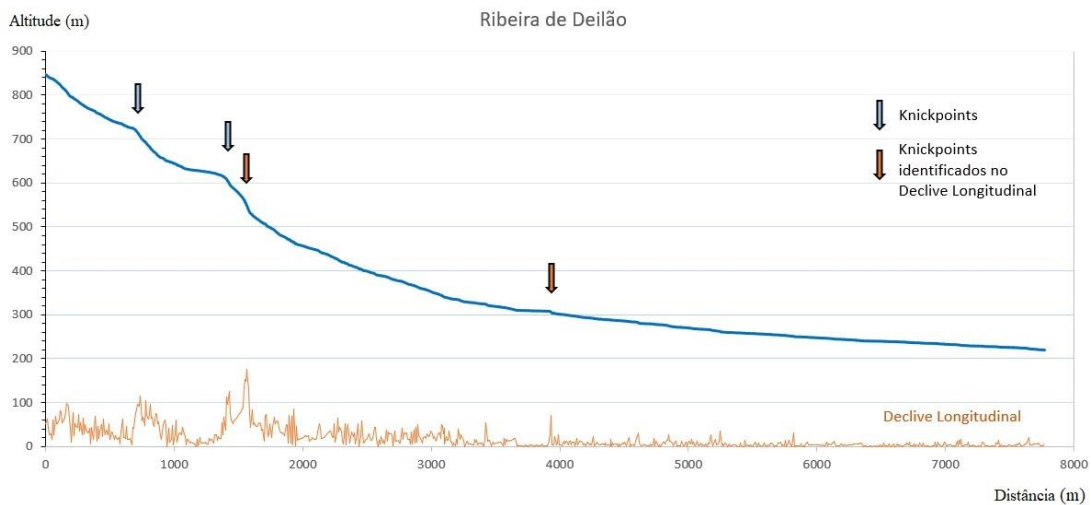


Figura 9 Perfil longitudinal e declive longitudinal da Ribeira de Deilão, afluente do Rio Paiva.

Como supracitado, os KPs ao longo do tempo vão evoluindo no curso de água de formas distintas onde um dos factores mais importantes para essa evolução, para além da força erosiva proveniente do caudal e factores externos, é o substrato rochoso que constitui cada curso de água (figura 10).

Em substratos rochosos pouco resistentes, *p. ex.*, substratos argilosos ou xistentos, o curso de água consegue erodir facilmente o rebordo do KP e, se existir assoreamento, eliminar esse desnível de declive no perfil do curso de água (figura 10A).

Onde o substrato rochoso que forma o rebordo do KP for muito resistente, *p. ex.*, quartzitos e granitos, e se verificar ausência de assoreamento, o KP deverá evoluir como observado na figura 10B.

Aquando de no substrato rochoso presente no rebordo do KP, se verificar a existência de *p.e.* substratos graníticos, estes oferecem mais dificuldades aos processos erosivos do curso de água, logo será muito mais demorado o equilíbrio das dinâmicas do curso de água através da evolução do KP (figura 10D), ou poderá nunca ter essa oportunidade, *p.e.*, no caso de quedas de água com camadas alternadas entre substratos rochosos muito resistentes e substratos pouco ou não resistentes (figura 10C).

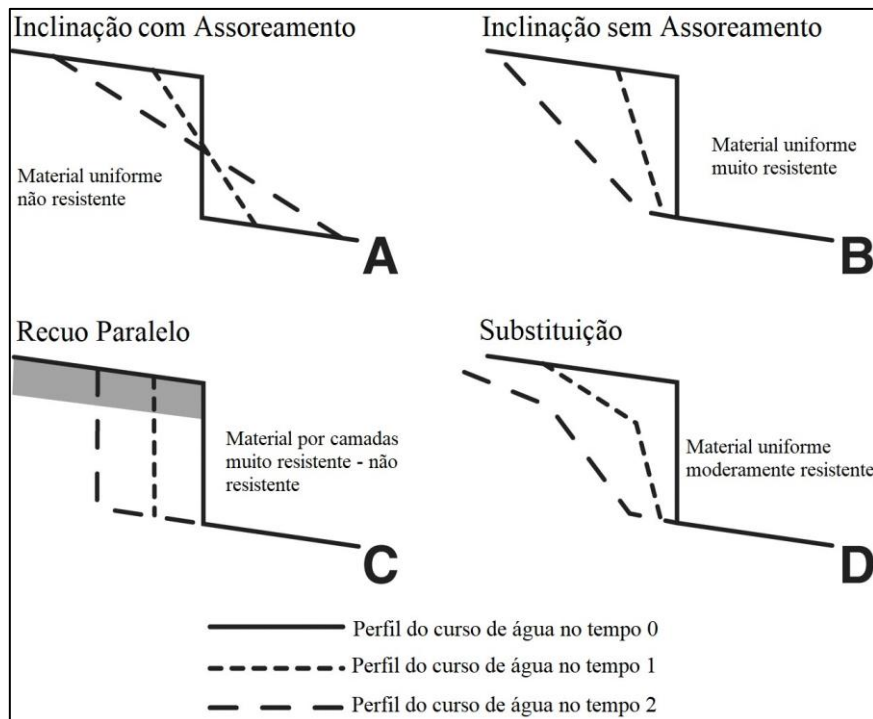


Figura 10 Evolução de knickpoints em substratos rochosos de diferentes resistências (Adaptado de Gardner, 1983)

II. 4. Erosão Remontante

A erosão remontante é um processo geomorfológico profundamente interligado com a morfologia dos KPs e diz respeito à sua migração no curso de água para montante (Goudie, 2004).

Este processo ocorre devido ao aumento de declive no leito o que implica um aumento considerável na capacidade erosiva do rio no substrato rochoso, em que a base do knickpoint é fustigada continuamente, levando a que essa escavação contínua da base, retire o suporte ao substrato rochoso superior e eventualmente este colapse, verificando-se assim a migração para montante do knickpoint (Whipple, DiBiase, & Crosby, 2013).

Outros factores que também podem acelerar este processo são as capturas fluviais ou o rebaixamento do nível de base de um rio, forçando os seus afluentes a escavar o substrato rochoso na zona de junção até atingirem o equilíbrio com o novo nível de base, sendo ainda possível, conforme a intensidade da vaga erosiva, que prossiga para montante

dos próprios afluentes criando novos knickpoints (Gallen & Wegmann, 2015) como se demonstra na figura 11.

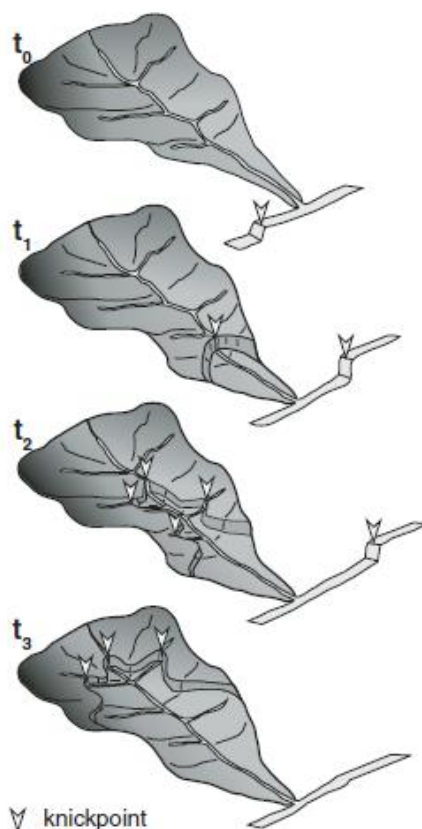


Figura 11 Ilustração da migração do knickpoint e da vaga erosiva remontante ao longo de uma bacia de drenagem, a partir de uma queda única do nível de base (Adaptado de Gallen & Wegmann, 2015)

II. 5. Nível de Base

O nível de base é um dos factores mais importantes na dinâmica fluvial, sendo considerado primeiramente por Powell em 1875 (Rabbitt, McKee, Hunt, & Leopold, 1969) onde afirma que “podemos considerar o nível do mar como um nível de base geral, abaixo do qual não é possível existir erosão nas terras áridas, mas também é possível obter outros níveis de base de erosão em termos temporários e locais sendo estes os níveis de base dos leitos dos rios que transportam produtos erodidos.”

Assim, na geomorfologia fluvial, o nível de base de um determinado rio coincide com o seu ponto mais baixo, que geralmente coincide com o nível da água do mar, quando estes desaguam no oceano, sendo assim denominado por nível de base geral (Charlton, 2008). No caso dos afluentes que desaguam noutros rios ou em lagos, o nível base do rio principal ou do lago é designado como nível de base local (Goudie, 2004).

O nível de base temporário existe segundo Christofolletti (1980) como “*a superfície limite pressuposta para a erosão, nivelada em função de um elemento de duração relativamente efémera, como o afloramento de rochas resistentes nos cursos de água, sendo algumas vezes designado como “nível de base estrutural”*”.

Mudanças no nível de base nos rios podem ser resultado de atividade tectónica, mudança do nível base do mar ou de capturas fluviais (Demoulin, Mather, & Whittaker, 2016), originando uma necessidade do rio se adaptar e alterar dinâmicas em busca de um novo equilíbrio em relação ao novo nível de base, onde as condições de transporte, erosão e deposição de sedimentos também poderão sofrer alterações de acordo com a magnitude dessa mudança de nível.

No caso de um abaixamento do nível da água do mar relativamente à superfície, o rio vai produzir uma resposta a esta mudança na procura do equilíbrio (figura 12), produzindo assim mais energia no desgaste do leito, o que implica a intensificação da erosão e transporte de sedimentos. No caso de uma subida do nível do mar, menos energia estará disponível, levando a um aumento da deposição de sedimentos nos sectores mais a jusante do rio.

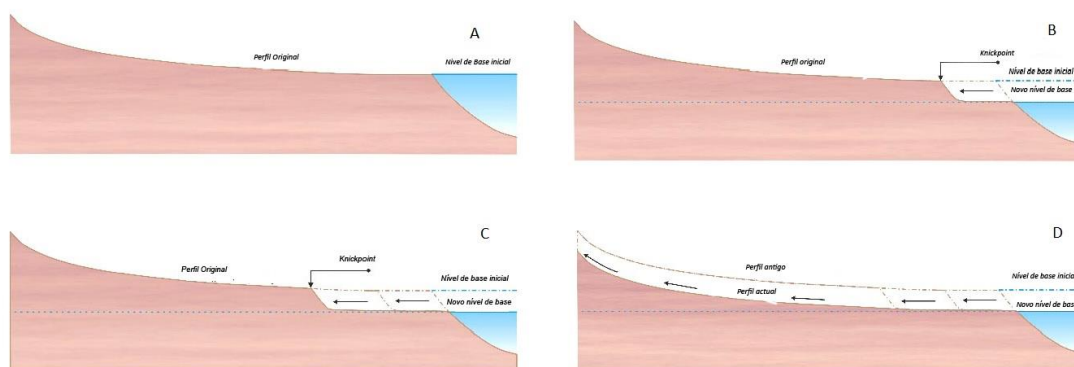


Figura 12 Esquema ilustrativo da mudança de nível de base (C. Ferreira 2010)

II. 6. Competência e Capacidade de um Rio

A competência e a capacidade de um rio estão interligadas entre si, sendo que usufruem de uma relação proporcional (C. Ferreira, 2010).

A competência de um determinado rio é a sua predisposição para transportar partículas e detritos de vários tamanhos, desde pequenas argilas até seixos, onde o tamanho máximo das partículas e detritos corresponde à competência que determinado curso de água possui.

A capacidade de um determinado rio define-se como a quantidade de carga máxima de detritos e partículas sedimentares que este consegue transportar.

Os relevos nos quais um determinado curso de água está inserido, proporcionam diferentes declives em diferentes sectores do rio, sendo este declive o principal factor que determina a sua capacidade e competência nesses sectores. Em relevos acidentados e de vertentes íngremes onde exista um maior declive, o caudal do rio nesse sector, aumentará a sua velocidade, levando conseqüentemente a que a competência e a capacidade do mesmo aumentem drasticamente em relação aos sectores do rio onde existam vales alargados e declives mínimos.

II. 7. Gradiente de um Rio

O gradiente médio de um rio é um índice que rapidamente fornece informações acerca do desnível de um curso de água através do cálculo da relação entre o comprimento total do curso de água e o desnível total entre a cota inicial e final (Gomes, 2008).

Hayakawa and Oguchi (2009) definem a seguinte fórmula para o seu cálculo

$$Gr = \frac{e_2 - e_1}{d} * 100$$

onde e_2 corresponde à cota inicial, e_1 corresponde à cota final e d corresponde ao

comprimento total do curso de água.

Este índice é útil aquando da necessidade de comparações rápidas entre cursos de água diferentes, permitindo retirar algumas elações acerca dos relevos percorridos por cada um deles. Em relevos montanhosos e íngremes, onde os vales em V e pouco alargados são comuns, o declive é significativo e a existência de knickpoints uma possibilidade forte e conseqüentemente uma capacidade erosiva maior por parte do curso de água, este obterá um gradiente médio elevado. Revertendo o panorama para vales amplos e vertentes pouco declinosas, onde o relevo já não possui condições favoráveis à existência de knickpoints e o curso de água demonstra pouca capacidade de erosão e de transporte, o gradiente médio terá um valor reduzido.

III. A Bacia do Paiva

III. 1. Metodologia e materiais de base

A metodologia utilizada para este estudo começa por criar o MDE mais preciso possível, de acordo com os dados disponíveis sobre a área de estudo. Este modelo é a base imprescindível do estudo da bacia do Paiva a partir do qual serão extrapolados todos os novos dados necessários para dar continuidade ao estudo nos passos posteriores.

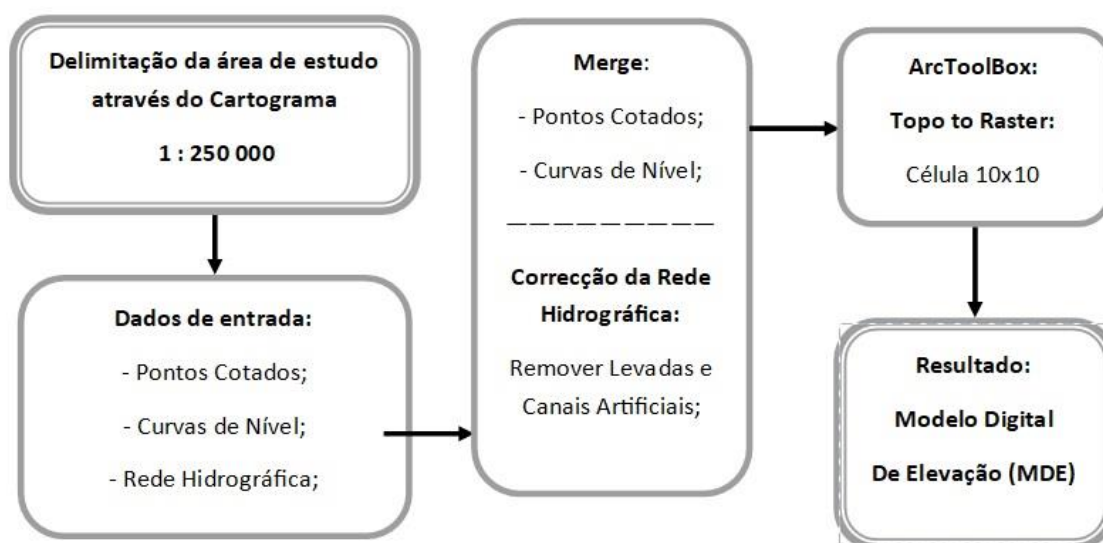


Figura 13 Metodologia de obtenção do Modelo Digital de Elevação

Como observado na figura 13, a delimitação da área de estudo é o início do processo, área esta, que está contida nas folhas N° 135, 136, 137, 138, 145, 146, 147, 148, 155, 156, 157, 158, 165, 166, 167 e 168 do cartograma 1: 25000 do IGeoE.

Ainda do IGeoE são utilizados dados das Cartas Militares Portuguesas 1: 25000 onde os pontos cotados, curvas de nível e rede hidrográfica são extrapolados e recortados para dentro do limite definido através das 16 folhas acima nomeadas.

Um passo importante é a correção da rede hidrográfica fornecida através das cartas pois estas levam em conta as levadas e canais artificiais, criados por agricultores para a irrigação, sendo que estes canais levam a que o MDE final tenha conflitos e forneça resultados errados de cotas em pontos específicos e ainda redes de drenagem em ciclos

fechados ou inexistentes na realidade, que para o objectivo deste estudo são situações que podem gerar erros grosseiros nos resultados finais.

Para finalizar a criação do MDE, utilizamos a ferramenta **Topo to Raster** onde o input são os dados previamente tratados. A escolha desta ferramenta baseia-se no facto da mesma ter sido montada com o objectivo específico de fornecer um MDE hidrologicamente correto, sendo que além disso é uma ferramenta de interpolação do conjunto de dados inseridos, ou seja, remove qualquer tipo de possível falha em valores de elevação e no caso da sua ausência em alguma célula, fornece um valor aproximado através das células vizinhas.

Com o auxílio do MDE obtido a partir do **Topo to Raster**, o passo seguinte (figura14), recaí sobre uma geral análise espacial da área de estudo, a qual começa com um mapa hipsométrico diretamente a partir do MDE, seguindo-se a partir das ferramentas presentes na **ArcToolBox Spatial Analyst Tools --> Surface**, os mapas de declive (ferramenta **Slope**), de relevo sombreado (ferramenta **Hillshade**) e de exposição de vertentes (ferramenta **Aspect**).

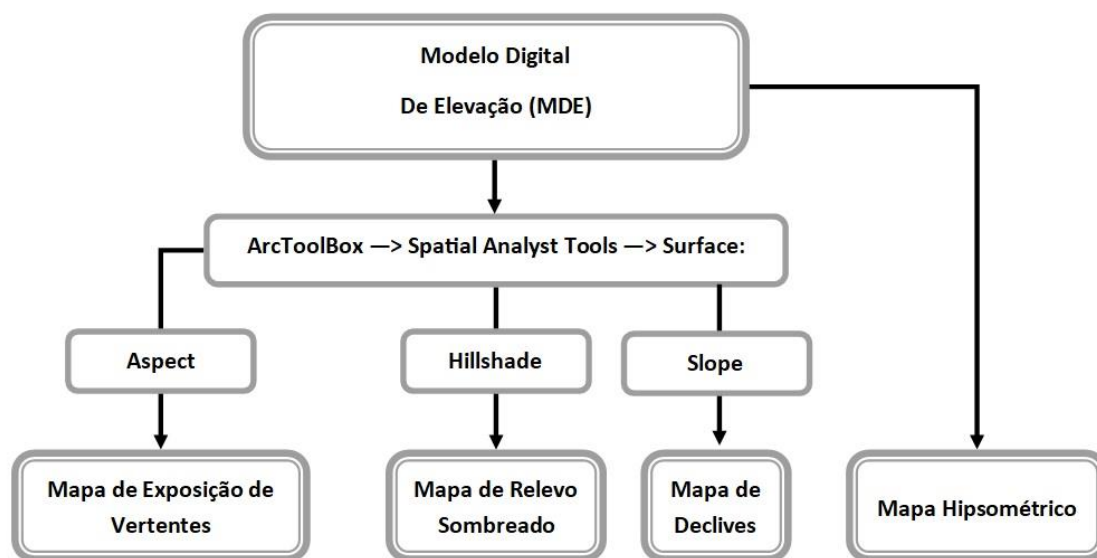


Figura 14 Metodologia para a obtenção de cartografia temática.

Prosseguindo, tendo como foco obter dados relativos à bacia hidrográfica do Paiva, nomeadamente a delimitação da bacia e a rede e drenagem da mesma, utilizamos as

ferramentas presentes na **ArcToolBox Spatial Analyst Tools --> Hydrology** da forma demonstrada no workflow da figura 15. Dentro deste processo existem alguns processos que tem de ser determinados manualmente tais como a expressão a colocar na ferramenta **Raster Calculator** onde criamos uma condição que calcula as feições da drenagem a partir do raster resultante da ferramenta **Flow Accumulation**. O valor de “1000” presente na expressão foi o que melhor se adaptou ao tamanho da Bacia do Paiva, determinando com rigor a sua rede de drenagem. Este valor poderia ser maior, por exemplo “5000”, se a bacia em estudo fosse de maior dimensão. Quanto menor o valor maior a quantidade de feições da rede de drenagem que serão geradas.

De salientar que utilizar a ordem de Strahler é de importância na fase inicial do estudo pois permite ordenar hierarquicamente a rede de drenagem, bem como, uma análise e enquadramento visual da mesma na área de estudo, sendo este um dos primeiros resultados importantes que obtemos na sequência desta metodologia.

O próximo objectivo pretendido é a delimitação da bacia hidrográfica do Paiva, que a ferramenta **Watershed** calcula automaticamente, necessitando, no entanto, de um “ponto de controlo” sobreposto com a rede gerada anteriormente, a partir do qual, o cálculo é realizado para montante. A edição manual passa por colocar um ponto na foz do Rio Paiva, resultando assim um ficheiro raster com a forma da bacia, que é de seguida, transformado para shapefile em formato de polígono, finalizando o processo.

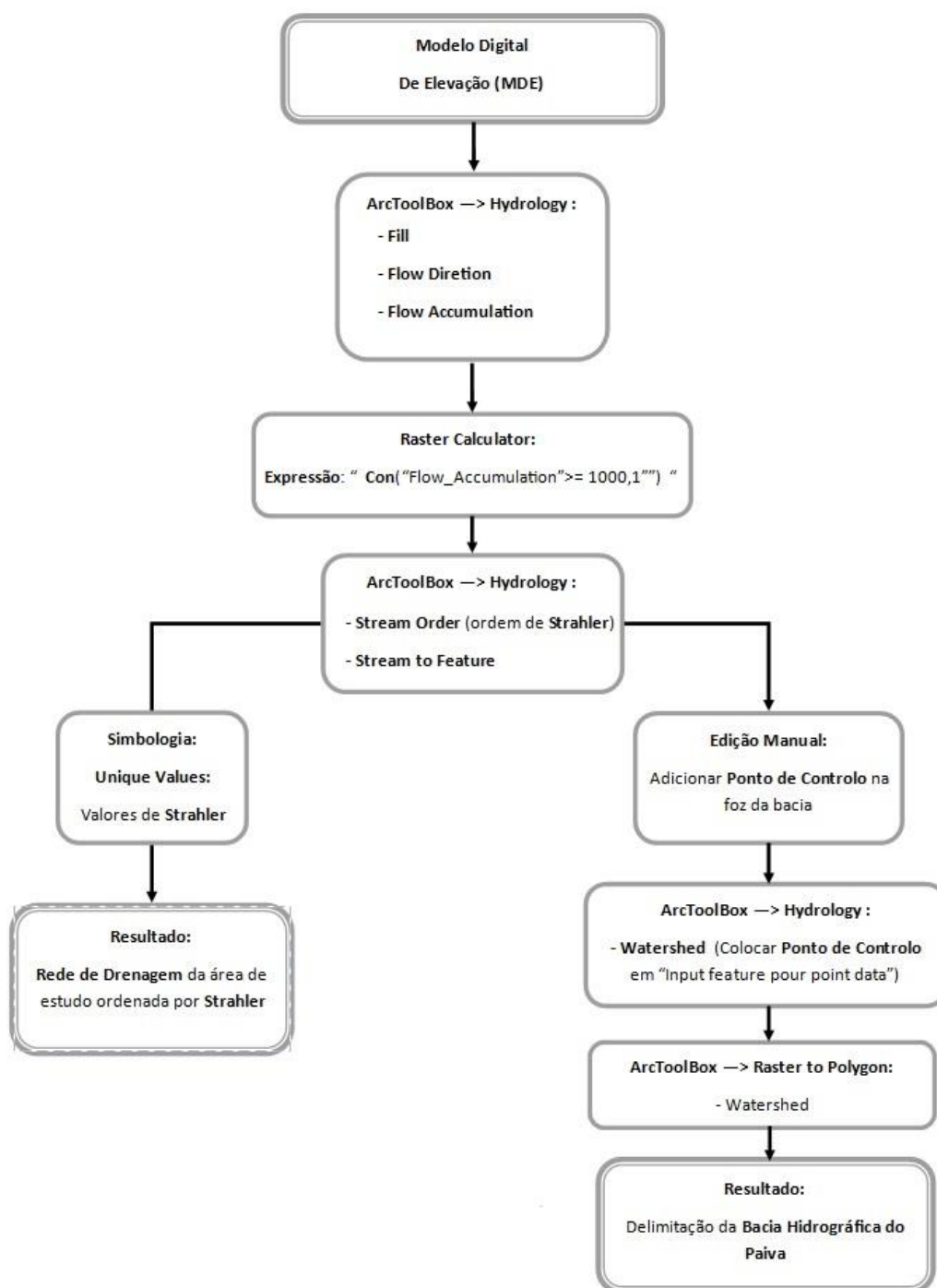


Figura 15 Metodologia para obtenção da rede de drenagem e delimitação da Bacia do Paiva

Tendo ao dispor os limites da bacia, utilizamos um clip (figura 16) para apenas reter a rede de drenagem presente dentro da mesma, descartando nesta fase a restante rede na área de estudo, que não influencia os fenômenos e processos da Bacia do Paiva.

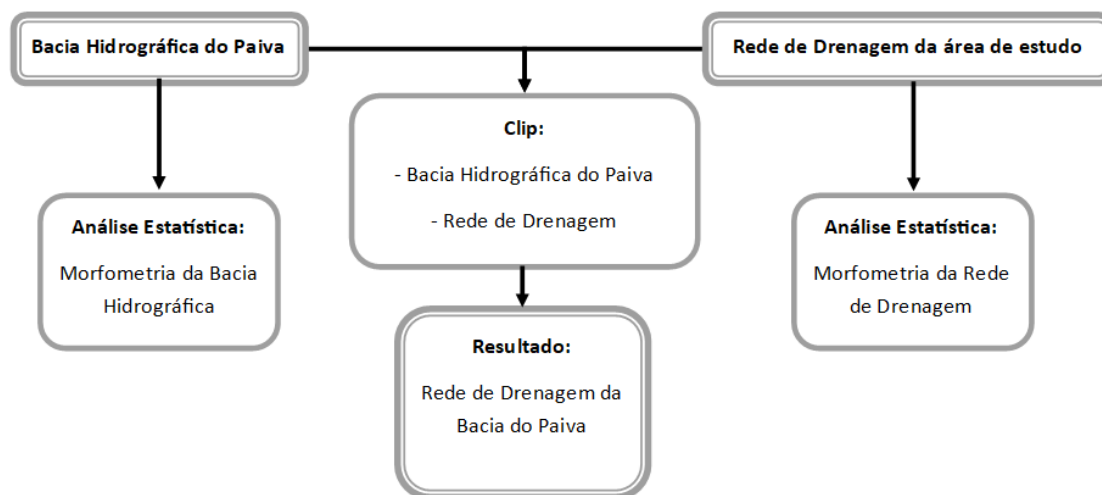


Figura 16 Metodologia para obtenção da Bacia do Paiva e respectiva rede de drenagem

Neste momento a rede de drenagem da bacia do Paiva encontra-se segmentada em milhares de pequenas linhas sendo que é necessário utilizar a ferramenta **Merge** para unir esses milhares de segmentos e fazer a sua ordenação pela ordem de Strahler, de modo a simplificar o processo e garantir rigor na delimitação do troço do Rio Paiva. é necessário editar manualmente a rede de drenagem dentro dos limites da bacia.

Esse processo de edição consiste em selecionar o segmento da rede com maior ordem de Strahler observada e exportar para uma nova shapefile. De seguida, selecionar e exportar para nova shapefile o segmento de maior ordem imediatamente a montante e utilizar a ferramenta **Split** para o separar das demais linhas da mesma ordem. Este processo será replicado até ao segmento de 1ª ordem que tem como ponto final a nascente do Rio Paiva. Ao adicionar os segmentos que previamente exportados, utilizamos a ferramenta **Merge** e obtemos a totalidade do traçado do rio num só segmento o que

permite em primeira instância retirar dados sobre a sua morfometria e consequentemente a elaboração do seu perfil longitudinal.

III. 2. Geomorfologia

Na figura 17 está representada a bacia do Paiva com a sua correspondente hipsometria e rede hidrográfica. Os limites da bacia estão realçados pelas cabeceiras das serras que a limitam e apresenta características únicas na sua forma e na direção que o curso de água principal toma, aquando da comparação com as restantes bacias que desembocam no Rio Douro. Em termos de geomorfologia é notória a forma como dentro da área da bacia existe grande oscilação na realidade observada.

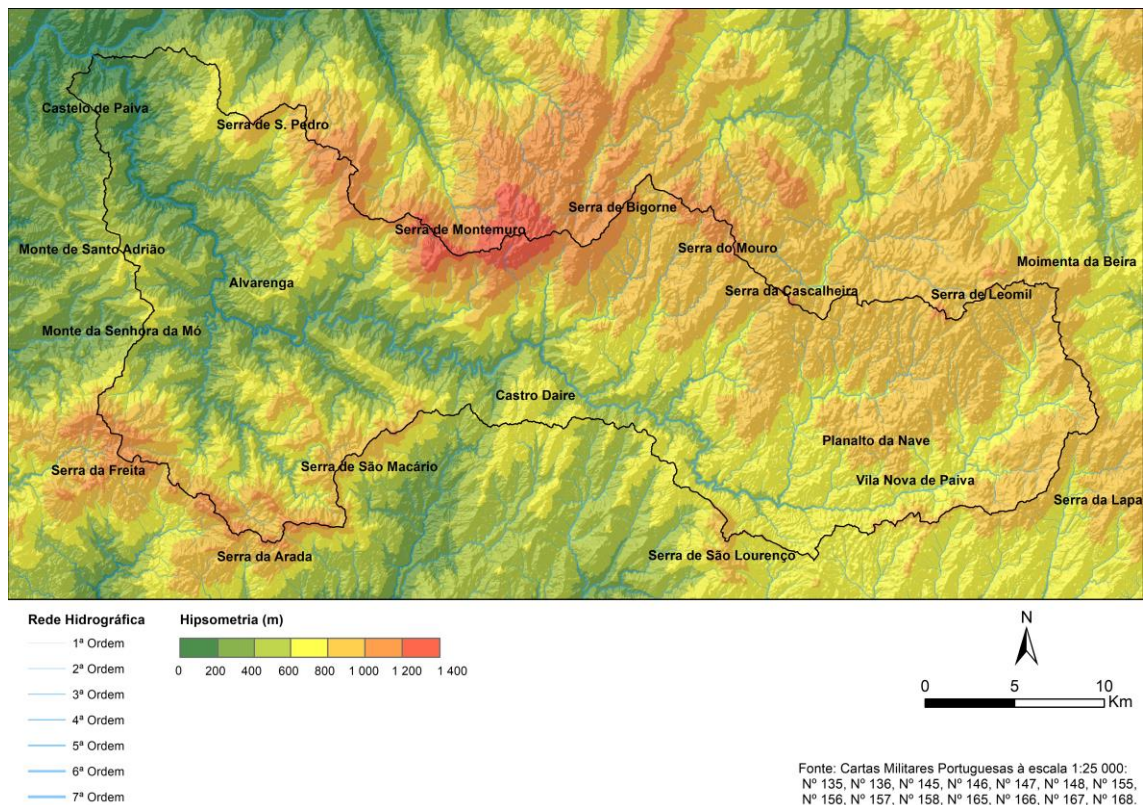


Figura 17 Mapa hipsométrico e rede hidrográfica da Bacia do Paiva

Relativamente à área drenada, é notória uma clara dissimetria entre a margem esquerda do Rio Paiva que tem uma área de drenagem de aproximadamente 304,4 km²,

ficando muito aquém do superior valor, que ronda os 491,5 km² de área de drenagem da margem oposta sendo que esta discrepância poderá ter sido causada por um fenómeno de basculamento.

Olhando para a hipsometria representada, a Serra de Montemuro marca o centro Norte da bacia sendo facilmente identificada com os seus 1380 metros de altitude proclamando-se como o seu ponto mais alto, seguindo-se a Serra da Freita a Oés-Sudoeste e a Serra da Arada a Sudoeste onde os valores máximos atingem aproximadamente os 1085 e 1070 metros respectivamente. Ainda a delimitar a bacia, a Oeste estão situados o Monte de Santo Adrião com 640 metros e o Monte Senhora da Mó que atinge os 710 metros. A Su-Sudoeste a Serra de São Macário com 1052 metros, a Su-Sudeste e com perto de 929 metros está a Serra de S^o Lourenço e a Este a Serra da Lapa que atinge os 995 metros. A Nor-Noroeste a Serra de S. Pedro com 1026 metros e a Nor-Nordeste a Serra de Bigorne com 1210 metros. A Nordeste a Serra do Mouro e a Serra da Cascalheira com 1036 e 1037 metros respectivamente. Por fim a És-Nordeste encontra-se a Serra de Leomil que com aproximadamente 1010 metros marca o local onde nasce o Rio Paiva. Em forma de curiosidade histórica, esta foi em tempos conhecida como Serra da Nave, denominação que caiu em algum desuso por parte de fontes oficiais de cartografia após os responsáveis do levantamento cartográfico da carta geodésica terem promovido o seu nome como Serra de Leomil. Este episódio é retratado na introdução do livro “O Homem da Nave” onde Aquilino Ribeiro afirma que *“a verdadeira mãe do rio Paiva é a serra da NAVE e ele dispensa bem ser filho da ama que lhe deram os irmãos Costa Perry sob a direcção do engenheiro Filipe Folque, gratos pela hospitalidade que receberam na povoação de Leomil, durante os trabalhos cartográficos”*... (Ribeiro, 1968).

Prosseguindo, verificamos que os pontos mais altos se encontram presentes do lado Oeste da bacia do Paiva, onde é também aí que os valores mais baixos se verificam e existe maior amplitude de valores, sendo que o lado Este da bacia é bastante similar em valores de hipsometria no sentido que não existem variações muito abruptas em quase toda a sua extensão.



Figura 18 Paisagem na Bacia do Paiva

Para continuar a análise da bacia está representado na figura 19 o mapa de declives da bacia o qual continua a demonstrar a que existe uma grande diferença entre a área Este e Oeste. A Este situa-se uma grande área onde é perceptível que existe uma fraca variação de declives, sendo designada por planalto da Nave por A. d. B. Ferreira (1978). Neste local a paisagem entra claramente num registo de vales largos com relevo aplanado na sua grande parte.

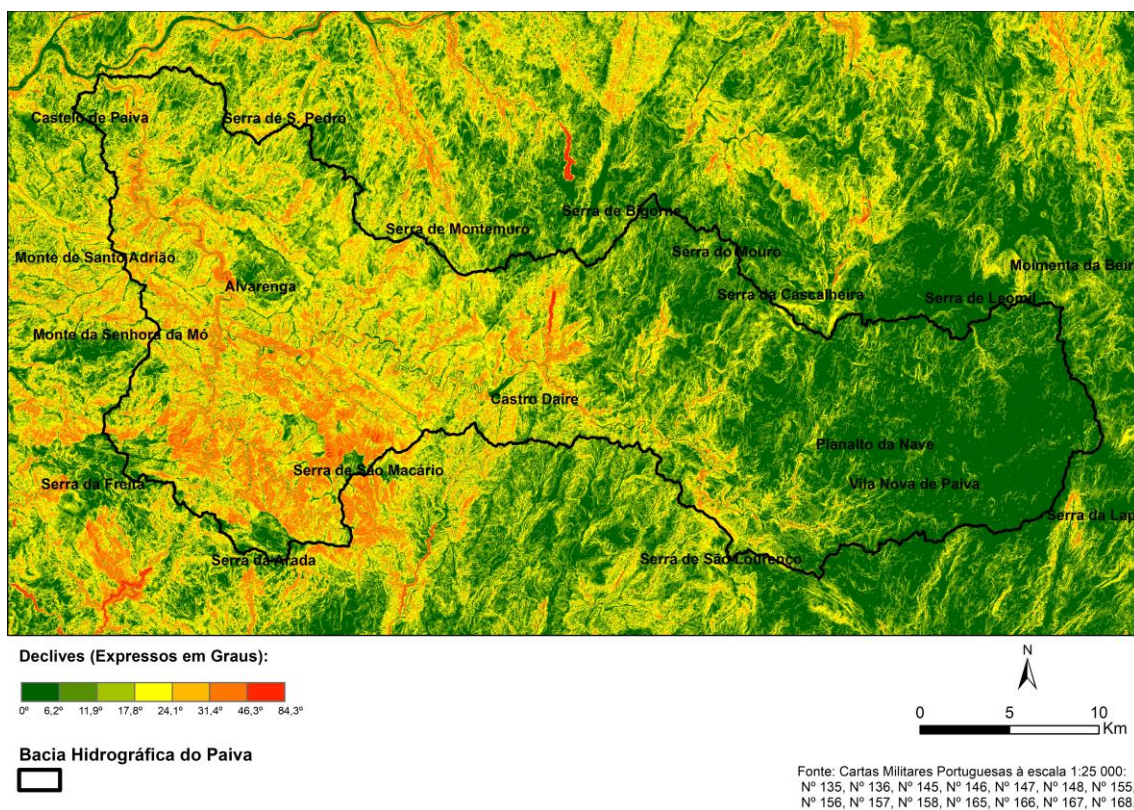


Figura 19 Mapa de declives da bacia do Paiva

No entanto é também visível que na sua aproximação ao centro da bacia começa a ser visível uma série de pequenas alterações de declive que representam vales de menor dimensão, com a direção Nor-Nordeste – Su-Sudoeste, provavelmente oriundos de fenómenos de fracturação. Ao centro e a Oeste encontramos uma área com declives muito pronunciados onde o relevo é muito mais acentuado, com vales íngremes e escavados onde aliás, nas vertentes de ligação do vale do Paiva com a Serra de Montemuro existem locais em que a ligação ao fundo do vale torna-se bastante íngreme com a inexistência de patamares intermédios, originando grandes “degraus” de declives na vertente.

Para ser possível obter uma visualização gráfica do vale onde o rio Paiva se encaixa e como este se altera ao longo do seu percurso na figura 20 estão demarcados os cortes a partir dos quais foram realizados quatro perfis topográficos. Os quatro cortes são paralelos entre si, tendo todos eles a direção aproximada de Nordeste – Sudoeste.

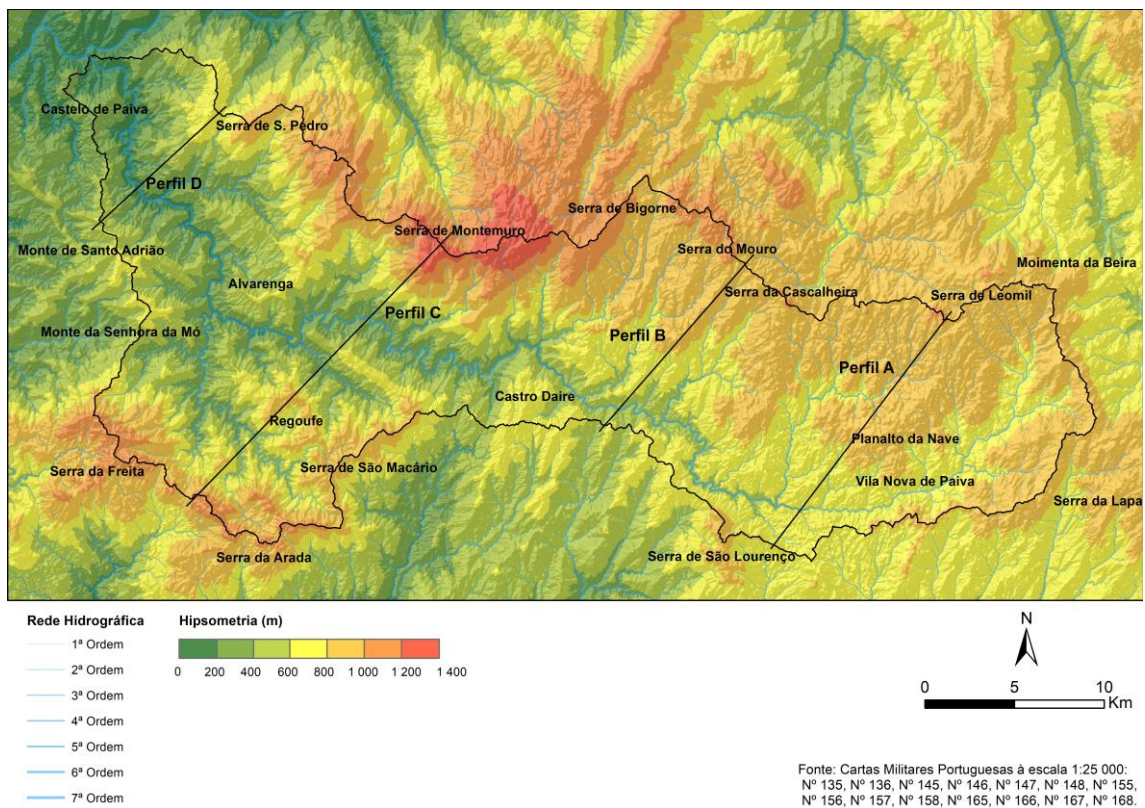


Figura 20 Cortes na bacia do Paiva para a realização dos perfis topográficos

Nas figuras 21, 22, 23 e 24, estão representados os perfis topográficos dos cortes efetuados previamente. Nos perfis A e B (figuras 21 e 22) o relevo mostra-se semelhante, iniciando-se o corte na Serra de Leomil e Serra do Mouro respectivamente, representando de seguida o planalto da Nave onde os vales são amplos e largos, não existindo grandes discrepâncias para além do vale onde o rio Paiva incide, embora no perfil B já se note maior encaixe do vale. Por outro lado, no perfil C (figura 23) o paradigma transforma-se, bem como o relevo que se mostra inconstante com altos e baixos característicos de vales incisivos e mais estreitos. Sobressai a vertente da Serra de Montemuro que termina no vale do Paiva, os vales estreitos dos afluentes do Rio Paiva nomeadamente a Ribeira de Deilão, Rio Paivô e Ribeira do Paivô, ficando estes dois últimos separados pelo granito de Regoufe e terminando na Serra da Arada. No perfil D (figura 24) encontra-se representado um corte entre a Serra de S. Pedro e o Monte de Santo Adrião onde apesar da proximidade com a foz do Rio Paiva, ainda se observa um vale encaixado.

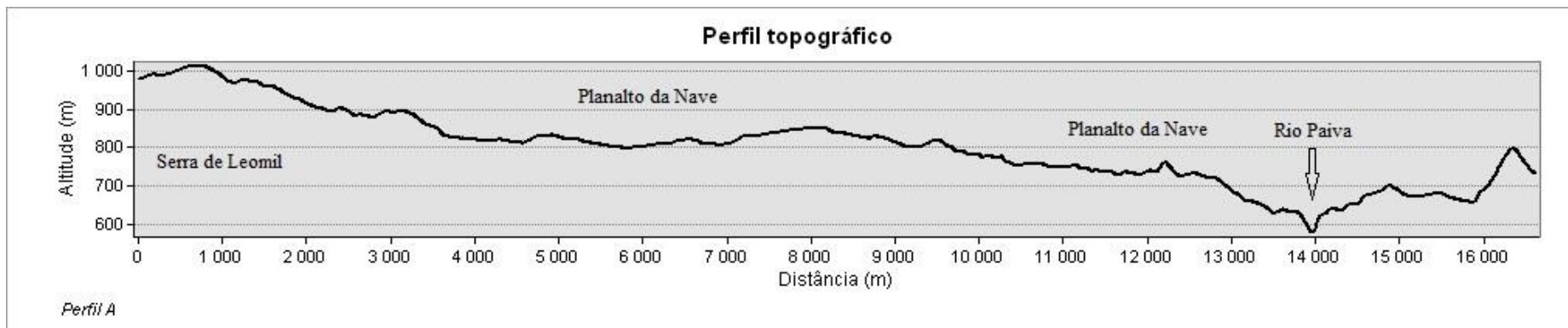


Figura 21 Perfil topográfico A

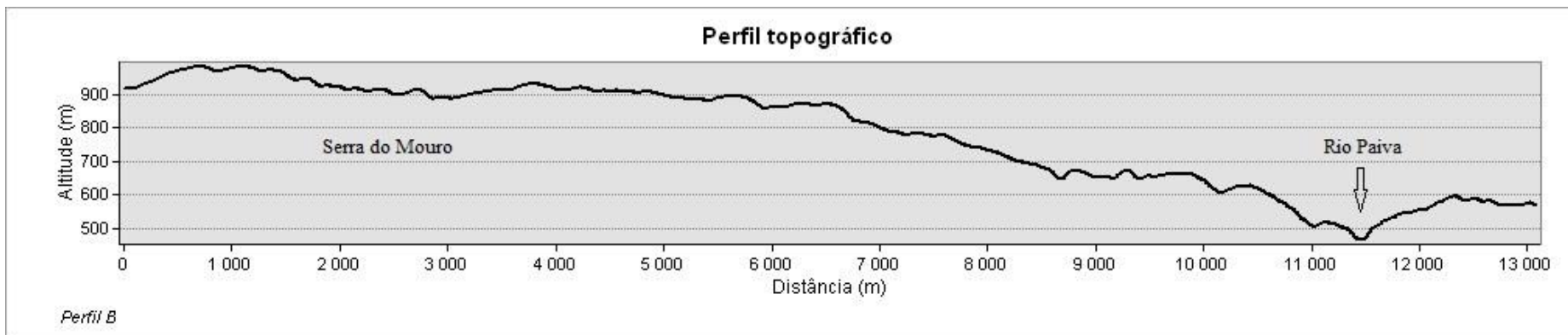


Figura 22 Perfil topográfico B

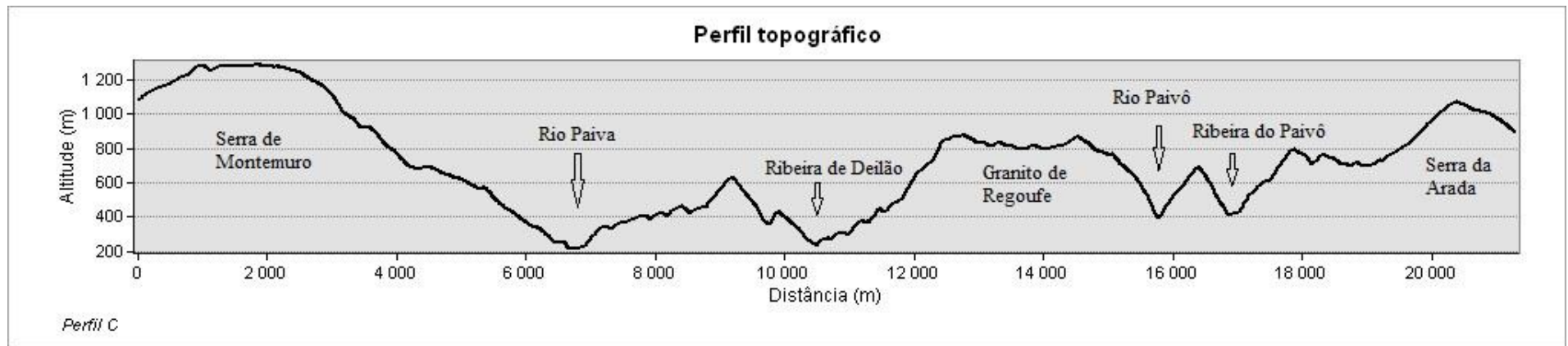


Figura 24 Perfil topográfico C

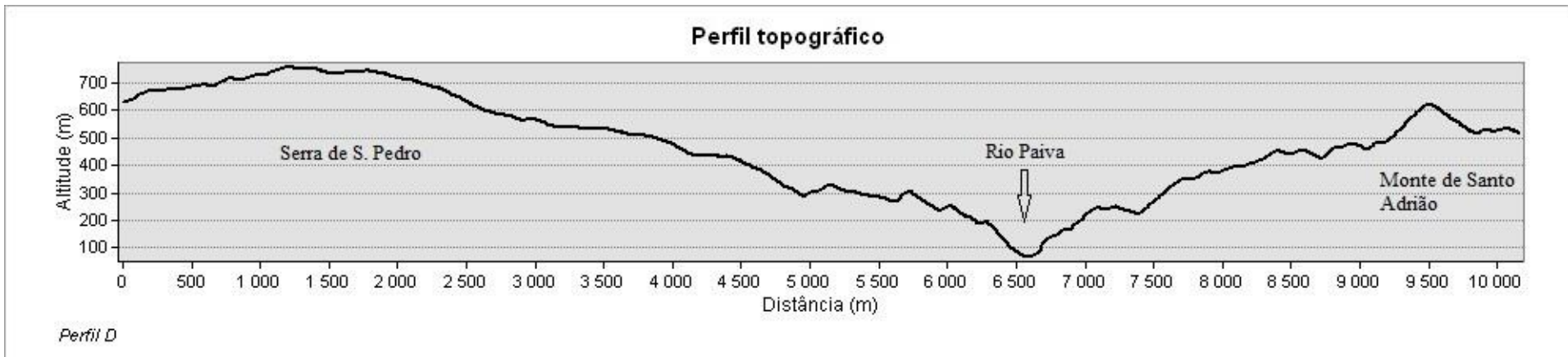


Figura 23 Perfil topográfico D

III. 3. Litologia

A litologia é um dos mais importantes factores condicionantes da evolução do perfil dos cursos de água e inúmeras vezes tem influência direta no aparecimento de knickzones e knickpoints. Isto deve-se aos desafios que apresentam ao curso de água e aos processos de erosão inerentes, limitando ou exponenciando as dinâmicas que os cursos de água apresentam conforme o material do substrato rochoso no qual estão a incidir. Na figura 25 a litologia da bacia do Paiva que está representada, foi agrupada em classes, com intuito que estas representem de forma geral os diversos níveis de resistência que oferecem. Desta forma existem duas grandes classes, designadamente as rochas metamórficas (xistos e argilas, p.e.) e as rochas graníticas e derivadas.

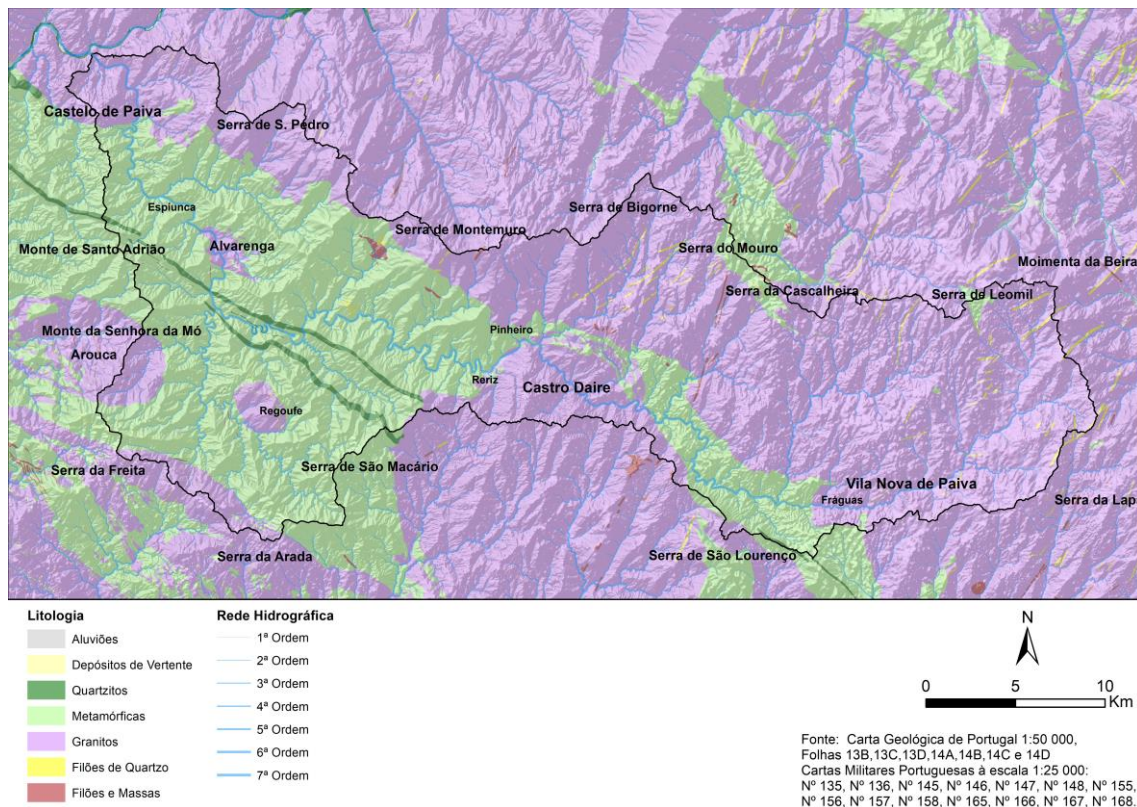


Figura 25 Mapa litológico da bacia do Paiva

Em relação à litologia que se observa ao longo da bacia do Paiva, facilmente se identificam as já recorrentes diferenças entre a área Este e Oeste. A Este predomina de

forma clara o afloramento das rochas graníticas características da zona centro-ibérica, que se estendem desde a Serra de Leomil até ao centro Norte na Serra de Montemuro, tendo representação no centro Sul o afloramento granítico de Castro Daire. Apesar de as rochas metamórficas terem alguma expressão é a Oeste que se verifica a situação oposta onde o complexo xisto-grauváquico tem grande expressão, mantendo as rochas graníticas presença a Norte e nos pequenos afloramentos de batólitos graníticos como o batólito de Alvarenga ou de Regoufe e ainda parte do alvéolo de Arouca no limite Este. Os afloramentos de filões de quartzo são comuns por toda a bacia e uma estreita crista quartzítica marca presença ao aflorar no seio das rochas do complexo xisto grauváquico.



Figura 26 Passadiços do Paiva

Para quantificar a expressão que cada um destes grupos apresenta, calculando a área que cada um ocupa na bacia, as rochas graníticas lideram com aproximadamente 445 km² seguindo-se as rochas metamórficas com 332,6 Km². Os quartzitos ocupam 8,9 Km² e os filões de quartzo 5,7 Km². Os filões e massas, aluviões, depósitos de vertentes e

planos de água ocupam os restantes 3,8 Km².

O percurso do Rio Paiva nasce nos granitos da Serra de Leomil fazendo a mudança para materiais xistentos aquando da passagem por Fráguas mantendo-se nesse registo até atingir Castro Daire onde percorre cerca de 12,5 Km cortando por entre as rochas graníticas aí presentes até voltar a encontrar as rochas metamórficas de cariz xistento do complexo xisto-grauváquico onde aliás se identifica visualmente uma mudança no seu comportamento, no sentido em que o rio sofre uma forte meandrização. Ultrapassa ainda, em dois pontos distintos do seu percurso, o afloramento de cristas quartzíticas supracitado até voltar a atingir rochas graníticas aquando da curta passagem pelo batólito de Alvarenga. Após a reentrada no complexo xisto-grauváquico o comportamento segue a mesma preferência de meandrização até atingir a orla de contacto com os granitos característicos de Castelo de Paiva até desembocar no Rio Douro.

III. 4. Precipitação e Hidrologia

Os valores de precipitação média anual exibidos na bacia do Paiva estão representados na figura 27. Dentro dos limites da bacia identifica-se uma amplitude de 2100 milímetros entre o valor máximo, presente na Serra de Montemuro e valor mínimo de 900 milímetros, no limite Este da bacia. De facto, o lado Este da bacia demonstra valores bem menores em relação ao lado Oeste e Centro onde existe muita precipitação nas Serras que aí se encontram. No entanto verifica-se que o vale do Paiva na área ocidental é mais seco e árido em comparação com o vale húmido que se apresenta a Este de Castro Daire, fenómeno este que pode ser explicado pelo encaixe do vale do Paiva no complexo xisto-grauváquico que aí aflora e valores de precipitação significativos.

Em relação a hidrologia na bacia, o SNIRH disponibiliza dados de duas estações hidrométricas, nomeadamente a estação de Castro Daire e a estação de Fragas da Torre ambas expostas na figura 27.

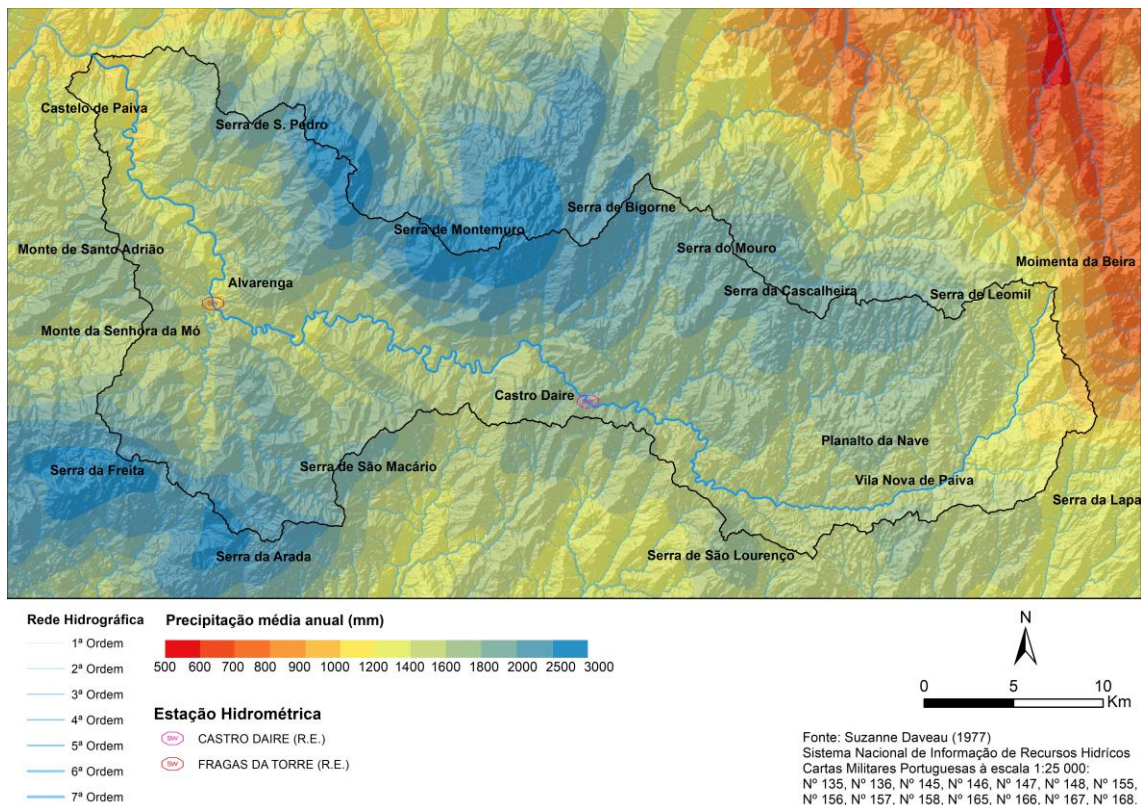


Figura 27 Mapa da precipitação média anual na bacia do Paiva

Na tabela 2 encontram-se os dados relativos às mesmas como o código que as identifica, a altitude que se situam e a correspondente área drenada por cada uma. A partir dos dados destas estações, definiu-se um intervalo de tempo para uma breve análise gráfica do caudal médio diário, intervalo esse entre 30/12/1976 e 30/09/2011. Esta escolha deve-se à falta de dados, em alguns dos anos que não foram incluídos, por parte de uma ou outra estação.

Tabela 2 Dados gerais das Estações Hidrométricas ativas na bacia do Paiva

Estação Hidrométrica	Código	Altitude (m)	Área Drenada (km ²)
Castro Daire (R.E.)	08J/01H	464	288.17
Fragas da Torre (R.E.)	08H/02H	165	646.74

Nas figuras 28 e 29 estão representadas as medições dos valores do caudal medio diário (m³/s) no intervalo de tempo acima referido. Na figura 28 observam-se os valores da primeira estação, situada em Castro Daire, sensivelmente no centro da bacia do Paiva. Nas medições realizadas, esta estação regista um valor máximo de 227 m³/s no dia 25/12/1995 e a média de valores diários que apresenta é de 6,89 m³/s.

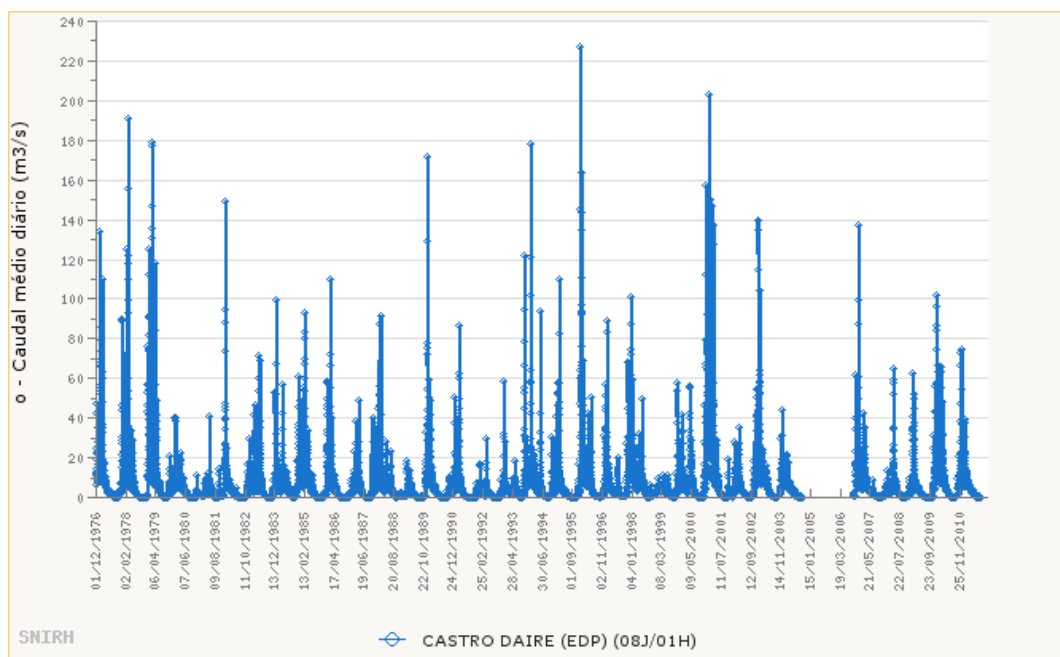


Figura 28 Caudal médio diário na estação hidrométrica de Castro Daire – Fonte: SNIRH

Na figura 29, está representada as medições da estação de Fragas da Torre, situada na freguesia de Alvarenga, onde o valor máximo registado foi de 568 m³/s também no dia 25/12/1995. A média de valores diários registados é de 20,48 m³/s.

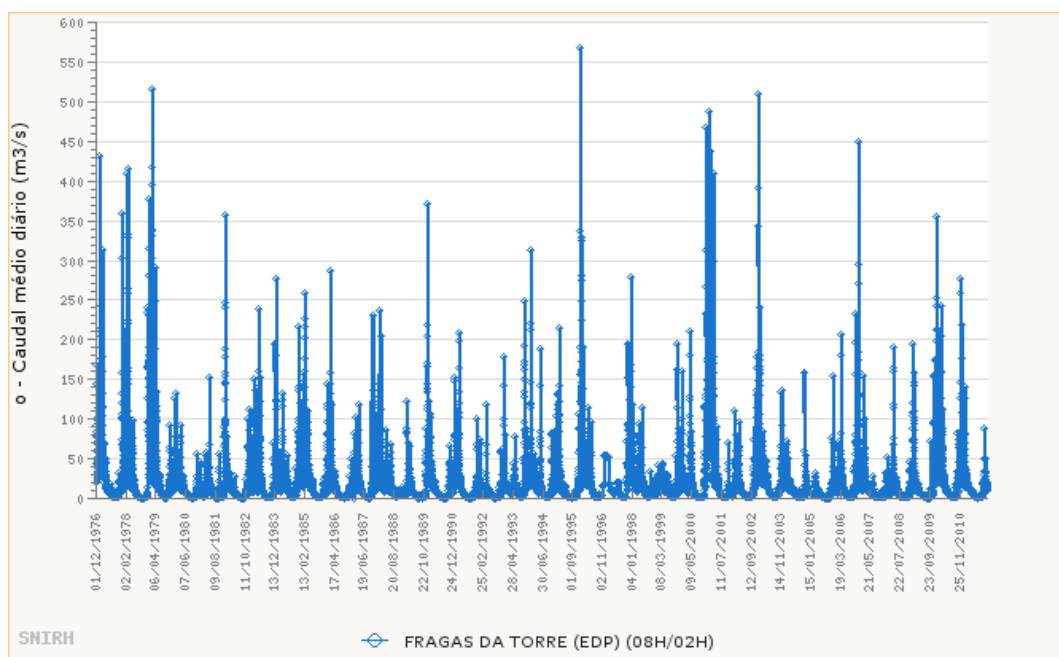


Figura 29 Caudal médio diário na estação hidrométrica de Fragas da Torre - Fonte: SNIRH

Nota-se que logicamente há um grande incremento nos valores relativos ao caudal na estação de Fragas da Torre onde os valores registados são superiores ao dobro dos valores registados de Castro Daire, devido não só à área drenada crescer exponencialmente, mas muito também devido à precipitação que ocorre serras que caracterizam a área Oeste da bacia do Paiva.

III. 5. Uso do Solo

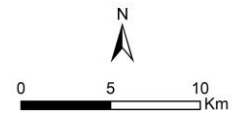
É útil atentar sobre o uso solo observado ao longo da área de trabalho pois apesar de este factor não fornecer dados diretos sobre o desenvolvimento do Rio Paiva, fornece-nos graficamente e estatisticamente informação sobre as classes de uso do solo com maior expressão presentes bacia do Paiva. Desta forma nas figuras 30 a 33 estão representados os mapas de ocupação e uso do solo em quatro anos distintos respectivamente 1995, 2007, 2010 e 2015. Os dados representativos foram agrupados dentro de quatro megaclasses da legenda da Carta de Ocupação e Uso do Solo, nomeadamente Territórios Artificializados, Sistemas Agroflorestais, Corpos de Água e por fim Florestas, para obter uma simplificada apresentação gráfica. Em cada um dos mapas a informação estatística realizada com uma sucinta análise está presente na tabela que o acompanha para quantificação da expressão das classes na bacia do Paiva.



Megaclasses da Carta de Uso e Ocupação do Solo (1995)

- Territórios artificializados
- Sistemas agro-florestais
- Florestas
- Corpos de água

Megaclasses	Área Km2	Percentagem
Territórios artificializados	13.667	1.7%
Sistemas agro-florestais	142.156	17.9%
Corpos de água	1.342	0.2%
Florestas	638.727	80.3%
Total	795.892	100%



Fonte: Carta de Uso e Ocupação do Solo (1995)

Figura 30 Mapa de ocupação e uso do solo (1995)

É de forma clara que as classes das Florestas têm vindo a dominar a bacia do Paiva verificando-se que de 1995 até 2015 a sua expressão nunca foi menor que os 80,3% verificados em 1995 atingindo em 2015 os 83,3% ocupando atualmente 661,4 Km² o que traduzindo as percentagens corresponde a um crescimento na ordem dos 22,7 km² em vinte anos.

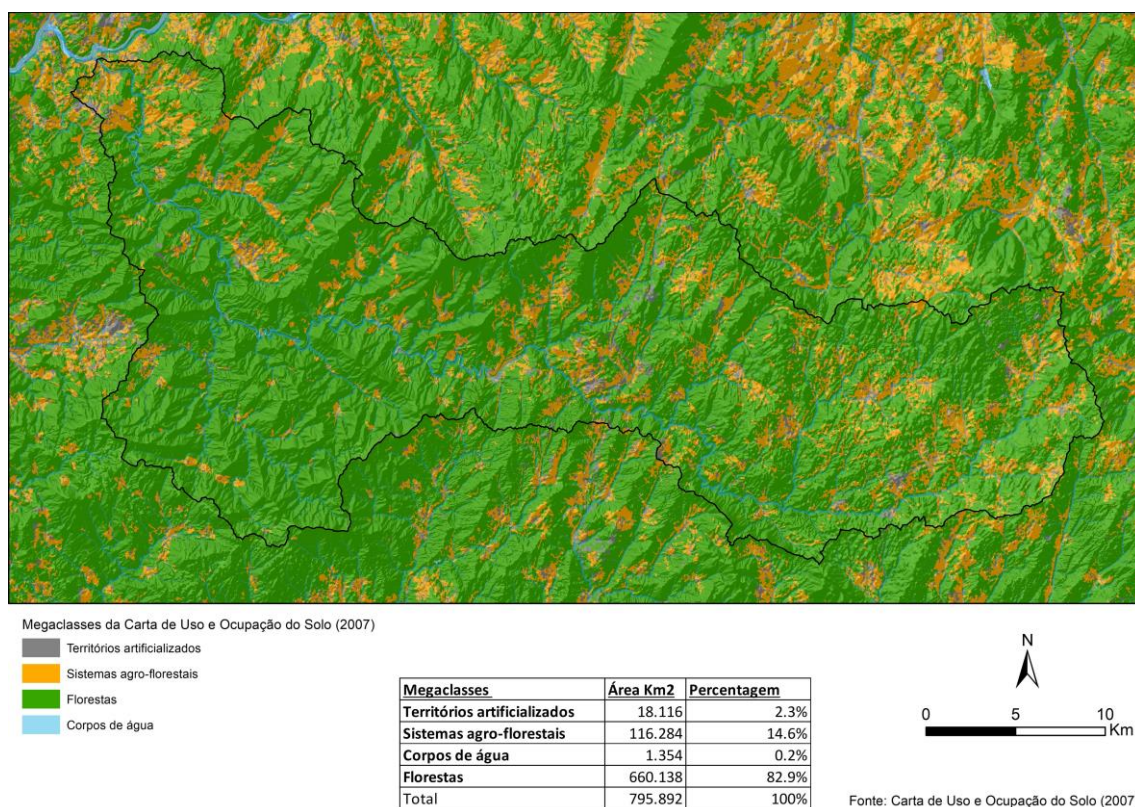


Figura 31 Mapa de ocupação e uso do solo (2007)

Por outro lado, apesar de se manter como a segunda classe mais representada na totalidade do intervalo de tempo que separa as cartas de ocupação e uso do solo, os sistemas agroflorestais sofrem um declínio constante. Em 1995 representavam 17,9% da área da bacia valor esse que baixou logo em 2007 para 14,6% e posteriormente em 2015 para 14,4% representando um decréscimo de 27,7 km² de área cedida. No caso dos territórios artificializados estes apresentam o comportamento oposto sendo que os 13,6% observados em 1995, aumentaram para 18,1% de área representativa em 2007. Este valor continuou a aumentar nos anos seguintes ainda que numa escala muito menor, atingindo os 18,7% em 2015. A amplitude deste crescimento entre 1995 e 2015 significa um aumento de aproximadamente de 5,1 km² de área.

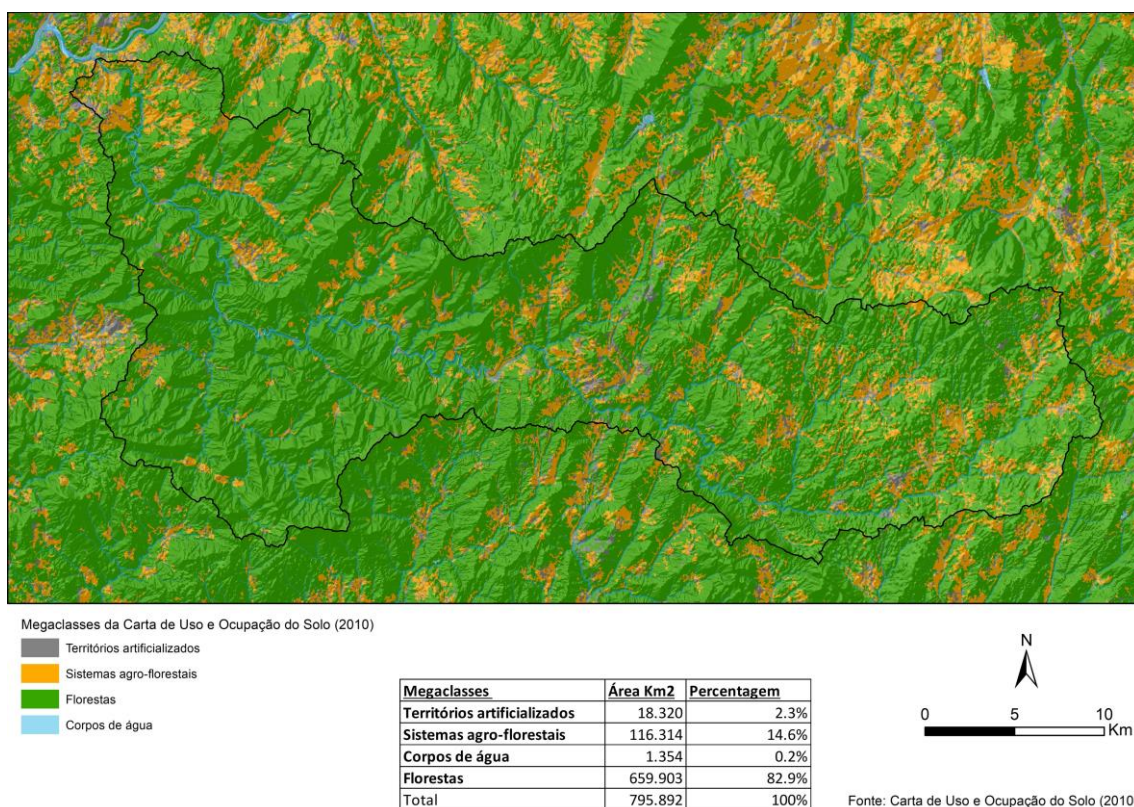


Figura 32 Mapa de ocupação e uso do solo (2010)

A classe mais constante ao longo do intervalo de tempo desta comparação foi a classe dos corpos de água onde o valor observado em 1995 e 2015 é idêntico, representando sempre 0,2% de área, correspondentes a aproximadamente 1,3 km².

Realizando agora uma análise da representação gráfica presente na figura 33 correspondente ao ano mais recente (2015) observa-se a quase homogênea representação das florestas na bacia. Relativamente à classe dos sistemas agroflorestais, estes apesar de se encontrarem bem distribuídos, nitidamente afasta-se do grosso das áreas correspondentes às montanhas ocidentais, onde o relevo não fornece as condições ideais para a sua existência e destaca-se também a discrepância que existe na sua representação entre a margem direita e a margem esquerda do Rio Paiva sendo na margem direita que se mostra em maior quantidade, principalmente nas áreas englobadas pelo planalto da Nave onde as vertentes alargadas e a presença da rede hidrográfica fornece as melhores condições.

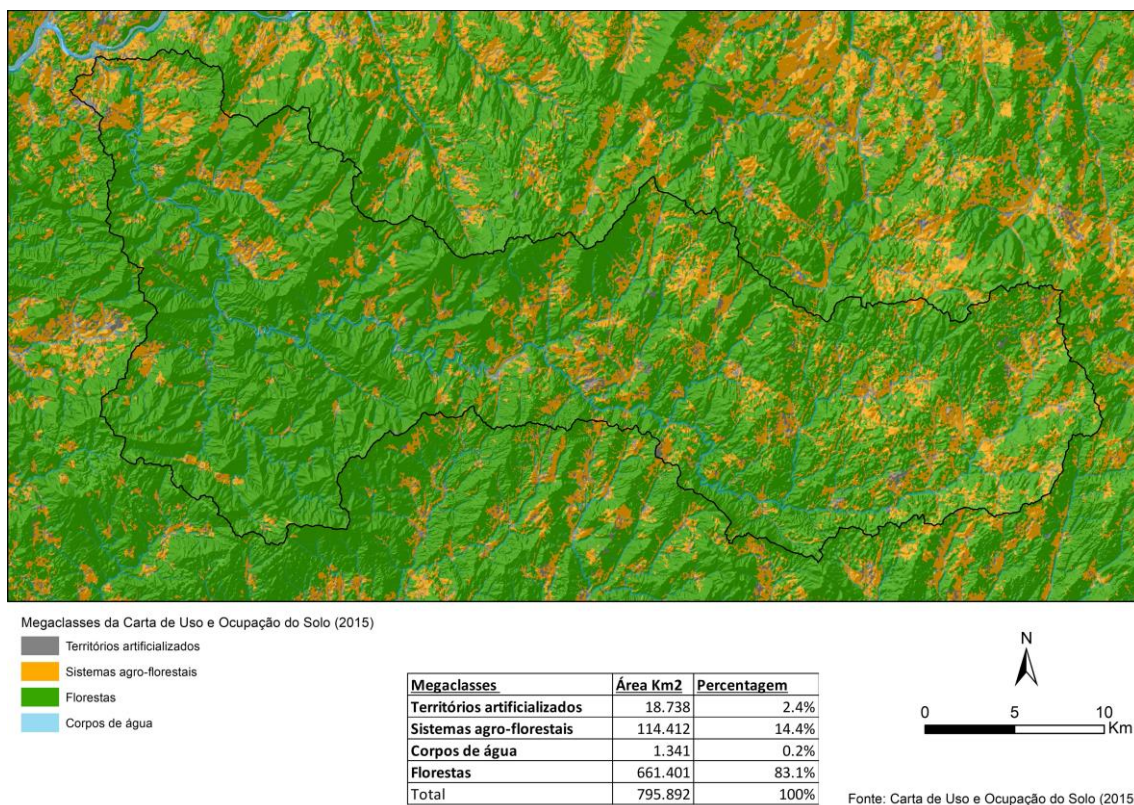


Figura 33 Mapa de ocupação e uso do solo (2015)

Um outro factor que pode ter condicionado a expansão dos sistemas agroflorestais é o declínio das atividades agrícolas. Identicamente, os territórios artificializados tornam-se limitados na sua expansão e a sua manifestação gráfica só é visível nas vilas que estão inseridas na bacia do Paiva como p.e., Castelo de Paiva, Castro Daire e Vila Nova de Paiva.

III. 5. Perfil Longitudinal e Knickpoints do Rio Paiva

O perfil longitudinal do Rio Paiva permite, numa primeira instância, aliar a visualização gráfica do perfil com a relação entre a distância e altimetria de forma a obter dados da sua morfometria.

No entanto, a sua principal função para este estudo é a possibilidade de conseguir inferir sobre a localização dos knickpoints e knickzones presentes ao longo do seu percurso. Com a conjuntura supracitada neste capítulo com os principais comportamentos e condicionantes ao percurso realizado pelo Rio Paiva, está representado na figura 34 o perfil longitudinal que foi também complementado com a representação do declive longitudinal que permite inferir com maior rigor a existência de nove knickpoints e duas knickzones ao longo do traçado.

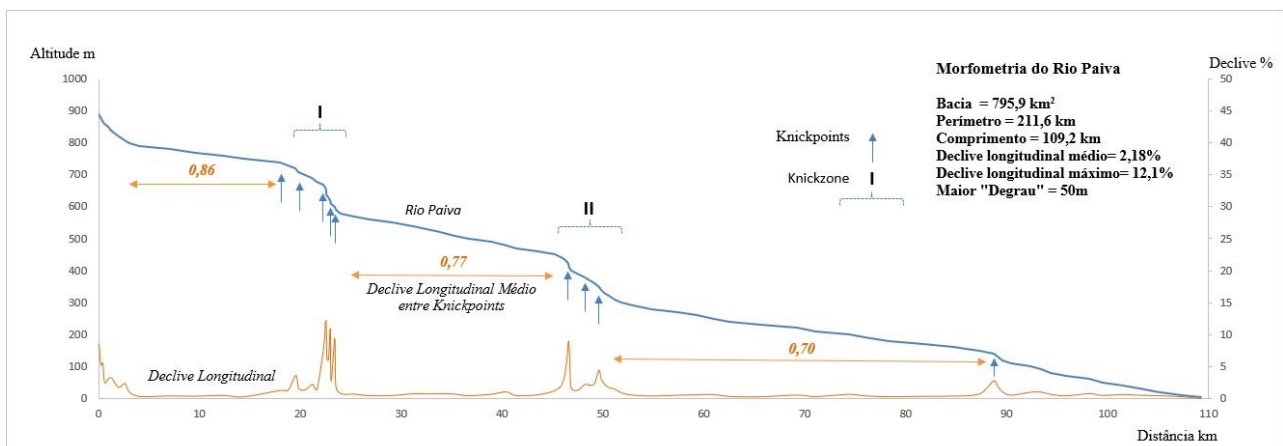


Figura 34 Perfil longitudinal do Rio Paiva e síntese morfométrica

Estes knickpoints fazem uma divisão natural do traçado do Rio Paiva onde é facilmente perceptível a alteração do nível do curso de água em quatro sectores distintos. Tal como supracitado no capítulo anterior existem dois tipos de knickpoints e numa primeira análise baseada no perfil longitudinal é possível afirmar que no Rio Paiva ambos os tipos são visíveis, transitórios e estacionários. Nos sectores mais a montante são visíveis no perfil duas knickzones com cinco e três knickpoints respectivamente, e um

único knickpoint no sector mais a jusante.

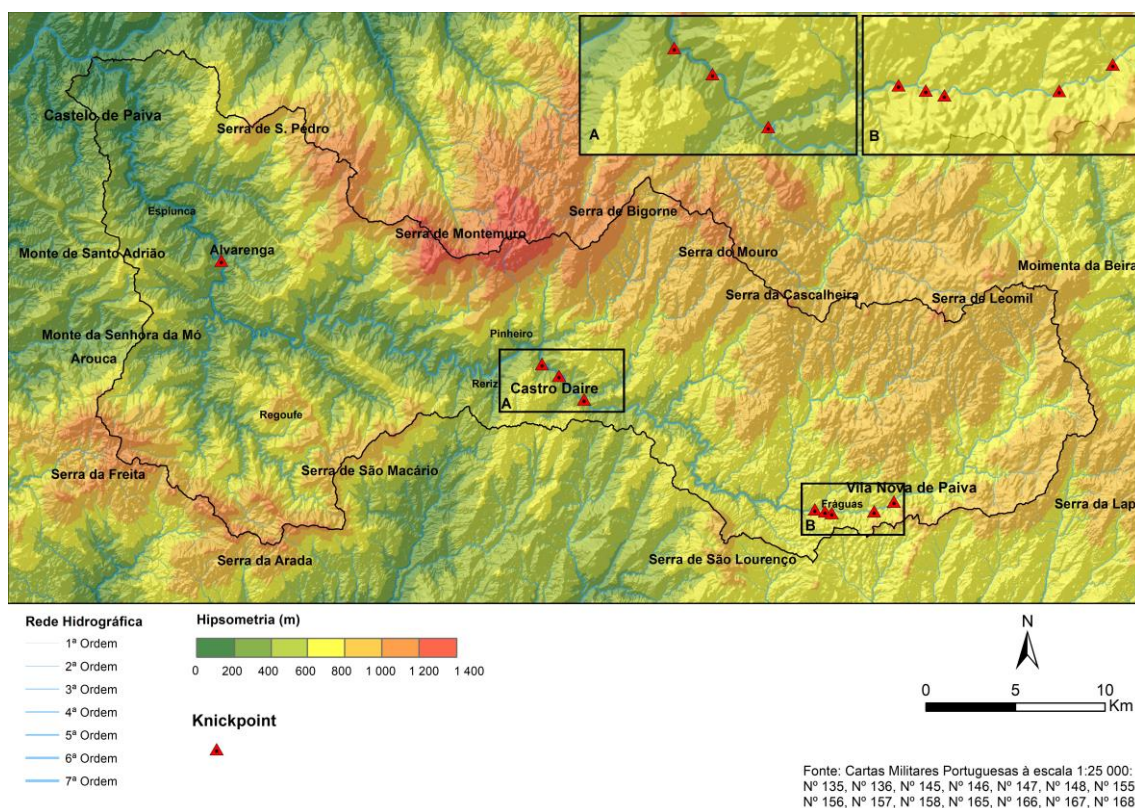


Figura 35 Mapa hipsométrico e knickpoints da bacia do Paiva

Na figura 35 estão representados os knickpoints identificados no perfil longitudinal juntamente com a hipsometria e na figura 36 os knickpoints com a litologia. Seguindo a direção Este-Oeste a primeira knickzone é identificada entre Vila Nova de Paiva e Fráguas, sendo que o knickpoint mais a montante se encontra à passagem de Vila Nova de Paiva aos 740 metros de altitude seguindo-se knickpoints aos 720, 670, 630, e 600 metros respectivamente, existindo várias quebras de declives entre eles, sendo os últimos três a ter as quedas com maior expressão.

Como apresentado na figura 36 esta knickzone encontra-se na fronteira da área de transição do substrato rochoso granítico, que oferece grande resistência aos processos erosivos, para o substrato existente onde o rio facilmente consegue encaixar e erodir. Esta transição e consequente entalhe facilitado do rio Paiva nas rochas menos resistentes deu numa primeira fase, origem a uma quebra de declive e consequentemente um knickpoint

formou-se, alterando a dinâmica do curso de água na procura por um novo equilíbrio. No entanto devido à elevada resistência o processo de substituição do knickpoint não se verifica, característica dos knickpoints estacionários. Eventualmente novos knickpoints são desenhados pelo rio, formando a knickzone. De notar que esta KZ causa um degrau no qual o rio sofre um decréscimo de 140 metros de altitude, entre o primeiro e último KP, em apenas 321 metros de comprimento, após a qual e já na área do substrato onde predominam as rochas metamórficas o rio Paiva passa para um patamar relativamente estável até ao reencontro com os granitos de Castro Daire.

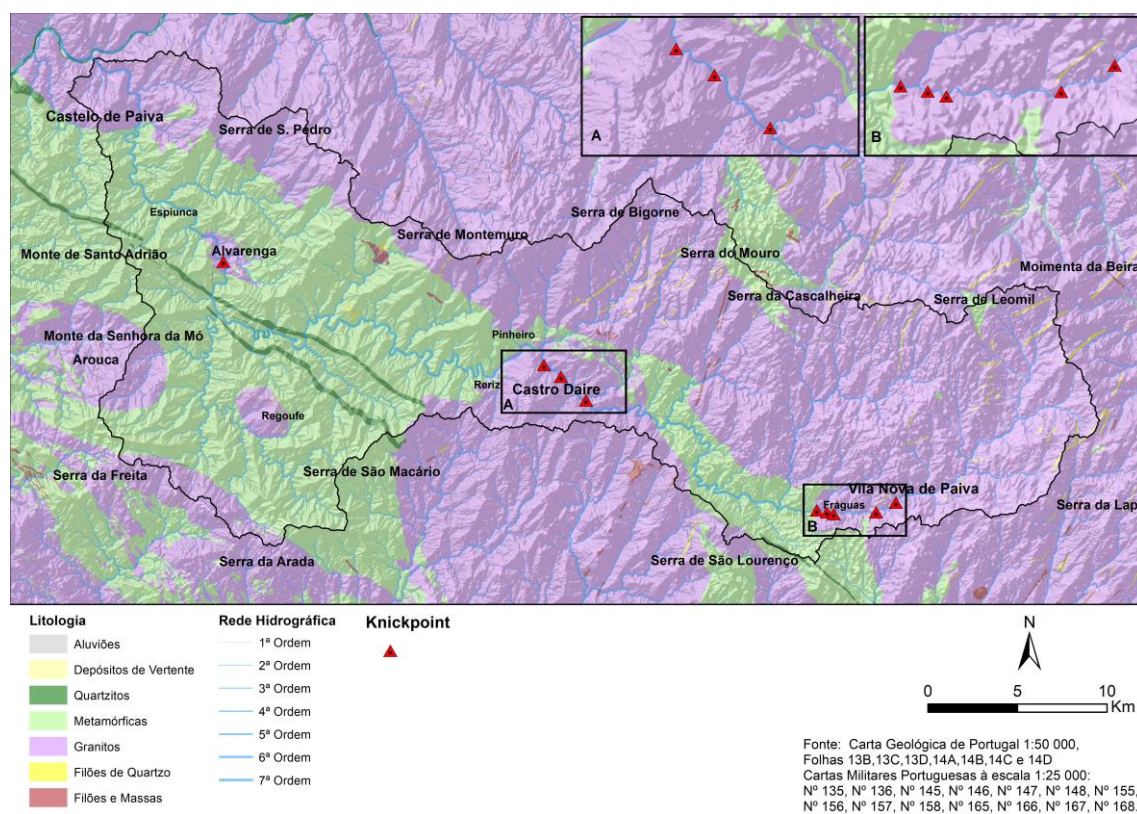


Figura 36 Mapa litológico e knickpoints da Bacia do Paiva

É precisamente em Castro Daire que se encontra a outra knickzone identificada com os três knickpoints que a constituem com altitudes de 440, 380 e 350 metros. Semelhante à anterior, o comportamento do rio e dos processos erosivos está condicionado pela resistência que estas rochas oferecem, estando os knickpoints

estacionários visíveis no seio da mancha granítica que aí irrompe. Desta maneira o Paiva é obrigado a desenvolver o seu percurso nesse substrato e a quebra de declive que advém do retorno para as rochas que constituem o complexo xisto-grauváquico é notória no perfil, contudo ao invés de entrar diretamente nos xistos, este adota temporariamente uma direção Nordeste – Sudoeste enquanto percorre a fronteira da mancha granítica com o complexo xisto-grauváquico originando aí um depósito de aluvião.

No sector mais a jusante, no batólito de Alvarenga demarca-se um KP transitório aos 140 metros, que migra para montante ao longo do perfil apesar de estar inserido num substrato rochoso que contraria esta dinâmica. Este KP é conhecido por rápido do Salto ou Gola do Salto, sendo até um dos geossítios assinalado ao longo do percurso dos passadiços do Paiva.



Figura 37 Poster informativo do geossítio 'Rápido do Salto'

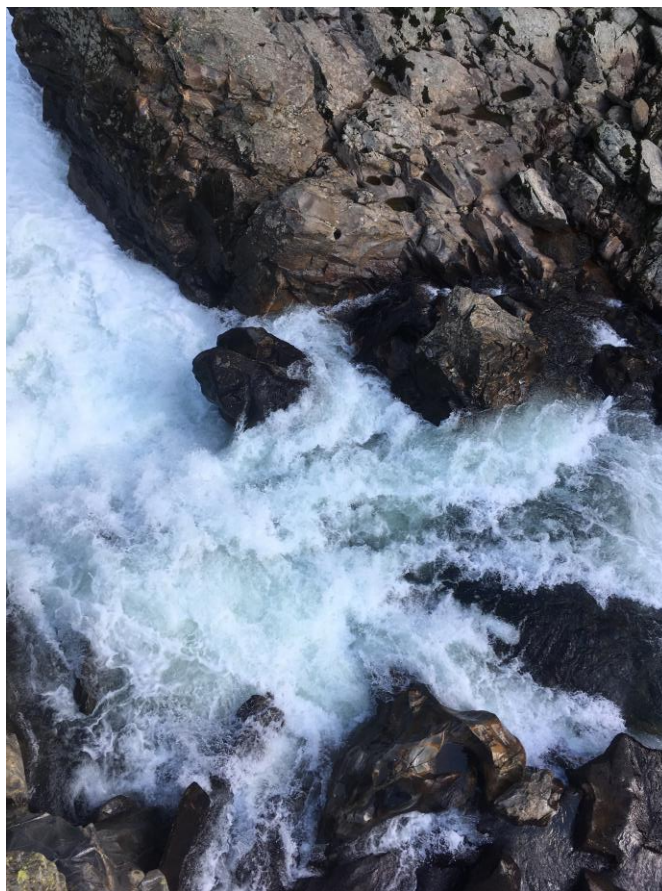


Figura 38 Knickpoint Rápido do Salto

Esta análise complementa-se com o auxílio do declive longitudinal onde se observa uma pequena oscilação abaixo do knickpoint demarcado e um pequeno “degrau” na variação de altitude, que marca a fronteira entre substratos e a saída do rio Paiva do batólito.

Este salto suave do declive longitudinal poderá indicar o local do knickpoint anterior ao atual, que terá sofrido erosão suficiente e migrado para montante até ao local onde atualmente se encontra. É importante levar em consideração que esta área se encontra muito próximo da foz do Rio Paiva e neste enquadramento é necessário não descartar a possibilidade de outrora ter existido uma vaga erosiva a remontante causada pela descida do nível de base do Rio Douro o que terá transmitido força aos processos erosivos, para além da grande quantidade de caudal de água que neste sector o Paiva pode atingir com toda a área a montante que drena, inclusive da precipitação forte das

montanhas ocidentais.

Uma nota a retirar sobre o comportamento do rio na sua relação com as diferentes litologias é que as camadas de quartzito oferecem alguma resistência aquando da passagem do rio, mas o estreito afloramento de cristas quartzíticas entre Castro Daire e Alvarenga não o oferece, não constituindo assim um obstáculo para o Paiva.

Para concluir, é notório que existe uma repetição das condições de formação dos knickpoints da bacia do Paiva, onde a principal causa do seu aparecimento aparenta ser a transgressão de substratos rochosos de diferentes resistências sendo os graníticos os responsáveis por estabelecer as quebras entre os patamares atuais do curso de água, patamares esses que empurram o Paiva para um sucinto equilíbrio quando alinhado nas rochas pertencentes ao complexo xisto-grauváquico.

IV. Índice de Gradiente (SL) & Índice de Inclinação Normalizado (K_{SN})

IV 1. Índice de Gradiente (SL) de John T. Hack

Em todos os cursos de água, as dinâmicas que neles ocorrem no seu dia a dia têm como objectivo final a chegada a um perfil de *steady-state* caracterizado pela forma em L e suave curvatura côncava. Hack (1973) elaborou uma análise partindo deste pressuposto, onde afirma que “os perfis longitudinais dos cursos de água possuem propriedades geométricas regulares que podem ser quantificadas” e com o auxílio de fórmulas matemáticas que correlacionam diretamente as coordenadas X e Y dos pontos que constituem o perfil longitudinal, onde X equivale a uma escala logarítmica do comprimento do curso de água e Y à altitude numa escala aritmética. Afirmou então que um curso de água em equilíbrio total pode ser representado com a fórmula:

$$H = C - k \log_e L$$

onde H corresponde à altitude em um ponto no perfil e $\log_e L$ ao logaritmo comprimento ou distância horizontal do curso de água até ao mesmo ponto, sendo que ‘C’ e ‘k’ são constantes.

A partir desta fórmula inicial, Hack (1973) desenvolveu uma série de derivações até atingir uma nova unidade de medição designada *stream-gradient index* (SL) ou índice de gradiente, que pode ser na sua forma mais simples como:

$$SL = k$$

sendo que o valor de ‘k’ se obtém com a fórmula:

$$k = \frac{H_1 - H_2}{\log_e L_2 - \log_e L_1}$$

Este índice de gradiente acabaria por ser adotado por vários autores inclusive o próprio para avaliar a “... *influência de resistência litológica na evolução do relevo ou inferir sobre o rejuvenescimento da paisagem derivado de alterações no nível de base ou de elevação da superfície*” (Goldrick & Bishop, 2007).

A grave lacuna apontada a este índice de gradiente numa fase posterior foi a assunção por parte do autor, que o condicionamento gerado pelos vários fatores que influenciam as alterações no perfil dos cursos de água, estariam de forma igualmente distribuída por todo o seu percurso, ou seja, “...*não tomando em conta a resistência de substratos litológicos ou desequilíbrios de elevação.*”(Goldrick & Bishop, 2007).

Contudo, este índice de gradiente de Hack (1973) é útil para este estudo sobre o rio Paiva, para utilizar o conceito da relação geométrica entre a altitude e distância a partir do qual é possível observar uma prolongação estimada do perfil longitudinal.

IV 1.1 Índice de Gradiente (SL) de John T. Hack – Método

Com a informação recolhida e analisada até este ponto, sabe-se que o perfil longitudinal do rio Paiva pode ser separado em patamares ou setores, podendo até considerar os knickpoints como fronteiras entre eles. Assim, ao realizar essa separação, cada patamar é representado por um perfil, como se de um rio individual se tratasse

A divisão para este caso prático foi realizada conforme demonstrado na figura 34, onde estão demarcados os perfis de forma visual, através da separação dos dados de base do perfil longitudinal do rio Paiva correspondentes.

Para obter a prolongação estimada, é necessário resolver a equação do índice de gradiente de Hack (1973)

$$H = C - k \log_e L$$

com a qual será possível inferir o valor de altitude aproximado ou nível de incisão aproximado, que o perfil apresentaria se não tivesse sofrido qualquer interferência por

parte dos fatores condicionantes à sua evolução.

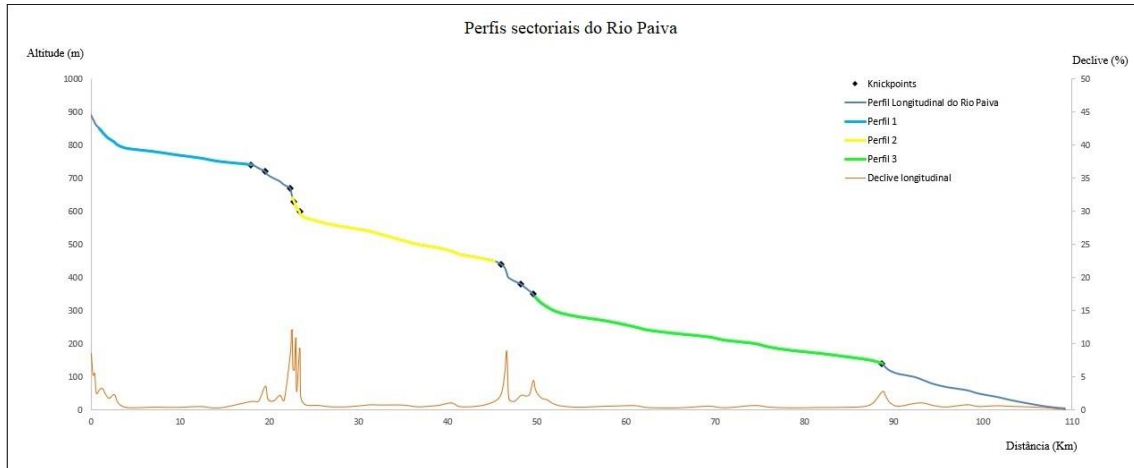


Figura 39 Perfis dos sectores individuais para análise do índice de gradiente SL

Na tabela 3 estão representados os dados de uma forma sumariada, como a altitude dos pontos iniciais e finais do patamar, da distância que o curso de água já acumulava aquando do ponto inicial e a distância acumulada que possui no ponto final, bem como os valores das constantes.

Tabela 3 Dados base para o cálculo do índice de gradiente SL

	Altitude (m)		Comprimento acumulado (m)		Constantes	
	H Inicial	H Final	L Inicial	L Final	k	c
Perfil 1	850	740	951,345	17964,664	-35,54	1091
Perfil 2	640	450	22601,118	45194,468	-235	2969,3
Perfil 3	340	140	49792,966	88699,504	-299,2	3551,5

Como supracitado, os valores de H já foram determinados e o logaritmo da distância (L) foi facilmente calculado com o auxílio da função “=LN(x)” do *Microsoft Excel* que devolve o logaritmo natural de ‘x’. Os valores das constantes foram obtidos através de um gráfico de dispersão entre a altitude e a distância que calcula a linha de tendência da regressão logarítmica que tem a equação

$$y = a * \ln(x) + b$$

na qual os valores devolvidos de 'a' correspondem à constante 'k' e os valores devolvidos de 'b' correspondem à constante 'C'.

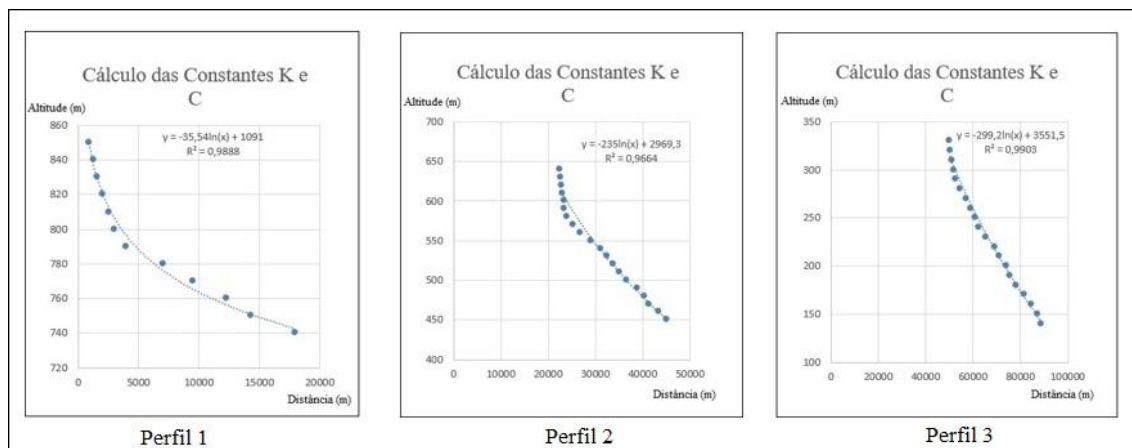


Figura 40 Gráficos de dispersão dos três perfis

Na figura 40 estão representados os gráficos de dispersão com as respectivas equações de regressão logarítmica através das quais os valores das constantes necessárias foram obtidos.

No fim desta tarefa, o valor de H é calculado de acordo com a equação, para todos os segmentos a jusante, incluindo o próprio, do segmento com o H inicial (tabela 3) do perfil longitudinal atual, sendo de seguida representado em gráfico, finalizando o processo.

IV 1.2 Índice de Gradiente (SL) de John T. Hack – Resultados

Os resultados da prolongação de cada sector do rio Paiva estão representados na figura 41. Nela pode-se observar que existe uma grande diferença entre o carácter mais equilibrado do perfil 1, que corresponde ao sector mais a montante, dos perfis 2 e 3.

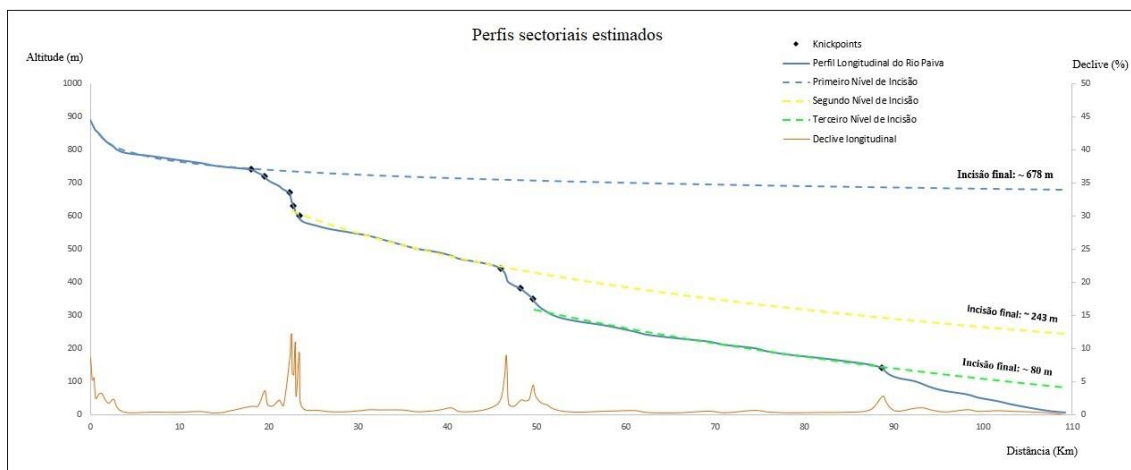


Figura 41 Perfis longitudinais estimados de acordo com a fórmula SL de Hack

Este sector a montante é designado como ‘troço relíquia’ pois corresponde na teoria a um troço do perfil onde os processos erosivos e as quedas do nível de base mais a jusante não conseguem ter tanto impacto ou atingir com tanta facilidade, devido p.e. ao fraco caudal disponível e/ou à distância da foz. No entanto, é compreensível que sendo um sector tão antigo corresponda a um troço mais pequeno pois apesar da resistência que apresenta às dinâmicas erosivas, não significa que não esteja sobre coação por parte das mesmas. Esta observação é importante, pois a obtenção das constantes ‘C’ e ‘k’ com o gráfico de dispersão fica invariavelmente condicionada pela amostra de valores que se utiliza e como observado na tabela 3, este troço tem menos de metade do comprimento que os dois últimos sendo até notório na discrepância que existe entre os próprios valores das constantes relativamente ao outros troços.

Além deste factor, tal como Goldrick and Bishop (2007) concluíram, este método não leva em conta factores de desequilíbrios elevatórios ou da resistência litológica do

substrato à evolução do perfil. Então, encarando a figura 25 que apresenta a litologia da bacia, observa-se que todo este troço se encaixa em rochas graníticas de elevada resistência e ainda se sobressai o facto da existência do planalto da Nave, área caracterizada por um longo aplanamento e decréscimo dos valores de hipsometria, o que coloca alguns entraves a que o nível de incisão estimado para o perfil 1 se mantivesse tão estável como o observado na figura 41.

Por outro lado, os perfis 2 e 3 para além de possuírem amostras de dados maiores, estão localizados em locais com condições litológicas mais favoráveis para este método sendo que a maior parte do troço analisado se localiza em rochas pertencentes ao complexo xisto-grauváquico, que não apresentam forte resistência ao entalhe do rio, apesar de voltarem a encontrar rochas graníticas na área envolvente de Castro Daire, de uma breve passagem também em Alvarenga e na fase terminal do rio Paiva já nas imediações de Castelo de Paiva.

Concluindo, apesar de na bacia do Paiva existirem condicionantes a ter em conta para estas estimações, os valores obtidos do nível de incisão na foz para os perfis 2 e 3 poderão estar próximos dos valores atingidos pelo rio Paiva num período antigo, durante a sua fase de evolução até ao perfil longitudinal que se observa atualmente.

IV 2. Índice de Inclinação Normalizado (K_{SN})

O índice de inclinação normalizado (K_{SN}) é uma normalização do índice de inclinação (K_S). Este índice constitui-se como um parâmetro importante na análise de perfis de cursos de água devido à sua sensibilidade a alterações de cariz tectónico (*uplift*), da passagem de materiais rochosos menos resistentes para materiais que oferecem maior resistência aos processos erosivos e ainda das taxas de deformação dos materiais rochosos nos quais assentam os cursos de água (Wobus et al., 2006).

Este é obtido através de uma relação entre o declive e a área da drenagem contributiva a montante, onde uma é proporcional a uma potência fixa da outra (Hack, 1973; Howard & Kerby, 1983) que utiliza a seguinte fórmula:

$$S = K_S A^{-\theta}$$

onde S representa o declive do curso de água, A é o valor da área de drenagem a montante e o valor de K_S e θ representam os índices de inclinação e concavidade, respetivamente (Wobus et al., 2006). Os valores de K_S e θ são obtidos através da regressão linear do logaritmo do gradiente do curso de água versus o logaritmo da área de drenagem a montante (A. A. Martins et al., 2017). No entanto, tendo em conta que a variação do valor de θ provoca grandes influências no resultado do índice de inclinação, esse valor θ é substituído por um θ_{ref} (valor de referência) pré-estabelecido (Wobus et al., 2006). No caso deste estudo, $\theta_{ref} = 0,5$ foi utilizado em todos os segmentos individuais do rio, encontrando assim o índice de inclinação normalizado, através da seguinte fórmula:

$$K_{sn} = \frac{S}{A^{-\theta}}$$

De acordo com Kirby et al. (2003) “o coeficiente de regressão do K_S do qual deriva o K_{SN} , é similar ao índice de gradiente SL , mas permite um avaliação mais geral da inclinação do perfil, independente da forma do perfil que serve de modelo”.

IV 2.1 Índice de Inclinação Normalizado (K_{SN}) - Métodos

Cada curso de água pode ser classificado e analisado no seu todo de acordo com o valor de K_{SN} , contudo o objetivo pretendido é uma análise ao maior número de segmentos individuais que constituem a totalidade do curso de água e para cada um destes obter o valor do seu K_{SN} .

Para realizar este cálculo volta a ser necessário recomeçar o processo de edição dos dados vetoriais que foram obtidos na primeira parte da metodologia. A partir do segmento único do Rio Paiva obtido anteriormente, é neste momento necessária a divisão em segmentos individuais, divisão essa que é realizada através da utilização das curvas de nível da cartografia militar portuguesa. A cada curva de nível distinta, ou seja, de 10 em 10 metros de altitude, existe a colocação de um ponto de controlo sobre as coordenadas exatas onde a linha de água intersecta a curva de nível, e a com a ferramenta **Split** o Rio Paiva é recortado segmento a segmento.

O cálculo do comprimento de cada segmento e do comprimento acumulado são dois dados indispensáveis e são realizados na direção do curso do rio, ou seja, da nascente até à foz, o que leva a que o comprimento acumulado de todos os segmentos atinga a totalidade dos 109,2 km do Rio Paiva quando a sua foz é alcançada.

Para além de marcar o ponto exato onde o rio deve ser recortado, os pontos de controlo são essenciais para a determinação do cálculo das áreas contributivas a montante. Estas áreas contributivas podem ser consideradas como sub-bacias independentes que correspondem à área de drenagem contributiva para cada segmento do Rio Paiva que possui um ponto de controlo como representação da sua “foz”.

Para o seu cálculo a metodologia a utilizar é bastante semelhante à utilizada para a delimitação da bacia do Paiva (figura 15) onde é utilizada a **ArcToolbox Hidrology** com um ponto de controlo na foz do rio e a ferramenta **Watershed** que devolve como resultado uma bacia correspondente à área de drenagem a montante do ponto de controlo.

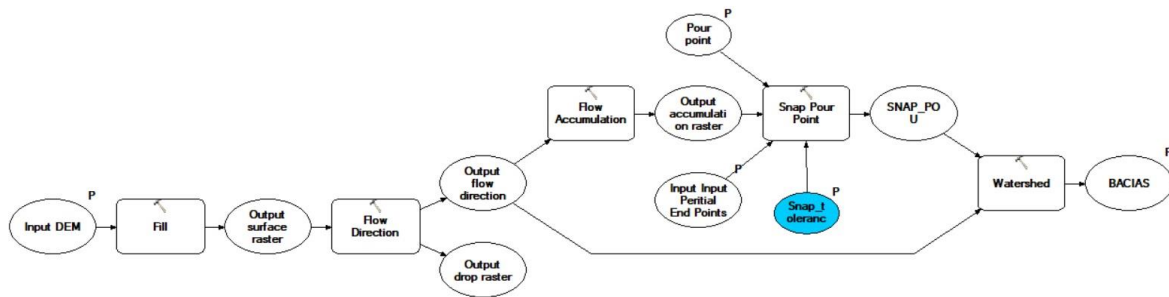


Figura 42 Script do model builder para o cálculo das sub-bacias

Contudo, para esta situação de múltiplas bacias foi com o auxílio de um script de *model builder* (figura 42) que se realizou a operação de forma a automatizar as pequenas etapas e diminuir o tempo necessário para obter os resultados. Apesar da automatização deste passo é importante uma rigorosa verificação devido aos segmentos que por se situarem em locais de elevado declive possuem um comprimento demasiado pequeno e a sua área contributiva tem pequena expressão.

Nestas situações as áreas contributivas sofrem um **Merge** bem como os segmentos que lhes correspondem. Desta forma, mantém-se o rigor e a veracidade dos resultados obtidos pois a relação entre comprimento e área contributiva continua exatamente a mesma e a ser corretamente representada.

Tabela 4 Dados tabulares obtidos e cálculo do K_{SN}

Comprimento Acumulado (L)	Cota	Slope (S)	Área	Área Acumulada (A)	A ^{θref}	θref	KSN
m	m	%	m2	m2		0,5	
0,0000	885	0	0	0,00	0		-----
184,80	880	0,027	69976,85	69976,85	0,00378		7
1271,28	840	0,037	1070091,76	1140068,61	0,00094		39
2004,67	820	0,027	1250815,08	2320906,84	0,00066		42
3997,61	790	0,015	5459057,58	6709872,66	0,00039		39
7037,31	780	0,003	20155386,78	25614444,35	0,00020		17
12294,80	760	0,004	21938818,31	42094205,09	0,00015		25
17964,66	740	0,004	48508619,56	70447437,87	0,00012		30
19797,77	710	0,016	2442581,37	50951200,93	0,00014		117
21168,61	690	0,015	3331293,02	5773874,40	0,00042		35
22318,05	670	0,017	1843456,75	5174749,77	0,00044		40
23019,61	610	0,086	608532,01	2451988,76	0,00064		134
24021,37	580	0,030	13725440,44	14333972,45	0,00026		113
26841,37	560	0,007	80923731,38	94649171,82	0,00010		69
29044,72	550	0,005	12034071,19	92957802,56	0,00010		44
32493,05	530	0,006	8341328,36	20375399,54	0,00022		26
33873,18	520	0,007	2657802,08	10999130,44	0,00030		24
36666,87	500	0,007	6686057,61	9343859,69	0,00033		22
38900,99	490	0,004	42606910,59	49292968,20	0,00014		31
41351,04	470	0,008	4422515,66	47029426,25	0,00015		56
45194,47	450	0,005	10540146,85	14962662,51	0,00026		20
46554,65	420	0,022	37701643,86	48241790,71	0,00014		153
48662,62	370	0,024	9356473,98	47058117,84	0,00015		163
51140,11	310	0,024	52104776,73	61461250,71	0,00013		190
54792,58	280	0,008	23736950,10	75841726,82	0,00011		72
59254,44	260	0,004	8601437,15	32338387,25	0,00018		25
62531,49	240	0,006	6201879,04	14803316,19	0,00026		23
69193,44	220	0,003	32127240,00	38329119,04	0,00016		19
74353,63	200	0,004	36557865,71	68685105,71	0,00012		32
78262,30	180	0,005	30907779,18	67465644,89	0,00012		42
84681,14	160	0,003	17437051,73	48344830,91	0,00014		22
87315,30	150	0,004	115295816,03	132732867,76	0,00009		44
89545,48	120	0,013	14509055,78	129804871,81	0,00009		153
92339,13	100	0,007	11321076,83	25830132,62	0,00020		36
94350,98	80	0,010	2788036,67	14109113,50	0,00027		37
95859,22	70	0,007	58054316,12	60842352,79	0,00013		52
98213,61	60	0,004	9065179,70	67119495,82	0,00012		35
99529,48	50	0,008	4768327,64	13833507,34	0,00027		28
103180,38	30	0,005	13676065,65	18444393,29	0,00023		24
105127,00	20	0,005	3251897,65	16927963,31	0,00024		21
107379,97	10	0,004	13841562,86	17093460,51	0,00024		18
109237,52	5	0,003	6022721,82	19864284,68	0,00022		12

Com todo o processamento realizado, o **Join** tabular entre os segmentos e a bacias correspondentes permitem a exportação dos dados para a o software *Microsoft Excel* onde os atributos e respetivos valores são os representados na tabela 4 e o cálculo da fórmula supracitada é realizada para todos os segmentos.

Após todos os cálculos que determinam os valores de K_{SN} , estes foram distribuídos por seis classes para serem posteriormente representados visualmente em mapas temáticos, através da sua exportação para o software **ArcMap**.

IV 1.2 - Índice de Inclinação Normalizado (K_{SN}) - Resultados

Os valores do índice de inclinação normalizado, distribuídos por seis classes são então representados graficamente na figura 43 e 44 acompanhados pela hipométrica e litologia respectivamente. Estes variam do 7 ao 190 que são os valores mínimo e máximo obtidos e uma média de 52 para a totalidade do rio Paiva

Em ambas as figuras os knickpoints que foram identificados anteriormente estão representados e a dinâmica que estes demonstram ter com a variações dos valores de K_{SN} indica uma relação de proximidade de forma muito clara.

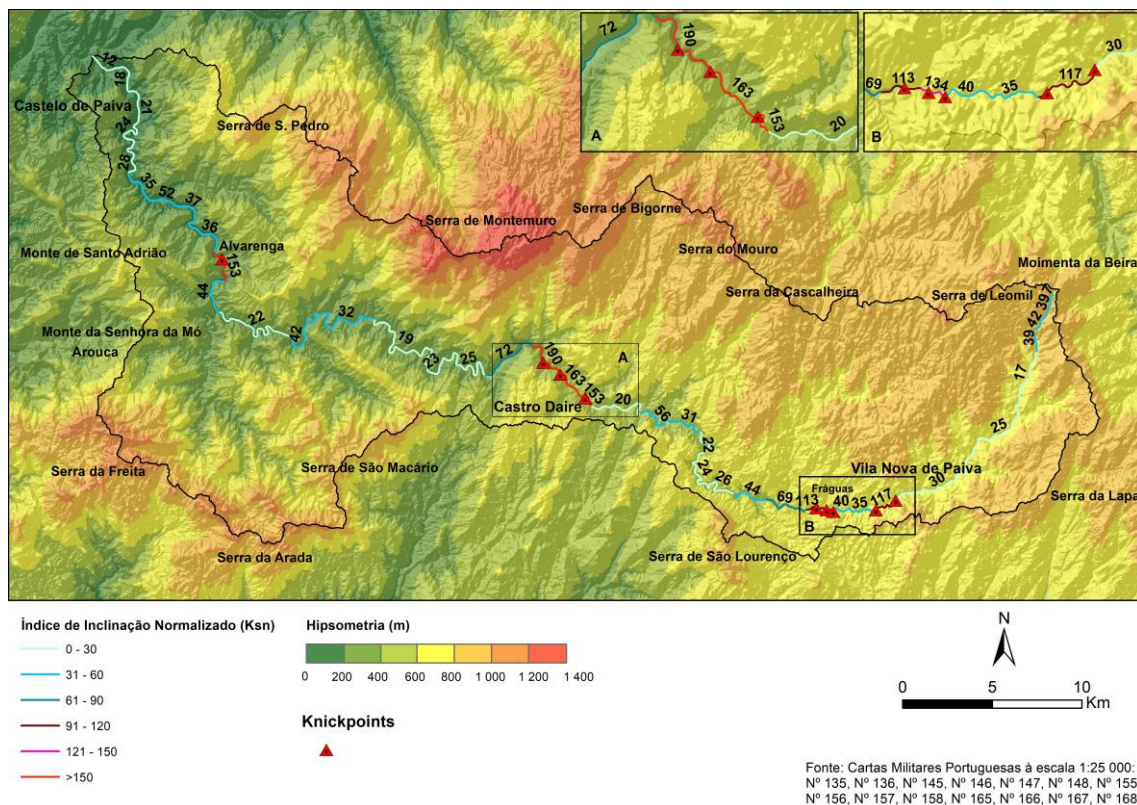


Figura 43 Mapa hipsométrico e valores K_{SN} do Rio Paiva

Sabendo que os knickpoints marcam quebras no perfil de um curso de água, obrigando a que exista um decréscimo na altitude em que fluem esses cursos de água, o facto de estes encaixarem em locais onde o índice de inclinação normalizado é elevado

não se pode considerar uma surpresa. No entanto e apesar de naturalmente os patamares de altitude diminuírem progressivamente para jusante, na figura 43 existe um exemplo onde a existência do knickpoint não causa a que o segmento que o segue tenha um elevado valor de KSN, situação que se observa no segundo knickpoint mais a montante do perfil onde o valor do K_{SN} é de apenas 35, valor esse muito abaixo dos observados nos casos dos demais knickpoints e respetivos segmentos adjacentes. Assim sendo, não se pode obrigatoriamente considerar que imediatamente a seguir a todos os knickpoints o rio apresenta forte obliquidade, trabalhando o substrato com mais afinco no seu processo erosivo embora seja de facto o caso mais comum.

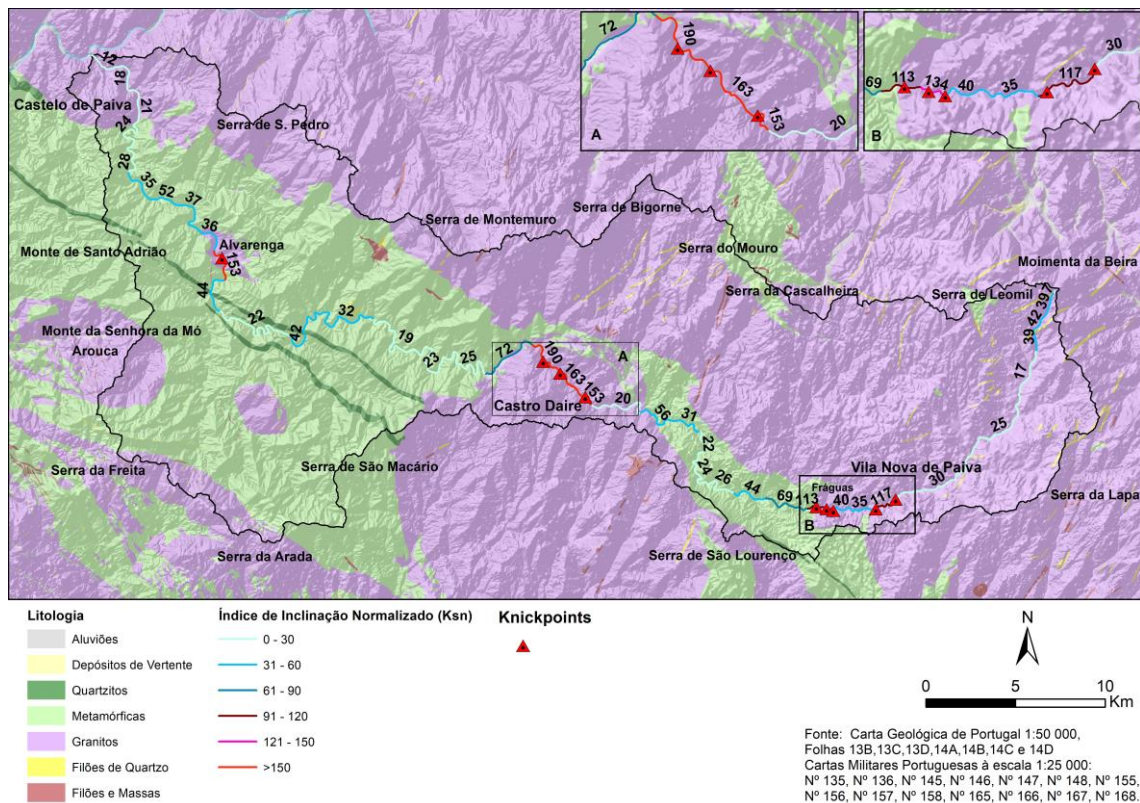


Figura 44 Mapa litológico e valores KSN do Rio Paiva

Posto isto, olhando agora a figura 44 onde a litologia está representada e sabendo à priori que existe um padrão que não mostra exceções relativamente ao substrato rochoso do perfil e ao posicionamento dos knickpoints, onde todos eles estão situados em rochas de elevada resistência a processos erosivos, nomeadamente afloramentos graníticos,

também os valores mais elevados do K_{SN} possuem essa proximidade com os granitos. Sem exceção, os valores mais elevados do índice de inclinação normalizado localizam-se em segmentos que detêm um knickpoint imediatamente abaixo ou acima e trabalham sobre rochas graníticas. Os valores médios por seu lado podem-se encontrar expressos nos segmentos diretamente envolvidos com a transgressão de litologias demonstrando a inclinação presente locais

Curiosamente, não passa despercebido que os valores mais baixos, ainda que por uma margem muito pequena, similarmente aos mais elevados se encontram nesse substrato resistente. Estes valores inferiores estão representados em maior número e bem distribuídos pela totalidade do perfil, o que significa que o perfil do Paiva está bem delineado em patamares divididos pelos granitos, patamares esses que usufruem de um determinado equilíbrio na erosão e suave encaixe na litologia local.

Com estas evidências, não seria descabido considerar a hipótese que ao contrário do que seria lógico, os troços de um rio que atingiu este comportamento – ausência de knickpoints e perfil aplanado e regular - acabe por incidir com menos vigor, ou seja, possua um K_{SN} menor quando encaixa em rochas graníticas do que p.e. em rochas xistentas. A facilidade de erosão, transporte e deposição de sedimentos que as rochas menos resistentes oferecem, pode ter influência, na medida que estes processos incitam uma maior dinâmica fluvial.

Por outro lado, não seria justo deixar de salientar o facto que os valores menores usados para conceber esta hipótese são próximos dos valores mínimos também observados nos segmentos do complexo xisto-grauváquico, e estão também situados na proximidade da foz com o Rio Douro, ou seja, trata-se de um troço do perfil que já terá sofrido bastantes alterações nas suas dinâmicas devido às vagas erosivas provenientes do mesmo.

V. Atividade turística na bacia do Paiva

V.1 Locais e atividades turísticas na bacia do Paiva

Nos últimos anos têm crescido o número de visitantes da bacia do Paiva, muito graças aos passadiços do Paiva⁵ que são parte integrante do Arouca Geopark⁶ desde 2015. No entanto, não só os passadiços do Paiva contribuem para o crescente reconhecimento do rio Paiva como destino de eleição para geoturismo tal como observado na figura 46 e 47. Apesar de não se encontrarem expressos na figura os vários geossítios existentes na bacia, os locais onde fosseis e falhas geológicas estão devidamente expostas e catalogadas e locais de índole histórico-cultural, estes existem na bacia do Paiva e também contribuem para o seu património.

Na figura 46 estão representadas o Arouca Geopark e mais seis empresas e clubes, nomeadamente o Clube do Paiva, Lusorafting, Just Begin, MTM Team, Radicais Livres e Vertente Norte, dedicados a desportos radicais aquáticos na bacia do Paiva, aos quais os turistas recorrem para a sua prática. O seu número tem vindo a crescer e a diversificação das atividades que realizam acompanha esse crescimento. Curiosamente, o seu grande número encontra-se para Este de Castro Daire, em áreas íngremes que fomentam a existência de muitos rápidos, onde há maior caudal disponível e os próprios afluentes do rio Paiva são mais longos e compartilham a mesma gênese característica de rios montanhosos que oferecem as condições ideais para estas práticas.

As atividades e locais aos quais essas empresas recorrem estão também demarcados, notando-se que as atividades de canyoning e kayaking são as mais comuns entre eles praticando-se também canoagem, rafting, stand up paddle. Muitas destas atividades são realizadas nos afluentes do rio Paiva, pelas razões supracitadas,

Na figura 47 é possível contabilizar onze trilhos disponíveis exclusivamente dentro da bacia, sendo eles geralmente temáticos e oferecendo vistas privilegiadas e contacto direto com a fauna e flora existente. Há ainda outros percursos que apesar de terem o seu ponto inicial fora dos limites da bacia, escolheram o Paiva como destino final da caminhada.

⁵ <http://www.passadicosdopaiva.pt/>

⁶ <http://aroucageopark.pt/pt/>



Figura 45 Kayaking no rio Paiva

Foram também expostas as pequenas praias fluviais que repousam nas margens do Paiva, grande parte delas oriundas da deposição de sedimentos em troços meandrizados do rio Paiva, junto a pequenas aldeias que acompanham o percurso do rio, sendo ideais para quem procura repouso ou um piquenique em família com lugar de primeira fila para o rio Paiva.

Estas condições perfeitas para a prática de desportos radicais ou para a formação de pequenas praias fluviais e locais com potencial ecoturístico, são sem dúvida uma mais valia para os concelhos da área e para empreendedores que exploram e dão a conhecer a bacia do Paiva. Cada vez mais as potencialidades do Rio Paiva e dos seus afluentes são uma peça fulcral para atrair visitantes e para alertar que apesar de os Passadiços do Paiva serem o seu ex-líbris, os vales de cariz montanhoso do Rio Paiva e seus afluentes, têm sempre pequenas surpresas para quem os explorar.

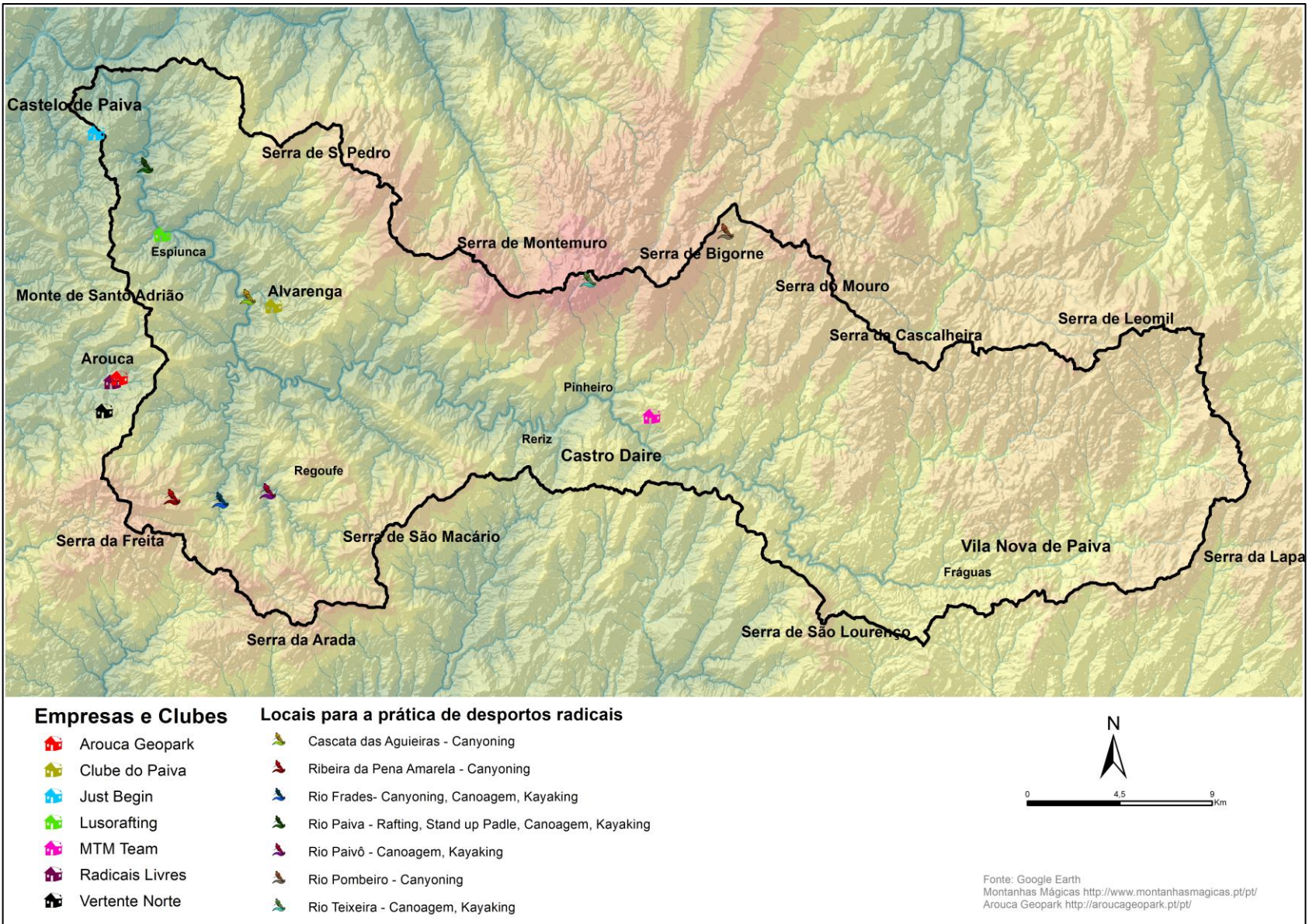


Figura 46 Empresas e clubes de desportos radicais aquáticos e locais de atividades

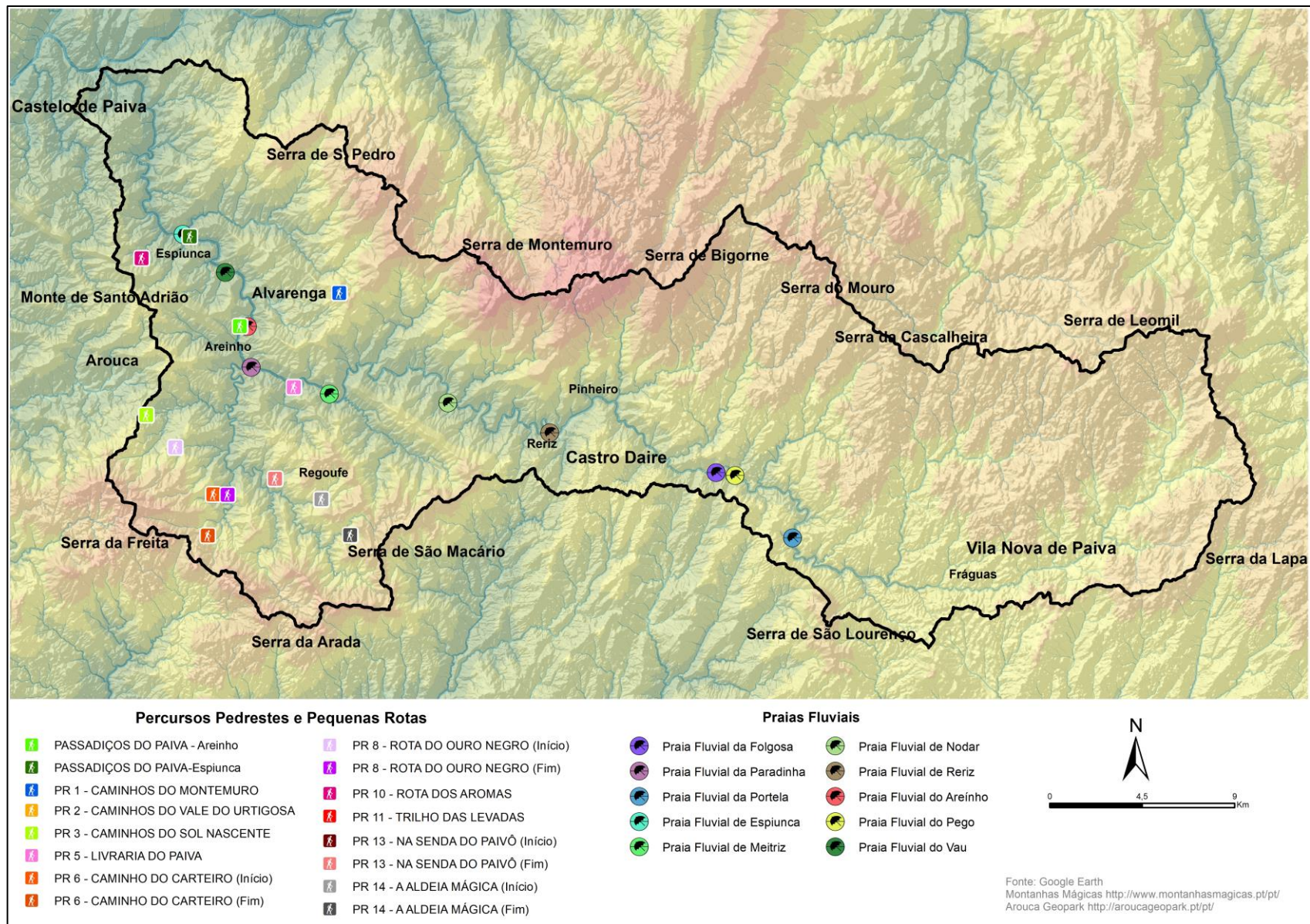


Figura 47- Percursos pedestres, pequenas rotas e praias fluviais

VI. Conclusões

VI.1 Síntese e considerações finais

A presente dissertação foi um desafio desde o primeiro momento, desde a fase de seleção dos dados de base que garantissem o maior rigor do MDE, da metodologia a seguir para obter todos os parâmetros necessários acerca do traçado do rio Paiva e da compreensão do porquê de a bacia apresentar nos factores condicionantes da rede hidrográfica uma disformidade na maior parte deles entre as áreas Este e Oeste da bacia e a margem esquerda e direita do Paiva.

Assim, após a determinação de todos os passos da metodologia a seguir, e de garantir que a mesma proporcionaria resultados fidedignos, a pesquisa bibliográfica revelou-se indispensável para consolidar as bases de conhecimento relacionadas com a geomorfologia fluvial.

Apesar de todos os conceitos por detrás da mesma se revelarem simples à primeira vista, quando foi necessário a sua compreensão juntamente com as características dos factores condicionantes presentes na bacia e as ações e/ou consequências que estes transmitem aos cursos de água, revelou-se um grande desafio conseguir a formulação de hipóteses e conclusões a partir dos resultados que iam sendo produzidos no decorrer do estudo, pois todas estão interligadas e condicionam o traçado do Paiva e os seus comportamentos.

A somar a estas razões os cálculos dos índices geomorfológicos, a produção de resultados para o rio Paiva mostrou-se com informação suficiente para o estudo, razão pela qual a análise aprofundada dos seus afluentes acabou por ser descartada.

Prosseguindo, algumas das conclusões que foram retiradas são as seguintes:

O vale do Paiva apresenta diferenças inequívocas ao longo do seu percurso começando a ter expressão no planalto da Nave onde os seus vales são amplos e relevo aplanado, tornando-se um vale íngreme e mais declivoso aquando da entrada na área das montanhas ocidentais. A diferença da área drenada pela margem direita em relação à margem esquerda é de uma diferença incrivelmente significativa durante os primeiros dois terços do seu comprimento, voltando a ser equilibrada também onde o relevo se torna mais montanhoso a Oeste. Estas situações podem ser fruto da depressão do planalto da

Nave ou do soerguimento da área Nordeste da bacia, contudo como estes processos não foram aprofundadamente estudados não os podemos afirmar como causa para estas discrepâncias.

Os knickpoints observados no Paiva delimitam o seu perfil longitudinal em três sectores de relativo equilíbrio fluvial, servindo também no caso do rio Paiva como pontos que demarcam áreas de transição do substrato rochoso de material resistente para menos resistente. É a partir da análise do perfil longitudinal e dos knickpoints identificados que se afirma a forte relação do rio Paiva com a litologia presente na bacia, sendo nos locais de afloramentos de índole granítica que o rio Paiva apresenta inclinações mais preeminentes. A razão pela qual existem duas knickzones nos sectores médio e a montante do rio Paiva são a resistência oferecida por esses afloramentos graníticos e a falta de precipitação e área de drenagem suficiente para o caudal atingir valores que permitam a erosão dos knickpoints. Esta é a conclusão que se obtém ao observar que o knickpoint do afloramento granítico de Alvarenga é um knickpoint transitório, devido ao elevado caudal que o Paiva atinge nesse local. O nível de base do rio Douro e as suas mudanças passadas terão ainda transmitido mais força à vaga de erosão a remontante, facilitando a migração do knickpoint.

Além do relacionamento com a litologia que os afluentes do Paiva auferem, as vagas de erosão a remontante também se propagam pelos mesmos, daí a existência de knickpoints e de vários locais que permitem a existência de rápidos para a prática de desportos aquáticos, principalmente na área Oeste da bacia, onde também existe um maior caudal de água disponível.

Relativamente aos índices geomorfológicos utilizados para analisar o perfil longitudinal do Paiva, o índice de K_{SN} comprova a relação íntima com a litologia e as inclinações dos segmentos que percorrem as knickzones, demarcando por sua vez a estabilidade da inclinação dos restantes segmentos nos traçado mais equilibrados do Paiva.

O índice SL por sua vez, faz querer acreditar na hipótese de o rio Paiva ser bastante antigo, podendo ser anterior à depressão do planalto da Nave e às elevações que

originaram as serras ocidentais da bacia, podendo até ser colocada a hipótese de ter sido capturado pelo rio Douro num período mais recente. Desta forma, os entraves supracitados aquando da análise do perfil 1 (figura 41) deixariam de o ser, e seria possível se ainda existirem vestígios desse Paiva muito antigo fazer a ligação com o troço relíquia que serve de modelo à incisão altimétrica estimada do Paiva a partir do mesmo.

Ainda que está hipótese relativamente a um Paiva muito antigo não possa ser comprovada neste estudo, os perfis 2 e 3 podem servir de base num futuro estudo que se proponha a comprovar que o Paiva tenha percorrido em tempos mais recentes, os níveis altimétricos estimados aqui obtidos, através da correspondência com terraços fluviais também mais recentes.

Concluindo, o rio Paiva é talhado de rápidos e pequenas quedas de água, perfeitas para os amantes de desportos radicais aquáticos, abriga várias praias fluviais que se podem encontrar ao longo das suas margens, sendo o percurso dos passadiços do Paiva um passeio obrigatório para todos os amantes da natureza.

VI.2. Perspetivas Futuras

Esta dissertação considera-se como um contributo para o estudo da bacia do Paiva e do perfil longitudinal do rio Paiva, tendo o potencial para seguir de base para futuros estudos e comparação de metodologias não só para a bacia do Paiva como para outras bacias que apresentem características semelhantes.

Num trabalho futuro, através das novas tecnologias e levantamentos de modelos digitais de elevação com o auxílio de p.e. drones e fotogrametria, a análise a pequenos troços delineados como importantes do perfil longitudinal do rio Paiva pode ser realizada com maior pormenor abrindo as portas para potenciais novas abordagens à análise dos dados, das metodologias, da aplicação de novos índices geomorfológicos e da inclusão de dados com valores bem definidos quantitativamente para todas os fatores condicionantes da rede hidrográfica.

Embora na presente dissertação não tenha sido abordada a questão da demarcação de knickpoints com auxílio a scripts e processos automáticos, pela escala do trabalho e dados de base não o permitir com o rigor que se pretendia, com a crescente vaga de meios e conhecimento tecnológico disponíveis, este pode ser um desafio futuro que prevê resultados muitos positivos. Este projecto poderia abrir a porta para a criação de um inventário nacional das bacias hidrográficas e dos knickpoints que abrigam, podendo ser explorados para o desenvolvimento do geoturismo e actividades desportivas caso as suas condições o permitam, como é o caso na bacia do Paiva.

Para finalizar, crê-se que a maior contribuição desta dissertação para futuros estudos passa pela metodologia utilizada para a prolongação dos perfis longitudinais sectoriais a partir da qual, se for realizada tendo em conta os processos evolutivos do relevo, dos obstáculos colocados pela resistência dos substratos rochosos e da escala de tempo geológica dos processo de evolução característicos da geomorfologia fluvial, pode permitir uma correlação dos níveis de altitude estimados dos sectores dos cursos de água com potenciais registos dos seus vales antigos, como terraços fluviais situados no mesmo nível altimétrico, abrindo assim enormes possibilidades ao estudo da influências de elevações, depressões ou falhas geológicas na distribuição da rede hidrográfica, bem

como de capturas fluviais entre cursos de água antigos.

Referências bibliográficas

- Charlton, Ro. (2008). *Fundamentals of fluvial geomorphology*: Routledge.
- Christofoletti, Antonio. (1980). *GEOMORFOLOGIA*. São Paulo: Edgar Blucher.
- Daveau, Suzanne. (1977). *RÉPARTITION ET RYTHME DES PRÉCIPITATIONS AU PORTUGAL*.
- Demoulin, A., Mather, A., & Whittaker, A. (2016). Fluvial archives, a valuable record of vertical crustal deformation. *Quaternary Science Reviews*, 166, 10-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.11.011>
- Ferreira, António de Brum. (1978). *Planaltos e montanhas do Norte da Beira. Estudo de Geomorfologia*. Lisboa.
- Ferreira, Cátia. (2010). *Knickpoints na bacia hidrográfica do Rio Douro: distribuição, análise e implicações na evolução da rede de drenagem fluvial*. (Mestrado), Faculdade de Letras do Porto, Porto.
- Gallen, Sean F., & Wegmann, Karl W. (2015). Exploring the origins of modern topographic relief in the southern Appalachians: An excursion through the transient landscape of the Cullasaja River basin, North Carolina. In A. E. Holmes (Ed.), *Diverse Excursions in the Southeast: Paleozoic to Present*: Geological Society of America.
- Goldrick, Geoff, & Bishop, Paul. (2007). Regional analysis of bedrock stream long profiles: evaluation of Hack's SL form, and formulation and assessment of an alternative (the DS form). *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(5), 649-671. doi: 10.1002/esp.1413
- Gomes, Alberto. (2008). *Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda*. Universidade do Porto.
- Goudie, Andrew S. (2004). *Encyclopedia of Geomorphology* (Vol. 1 e 2): Routledge.
- Hack, John T. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 1(4), 501.
- Hayakawa, Yuichi, & Oguchi, Takashi. (2009). GIS analysis of fluvial knickzone distribution in Japanese mountain watersheds. *Geomorphology*, 111, 27-37. doi:

10.1016/j.geomorph.2007.11.016

- Howard, Alan D., & Kerby, Gordon. (1983). Channel changes in badlands. *GSA Bulletin*, 94(6), 739-752. doi: 10.1130/0016-7606(1983)94<739:ccib>2.0.co;2
- ICNF. (2008). Ocorrência de Habitats Naturais e de Espécies da Flora e da Fauna em Sítios e Zonas de Protecção Especial (pp. 80): ICNF.
- Kirby, Eric, Whipple, Kelin X., Tang, Wenqing, & Chen, Zhiliang. (2003). Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan Plateau: Inferences from bedrock channel longitudinal profiles. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B4), n/a-n/a. doi: 10.1029/2001JB000861
- Martins, António , & Bento Caldeira, José Borges. (2012). “TRANSIENT KNICKPOINTS” NO LEITO DOS RIOS, SIGNIFICADO NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM. 6.
- Martins, António A., Cabral, João, Cunha, Pedro P., Stokes, Martin, Borges, José, Caldeira, Bento, & Martins, A. Cardoso. (2017). Tectonic and lithological controls on fluvial landscape development in central-eastern Portugal: Insights from long profile tributary stream analyses. *Geomorphology*, 276, 144-163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.10.012>
- Rabbitt, Mary C., McKee, Edwin D., Hunt, Charles B., & Leopold, Luna Bergere. (1969). The Colorado River region and John Wesley Powell *Professional Paper* (pp. 164). Washington, D.C.
- Ribeiro, Aquilino. (1968). *O homem da nave: serranos, caçadores e fauna vária*: Livraria Bertrand.
- Vieira, António, & Cunha, Lúcio. (2014). O Paiva - O Rio da Vida. In C. M. D. C. Daire (Ed.), *Montemuro E Paiva, Centro De Interpretação E Informação* (pp. 54-59). Castro Daire
- Whipple, K. X., DiBiase, R. A., & Crosby, B. T. (2013). 9.28 Bedrock Rivers A2 - Shroder, John F *Treatise on Geomorphology* (pp. 550-573). San Diego: Academic Press.
- Wobus, Cameron, Whipple, Kelin X., Kirby, Eric, Snyder, Noah, Johnson, Joel,

Spyropolou, Katerina, . . . Fisher, Donald M. (2006). Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls *Tectonics, Climate, and Landscape Evolution* (Vol. 398, pp. 0): Geological Society of America.