

Análise multirrisco aplicada às vertentes a montante da estrada municipal nº 518, junto a Aboim das Choças, Arcos de Valdevez

João Pedro Parada Cardoso¹

José Henrique Campos da Costa²

¹ Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, FLUP, up201707226@edu.letras.up.pt

² Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, FLUP up201704033@edu.letras.up.pt

Resumo:

Os movimentos de vertente constituem um dos grandes riscos que pode colocar a segurança das infraestruturas e dos seus usuários. O presente relatório abordará uma zona do distrito de Arcos de Valdevez, distrito este escolhido por se localizar geograficamente no interior e num contexto urbano diferente do que se vivencia numa área metropolitana. O objetivo principal passa por identificar as áreas de maior risco relativamente às vertentes a montante da estrada municipal nº 518 em Aboim das Choças, Arcos de Valdevez, e elaborar uma análise multirrisco em redor desta.

No estudo desta área foram feitas análises de diversas variáveis físicas e hidrológicas relacionadas com o relevo envolvente e com os recursos hídricos que se intersectam e estão presentes na área de estudo. Para a análise deste ponto foi realizada uma metodologia de multirrisco de modo a avaliar todas as variáveis e condicionantes existentes.

Os resultados obtidos permitiram identificar as áreas e bacias mais preocupantes no que concerne aos movimentos de massas, risco de incêndio e de inundações, dadas as características físicas e hidrológicas. Estas caso seja atingido o seu ponto de rutura poderão causar grandes danos para os aglomerados urbanos próximos, mas principalmente para quem utilizar a estrada municipal nº518.

Palavras-chave: Movimentos de vertente, ordenamento do território, bacias hidrográficas, estradas; morfometria.

Índice

1- Introdução:.....	3
2- Materiais e Métodos.....	4
3- Área de estudo.....	6
3.1- Enquadramento geográfico	6
3.2- Enquadramento Geomorfológico	6
4- Resultados.....	7
4.1- Geologia e Fracturação	7
4.2- Vertentes.....	9
4.3- Análise de risco de incêndio.....	12
4.4- Micro bacias e rede Hidrográfica	13
4.5- Morfometria.....	15
4.6- Hierarquia Fluvial	17
4.7- Perfis Longitudinais de um rio	17
4.8.- Precipitação.....	19
4.8.1- Cálculo dos Caudais.....	21
5- Ordenamento do Território	22
6- Discussão e conclusão.....	25
7- Agradecimentos	26
8- Referências Bibliográficas	27

1- Introdução:

O risco é a percepção de um indivíduo ou de um grupo de indivíduos da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente perigoso e causador de danos, cujas consequências são uma função da vulnerabilidade intrínseca desse indivíduo ou grupo (Almeida, 2012).

Numa situação de risco emerge a importância de se analisar todas as variáveis que o influenciam. A identificação destas variáveis muda segundo o tipo de perigo que se pretende estudar e da abordagem a tomar.

Os movimentos de massa são por vezes muito destrutivos, e deveríamos ser capazes de predizê-los e, certamente, gostaríamos de evitar as suas causas com as imprudentes interferências que temos nos processos naturais. Não podemos prevenir a maioria dos movimentos de massa naturais, mas podemos controlar a construção e o uso do solo para minimizar perdas (Press, 2006).

São múltiplos os fatores que influenciam o estado e segurança das vias de comunicação, desde logo a morfologia do terreno onde estão inseridas. Assim, neste trabalho serão analisadas no estudo de caso, o declive, a geologia, a pluviosidade e rede hídrica. Ainda se fará uma breve comparação entre as causas e consequências dos incêndios florestais para o comportamento e estabilidade das vertentes.

“Para minimizar o risco de deslizamento de terra, é necessário estabelecer procedimentos de identificação, prevenção e correção. As técnicas de monitorização e cartografia ajudam a identificar locais perigosos. A identificação de potenciais desabamentos de terras tem foram utilizados para estabelecer códigos de classificação, e estes códigos, de volta, reduzir os danos causados pelo deslizamento de terras.” (Keller et al., 2016, p.238).

O principal objetivo deste estudo é: 1) entender o funcionamento das vertentes a montante da Estrada Municipal 518 no concelho de Arcos de Valdevez; 2) elaboração de cartografia multirrisco para detetar quais as características que colocam em alerta as populações; 3) análise ao nível do ordenamento do território, de modo a aferir se existem pontos críticos que devem requerer preocupação por parte dos municípios e entidades do município em estudo.

2- Materiais e Métodos

Com o intuito de atingir a análise multicritério proposta anteriormente, foi necessário recorrer a diversas fontes e tipologias de dados. Estes, foram escolhidos conforme a necessidade de cada elemento a tratar e estão descritos na tabela 1. Nesse sentido e para executar o tratamento de dados, foram usados softwares como ArcMap, ArcGis Pro e o Excel.

Tabela 1- Dados relativos ao estudo de caso utilizados para caraterizar a área de estudo

Nome	Formato	Escala	Ano	Fonte
DEM, Aster	Matricial	30 m	2019	https://search.earthdata.nasa.gov/search/
Lidar Data	Nuvem Pontos			CIM – Alto Minho
Carta ocupação do solo	Vetorial	Nacional	2019	https://snig.dgterritorio.gov.pt/
Dados pluviométricos	Excel			https://snirh.apambiente.pt/
Carta Geológica nacional 1-D	Raster	1/50K	1985	https://geoportal.ineg.pt/pt/dados_abertos/cgp50k/01-D
Áreas aridas	Vetor		2000/2019	https://www.icnf.pt/

Para uma análise das características físicas do terreno com critério, foi necessário recorrer à elaboração de cartografia de base variada. Nessa medida, a primeira camada de informação criada foi o modelo digital de terreno. Recorrendo às ferramentas de análise espacial, a partir dos dados do programa *ASTER* (tabela 1), obteve-se os dados altimétricos para um esboço do que viria a ser o MDT global da área. Estes dados tinham à partida uma limitação de resolução espacial, pois com eles não se poderia realizar um estudo muito pormenorizado, pelo fato de estarem num formato matricial com pixel de 30m. Este défice foi superado quando acedemos a dados *LIDAR*, gerados através de nuvens de pontos com resoluções na casa dos centímetros (~70 cm), tirando partido alta intensidade de pontos e precisão dessa tecnologia. Esta tem sido amplamente usada na representação em três dimensões (3D) de paisagens (Assis, 2018). Quando convertidos para o formato *raster* estes dados ficam aproximadamente com um *pixel* de 50 centímetros permitindo estudos com muito detalhe.

Os dados relativos à precipitação foram adquiridos no portal SNIRH (<https://snirh.apambiente.pt/>), mediante a análise das estações hidrológicas próximas da área a estudar encontrando duas, Choças e Extremo (Figura 11). Apenas a última possui dados, ao nível da precipitação anual e diária. Foram assim extraídas do SNIRH os respetivos valores e trabalhados em Excel, a fim de se aferir variações e tendências.

Delimitar as bacias hidrográficas constituiu uma das tarefas mais importantes. Nesse sentido, recorreu-se ao software ArcGis Pro, utilizando a ferramenta “*Hidrology*”, partindo de um

mdt com um pixel de 1 metro (LIDAR). Assim, extraíram-se os cursos de água, e recorrendo a “*pour points*”, delimitou-se as potenciais bacias hidrográficas. Por fim, aplicou-se uma classificação automática aos cursos de água obtidos segundo a hierarquia de *Strahler*.

Ao nível da construção do mapa de probabilidade (figura 15) de ocorrência de incêndios florestais, foi necessário um cuidadoso trabalho dos dados recolhidos do ICNF das áreas ardidas (<https://geocatalogo.icnf.pt/catalogo.html>). Posteriormente, foi elaborado um mapa de suscetibilidade (figura 7), e por fim, um mapa de perigosidade (figura 14).

Para se analisar as características de cada bacia realizou-se um estudo morfométrico, recorrendo-se a índices que permitissem explicar quais os comportamentos e respostas do meio, em situações de fenómenos chuvosos extremos.

A forma das bacias, isto é, a concavidade ou convexidade pode influenciar a resposta das suas vertentes a um evento chuvoso. Foi realizado nesse sentido um mapa de curvatura para distinguir as características mais propícias e identificar os locais onde se poderão verificar problemas.

Por fim, foi igualmente realizado uma estimativa de cálculo dos caudais de ponta de cheia baseado na fórmula de Loureiro (Lencastre, 1984). Inicialmente, também se pensou aplicar a fórmula de Giandotti (Lencastre, 1984), mas devido ao reduzido tamanho das bacias hidrográficas em estudo, optou-se por não realizar. Os resultados obtidos não seriam aproximados à realidade porque este cálculo está direcionado bacias de maiores dimensões, sendo que no caso de estudo nenhuma bacia ultrapassa os 6 km² de área (tabela2).



Figura 1 - Metodologia seguida para a elaboração do estudo, etapas fundamentais.

3- Área de estudo

3.1- Enquadramento geográfico

A área de estudo (Figura 11) está situada no noroeste de Portugal, mais propriamente no distrito de Viana do Castelo, concelho de Arcos de Valdevez. Ao nível da paisagem pode-se descrever como um território do interior norte do país, marcado por um povoamento muito disperso e de pequena dimensão. As localidades mais retratadas serão aquelas que se encontrarem na interface entre a estrada e a vertente.

Abويم e Sabadim, ficam a cerca de 10km a Norte do centro do concelho dos Arcos de Valdevez. Banhado pelo Rio Vez e seus tributários, estas localidades implantam-se principalmente nos sopés dos vales largos, por vezes ladeados por vertentes de forte declive.

3.2- Enquadramento Geomorfológico

Na abordagem aos perigos e suscetibilidades das vias rodoviárias é sempre necessário enquadrá-las geograficamente. Diferentes morfologias de território reagem de maneiras distintas ao mesmo processo. Nessa medida, realizou-se uma análise geral às características da área de estudo, no que confere ao relevo, declive, exposição de vertentes e ocupação do solo (Figura 1).

Ao nível do relevo de modo geral poder-se-á falar que o Baixo Minho apresenta uma originalidade caracterizada por serras interiores com elevada altitude resultado dos seus vales principais: estes são sensivelmente paralelos, de direção NE-SW a ENE-WSW, muito largos a jusante, com fundos planos e vertentes abruptas, sendo esbatida esta diferença quando mais para leste se caminha. Esta forma

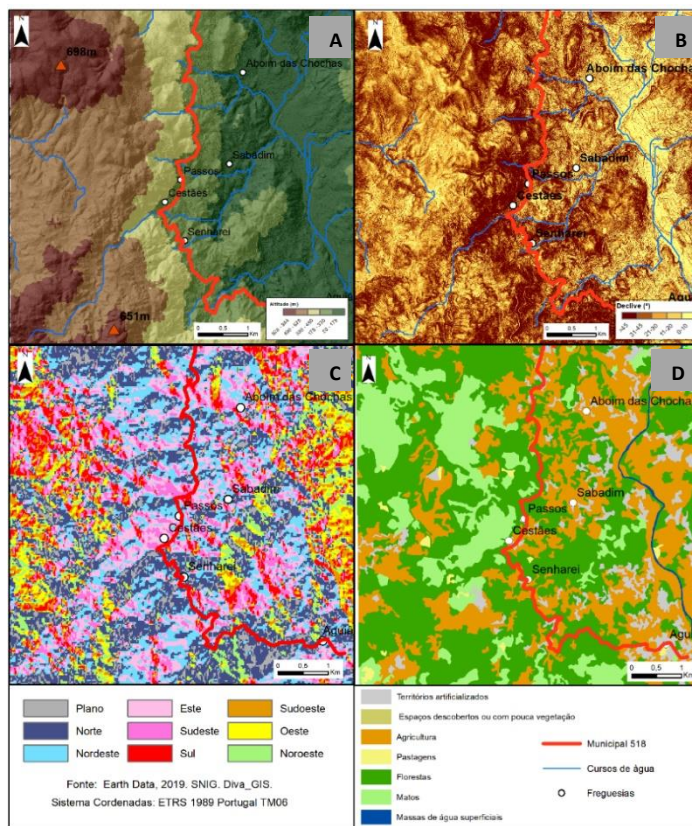


Figura 2- Morfologia e principais características da área de estudo. (A) Hipsometria (B) Declive (C) Exposição de vertentes (D) Ocupação do solo

característica acaba no sopé das grandes montanhas do Norte, Peneda e Marão, onde os rios correm apertados em vales profundos. É neste sentido e perante a confusão que o relevo apresenta que surgem uma série de alvéolos, de dimensões variadas, sem um contorno muito regular e hierarquia definida (Ferreira, 1983). Na génese destas depressões podem estar dinâmicas de erosão fluvial, mas também de realçar que estes quase sempre surgem associados a rochas cristalinas, como granitos e xistos metamórficos, ambas com predominância na área de estudo, como veremos a seguir. Em resultado disto tudo, pode-se afirmar que trata de uma região recortada por montanhas e vales de tipologias distintas e com uma grande variação de altitudes.

O declive é uma das variáveis mais importantes para este estudo dos movimentos de vertentes. O declive apresentado na vertente a oeste da nº518 é bastante forte, sendo superior a 30 graus. A análise do mapa de exposição de vertentes permite aferir uma predominância das direções norte (23%), nordeste (13%) e Este (13%).

Por fim, ao nível da ocupação do solo, trata-se de uma região afastada dos grandes centros urbanos e onde predomina a ruralidade, onde o povoamento é muito disperso. Estas características traduzem-se numa dualidade entre floresta e matos (69%), com a agricultura (24,8%), sendo essa praticada em socalcos face às características físicas do terreno. As restantes classes não têm representatividade, sendo apenas visível como quarta maior classe os territórios artificializados(5,4%).

4- Resultados

4.1- Geologia e Fracturação

Na área de estudo encontram-se predominantemente grandes áreas de rochas metamórficas e ígneas como é o caso dos xistos e dos granitos. Sendo assim, os resultados obtidos permitiram aferir que nesta região dominam formações granitos de diferentes texturas e xistos Negros.

Estes granitos porfiroides de grão grosseiro, essencialmente biotíticos ocupam uma extensa faixa de afloramentos que se estende desde os Arcos de Valdevez, Terras de Bouro, Vieira do Minho, Guimarães, até ao Marco de Canaveses e Celorico de Basto (Ferreira, 1987). Formam, porventura, um dos mais extensos conjuntos de rochas do Norte de Portugal. A sua disposição geográfica indica que existiu uma forte influência da tectónica hercínica da Zona Centro Ibérica na sua génese. Os afloramentos deste tipo parecem aproveitar assim os grandes alinhamentos de fraturas do Carbónico (Ferreira, 1987).

O NW minhoto está inserido num esquema de compressão moderada intracontinental, cujo resultou da convergência entre a África e a Ibéria (Ribeira *et al.*, 1996) O importante rejogo através de um regime de compressão, que teve um papel importante na configuração topográfica atual, reativando falhas e desligamentos tardi-hercínicos. O rompimento da crosta terrestre resultou na fraturação assimétrica dos blocos denominados como “caudas de cavalo” (Gomes, 2009, p.302).

No que diz respeito à tectónica, para além de uma fracturação intensa e densa que facilitou a alteração dos granitos, não é de afastar a hipótese da existência de uma ampla flexura cortada por falhas de fraca amplitude, mergulhando para NW e atingindo ao mesmo tempo a Galiza e o Minho. Esta flexura é provavelmente bastante antiga, funcionando ainda durante o Quaternário, característica assim responsável pelas tão fortes diferenças entre o litoral e o interior do país e da península (Ferreira, 1983).

Tendo em atenção também este sistema de fraturas e falhas é possível identificar três dessas grandes falhas na figura 3, que provavelmente serão responsáveis por algumas formas do território, sendo bem visível pelo encaixe do rio Vez.

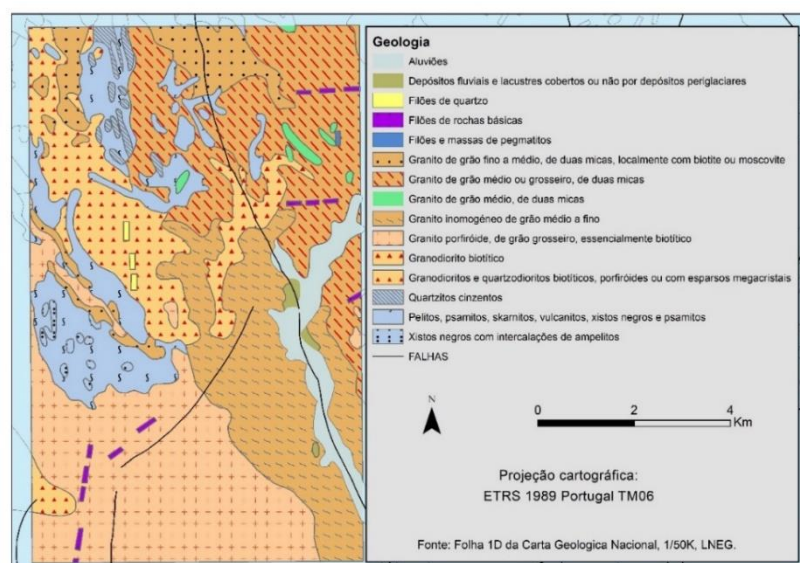


Figura 3- Litologia e fracturação da área de estudo.

Através da figura 4 é possível observar uma área muito fraturada que influencia a direção do relevo e da drenagem das bacias. Sendo que é possível que a sua movimentação tenha grande influência no deslizamento de terra destas vertentes. É de salientar também que, esta rede fracturação é constituída com falhas de grande extensão e bastante fraturadas. A rede hidrográfica também é influenciada pelas estruturas falhadas na medida em que a forma da bacia vai corresponder à direção das falhas. Tendo estas formas atípicas, isto é, uma forma não muito arredondada.

Posteriormente esta característica será melhor explicada tendo em conta o maior grau de alongamento dos cursos, proporcionando em caso de eventos chuvosos intensos, a uma probabilidade elevada de cheias rápidas.

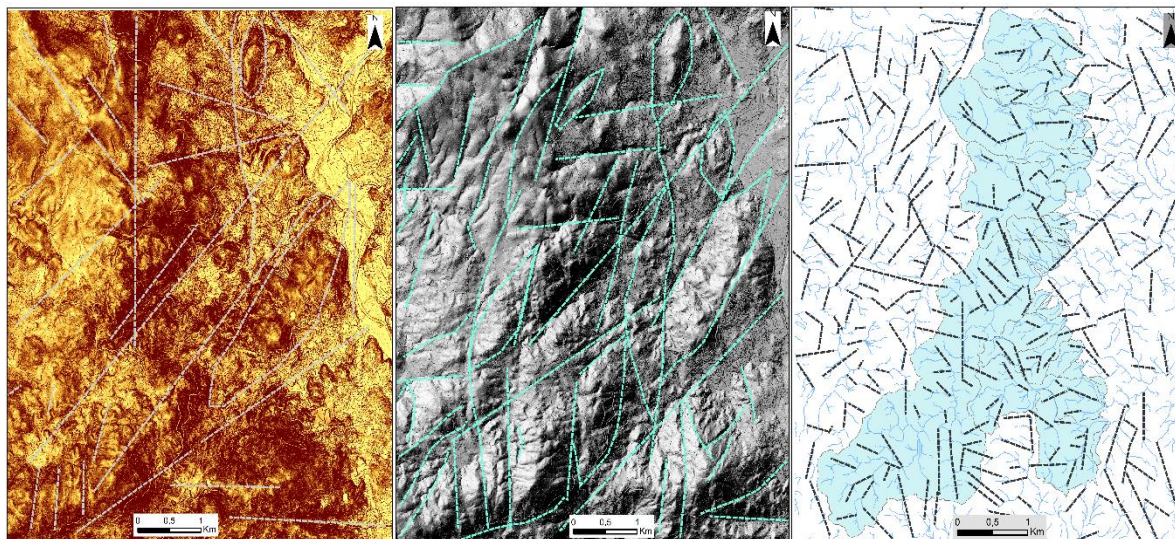


Figura 4- Esboço de fracturação usando os declives, sombreado (Hillshade) e rede hidrográfica;

4.2- Vertentes

Para compreender as vertentes e como elas interagem com a geomorfologia, deve-se encarar o tema como sendo uma soma de vários processos e formas. Uma vertente significa geralmente uma superfície inclinada, não horizontal, mas existem outras definições mais completas e afirmam que estas são formas tridimensionais *“modeladas por processos de denudação atuantes no presente ou no passado representando a conexão entre o interflúvio e o fundo do vale”* (Christofolletti, 1980).

Juntamente com a dinâmica de vertentes associa-se a do escoamento, pois abrange tudo o que vai desde os movimentos de massa até aos processos pluviais. Estes, são responsáveis em grande parte pela modelação do terreno e esculturação das formas de relevo, funcionando em conjunto uns com os outros, sendo possível assim obter diferentes resultados (Christofolletti, 1980).

Sobre as vertentes atuam então variados agentes, podendo distinguir-se alguns deles: a meteorização, os movimentos de rególito, processos fluviais e a ação biológica. À meteorização é atribuída a responsabilidade de produzir detritos e a fragmentação rochosa, podendo ressaltar-se três processos básicos: a termoclastia, a haloclastia e a crioclastia.

Os movimentos de rególito correspondem ao deslocamento ou rolamento de materiais no sentido descendente de uma vertente provocada pela gravidade. Neste aspeto pode-se distinguir cinco tipos de movimentos: o rastejamento ou reptação, que é um processo lento e quase impercetível; os fluxos de terra ou lama, formam-se quando um rególito está saturado de água, podem ser muito rápidos e atingir grandes áreas; as avalanches, quando o fluxo é feito com materiais como o gelo ou neve; deslizamentos, que são deslocamentos de matérias finas em grandes quantidades presentes no rególito sobre um terreno saturado por água; por fim os desmoronamentos, compostos por deslocamentos rápidos de blocos de terra quando estes sofrem na sua base um vazio, geralmente ocorridos em regiões de declive muito acentuado (Christofoletti, 1980).

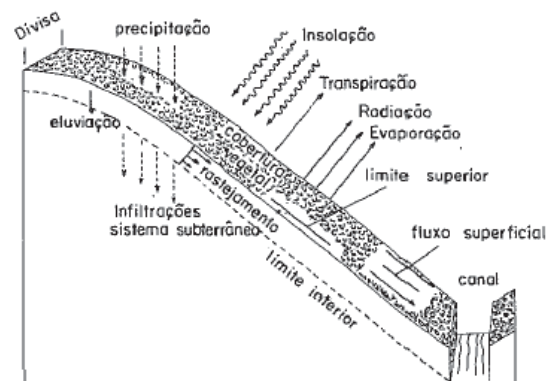


Figura 5- Dinâmicas de vertente (Adaptado de Christofoletti, 1980). (melhor figura) senão vais ter que criar outro índice apenas para esse

O processo morfogenético pluvial está relacionado com a ação mecânica das gotas da chuva em coordenação com o escoamento pluvial. O impacto das gotas gera movimento de partículas em diferentes direções e de modo inconstante. *“O processo de transporte mais importante é o escoamento pluvial, que começa a aparecer quando a quantidade de água precipitada é maior que a velocidade de infiltração”* (Christofoletti, 1980). Esta realidade fará com que quanto maior a intensidade das chuvas e menor a capacidade de infiltração, há uma probabilidade de se gerarem grandes fluxos de escoamento superficial.

Em terrenos descobertos esta dinâmica é mais precisa, pois se associado à vertente estiver uma cobertura vegetal densa, os movimentos de vertente são reduzidos (Christofoletti, 1980). Nos casos em que as chuvas forem particularmente intensas ou prolongadas, ou com ambas as características, o escoamento superficial poderá exceder a capacidade de vazão das linhas de água e transbordar do seu leito habitual, dando origem às cheias.

Por fim a ação biológica relaciona-se com a ação dos animais como vermes, formigas ratos e térmitas, sendo estes responsáveis pela abertura de canais, transporte e fragmentação de partículas, tornando-se assim em atores morfogenéticos importantes. Quanto mais pequenos os detritos, maior a capacidade de estes serem arrastados pela água.

“As vertentes constituem partes integrantes das bacias hidrográficas e não podem ser descritas (...) sem que se faça considerações a propósito das relações entre elas e a rede hidrográfica” (Christofoletti, 1980).

Existem muitas formas de representação do relevo, pelo facto de este constituir uma componente fundamental no processo cartográfico. Analisar as diferentes curvaturas de uma vertente, ou seja, classificá-las em retilíneas, côncavas ou convexas, pode assim ser também uma forma de caracterizar a resposta a fenómenos chuvosos por parte destas.

No sentido de entender a estruturação dos vales e o seu comportamento elaborou-se um mapa de curvatura de vertentes (figura 6), onde é visível a sua distribuição pela área de estudo. Verifica-se uma tendência para a sobreposição dos cursos de água sobre vertentes convexas, realidade também corroborada seguidamente pela construção dos perfis longitudinais. De realçar que na secção mais intermédia da micro bacia de maior dimensão (Ribeiro de São Mamede) tem-se uma clara alusão a um planalto, com predomínio de vertentes mais retilíneas. Há também uma certa predominância de vertentes retilíneas, podendo ser resultado de vales mais abertos, não obstante de mesmo assim possuírem fortes declives.

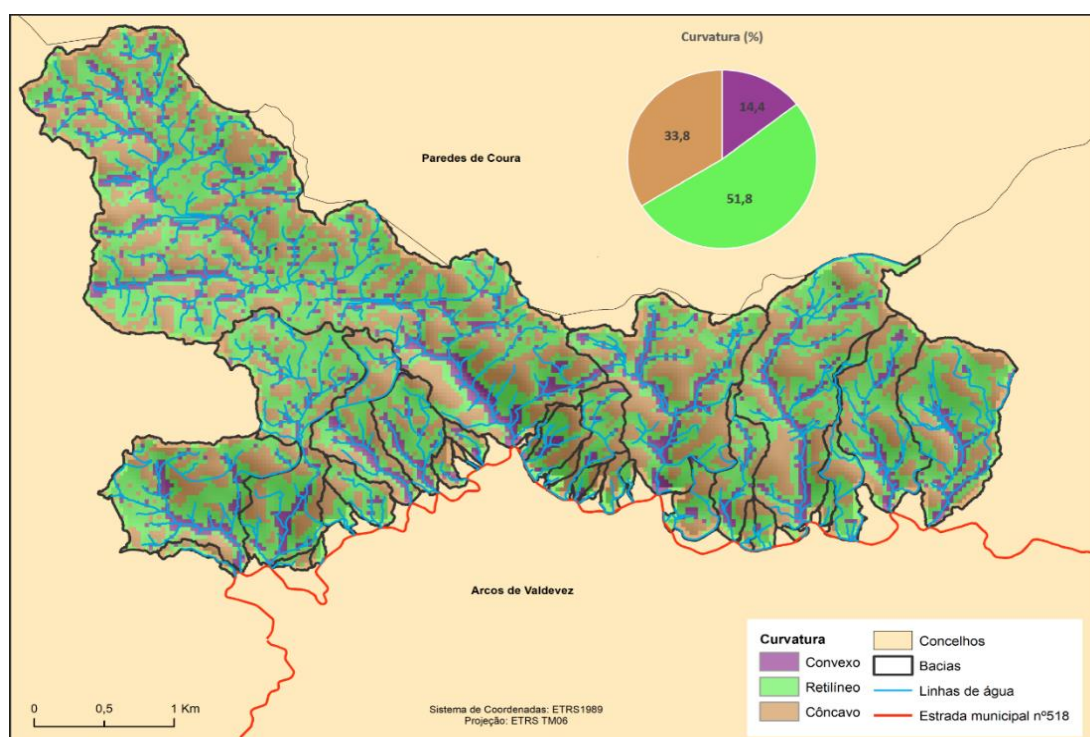


Figura 6- Mapa de curvatura de vertentes referente às micro bacias identificadas (Dados altimétricos LIDAR).

Por fim, as áreas classificadas como côncavas representam uma especial atenção, sendo estas as que suscitam um maior perigo para a municipal nº 518. As áreas com perfil concavo convergente concentram os recursos hídricos num único ponto, fazendo aumentar a quantidade e velocidade de água movimentada, escoando de forma abrupta e com intensidade pelas vertentes até ao cruzamento com a rodovia.

4.3- Análise de risco de incêndio

“Os solos tornam-se mais suscetíveis à erosão e aos movimentos de massa quando ficam sem vegetação, geralmente devido às queimadas e ao desmatamento. Quando o sistema de raízes não liga mais o solo, a água pode infiltrar-se mais facilmente e o solo torna-se menos estável. Isso é exatamente o que acontece quando, após a queimada de uma floresta, ocorrem chuvas.” (Press, 2006).

A existência de florestas e matos elimina o choque direto provocado pelas gotas de chuva (*Splash*) na superfície do solo, favorecendo a infiltração e reduzindo a velocidade do escoamento superficial. Desta forma, contribui eficazmente para a redução dos fenómenos de erosão e de ocorrência de grandes cheias e para o aumento de reservas hídricas subterrâneas.

Com o incremento do abandono da agricultura e dos usos tradicionais do território de montanha, associado ao despovoamento, permite a formação e a acumulação de combustíveis que propiciam por vezes fogos que se propagam a velocidades elevadas. Os matos formam corredores contínuos de combustível, unindo o espaço florestal, ao agrícola e urbano, constituindo assim, zonas de risco potencial (PMDFCI, 2014). As redes viárias e em concreto a estrada Municipal nº518 inclui-se nestes locais com grande suscetibilidade aos efeitos nocivos dos incêndios florestais.

A fim de realizar uma análise de risco de incêndio, perigosidade e suscetibilidade para a área de estudo, foi necessário a ponderação e reclassificação de três variáveis, o declive, o uso do solo e o histórico das áreas ardidas nos últimos 19 anos (2000-2019).

Salienta-se assim que a cartografia (Figura 7) dá indicações do risco potencial nas regiões de interface urbano-florestal, importante sobretudo na proteção de aglomerados e edificado, permitindo uma planificação de ações de acordo com o risco estimado, incidindo essencialmente em medidas regulamentares de prevenção e proteção civil.

Este risco potencial de incêndios é bastante influenciado pelos declives que se fazem sentir sobretudo nas vertentes próximas da estrada municipal nº 518. Estes potencializam assim os riscos a quem desta faça uso já que, associado a declives acentuados pode-se verificar um favorecimento da velocidade de propagação do fogo pela aproximação dos combustíveis às chamas. Isto condiciona o combate ao fogo dada a limitação de acessibilidades por parte dos meios de combate à frente deste (Amador, 2014).

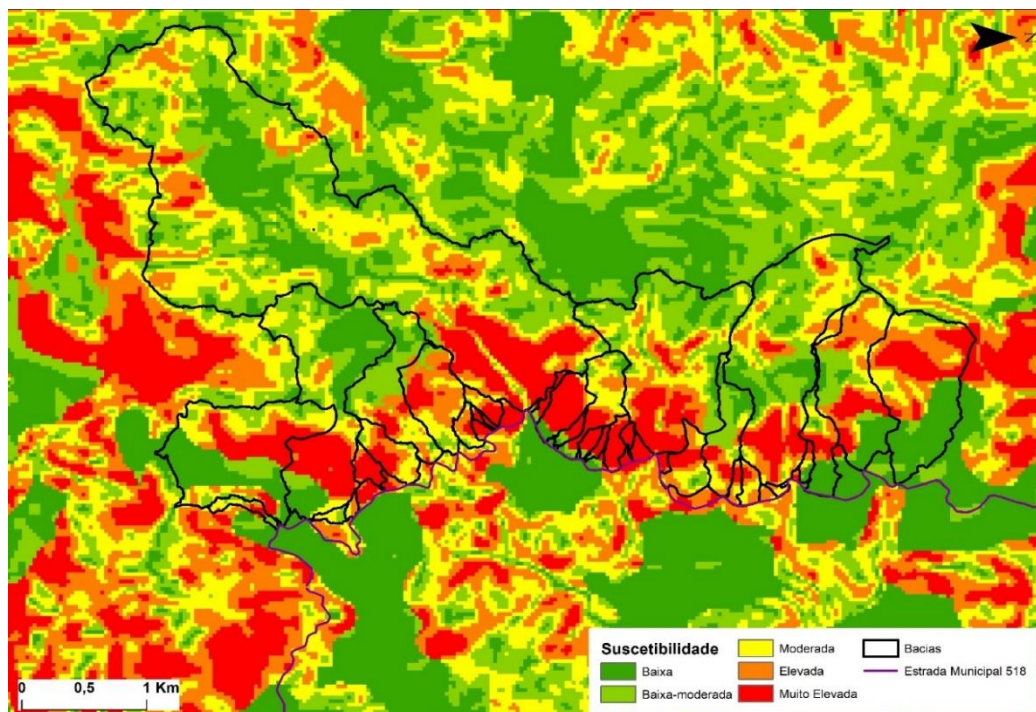


Figura 7- Suscetibilidade aos incêndios florestais, efetuada segundo um período de tempo 2000 a 2019.

4.4- Micro bacias e rede Hidrográfica

“A bacia hidrográfica de um curso de água relativa a uma secção, é a área geográfica que contribui, com as suas águas de escoamento superficial ou subterrâneo, para o escoamento do curso de água na secção considerada (Dias, 2003).”

O estudo da rede hídrica é de extrema importância para a avaliação da capacidade de drenagem dos cursos de água existentes. A delimitação de bacias e a sua posterior análise a todos os níveis requer que se desdobre as linhas de ação. Foi importante demarcar todas as micro bacias que se encontrassem a montante do cruzamento com a M518, pois será através delas que se aferirá

os níveis de concentração pluvial e as consequências para a estrada de fenómenos extremos. Foram assim delimitadas 32 bacias, sendo todas elas distintas umas das outras quer em área quer nas suas demais características (figura 8).

Quanto à rede hidrográfica caracterizando-se assim por uma rede de drenagem dendrítica, porque se desenvolve em todas as direções, com ângulos distintos, nunca superiores a 90º, confluindo num canal principal.

Se analisada com um maior rigor, algumas formas de bacias hidrográficas parecem sofrer distorções pouco normais na sua delimitação. Este fato é principalmente notório nas bacias 3 e 29 (Figura 8), sendo marcadamente perceptível um estrangulamento na sua parte central. Esta característica pode ser explicada pela forma e rigor com que os dados base utilizados (LIDAR) leem as formas de terreno. A precisão destes dados não permite distinguir estruturas físicas como estradas e pontes, provocando pequenos erros na construção e delimitação automática de bacias já realizadas.

Ao nível da classificação de cursos de água, dada a pouca extensão e tamanho das bacias ("pour points" no cruzamento com a Mn^o518), predominam segmentos de 1ª e 2ª ordem. De destacar a bacia 32, como a que apresenta maior área e assim também um maior número de tributários capazes de absorver maiores quantidades de água.

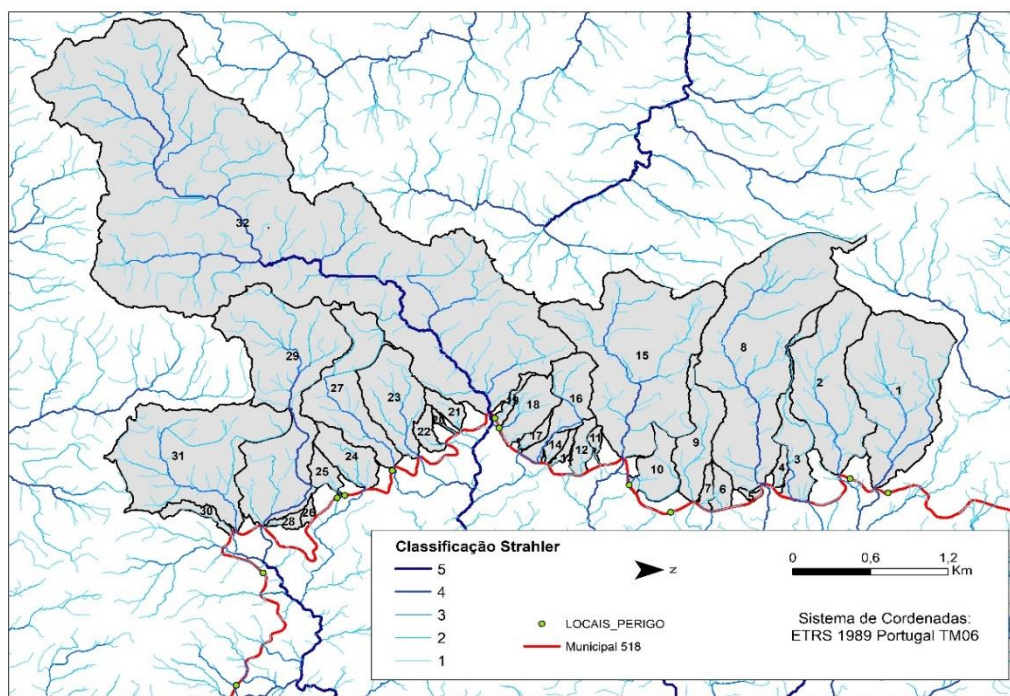


Figura 8- Micro-Bacias e rede hidrográfica da área de estudo, classificadas segundo Strahler. Representação das bacias efetuada com o auxílio dos Pour points, intercessão com a Municipal 518.

4.5- Morfometria

As características físicas que uma bacia possui é importante para o papel que esta representa nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, entre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos (Moreira *et al*, 2011).

A composição das micro bacias da área de estudo, permitem afirmar que estas podem apresentar características diferenciadas ao nível de uma avaliação sob parâmetros morfométricos. A este respeito foi elaborado um pequeno estudo à geometria das bacias, com o intuito de compreender melhor a sua dinâmica e a propensão que estas podem ter para a formação de cheias rápidas. Os parâmetros de base como área, perímetro de cada bacia, número de afluentes e comprimento total dos tributários permitiram à primeira perceber que se trata de bacias de muito pequena extensão, quase na totalidade não ultrapassam o quilómetro quadrado. A única bacia que destaca é a nº32, que perfaz uma área aproximadamente de 5 km² (Tabela 2).

A análise morfométrica é a medição e análise matemática da configuração da superfície terrestre, forma e dimensões de suas formas de relevo (Clarke, 1966). As análises morfométricas abrangem as medições de aspetos lineares, de área e de relevo da bacia e seus declives da origem à confluência/Foz (Nag & Chakraborty, 2003), bem como as relações com a geomorfologia.

Relativamente aos parâmetros geométricos, apenas foram adotados para tratamento os mais relevantes para a análise pretendida. Destacam-se então o índice de torrencialidade, compacidade e circularidade e ainda o raio de alongamento.

No que toca à densidade de drenagem, esta pode definir-se como a relação entre o comprimento total dos canais de escoamento e a área da bacia. Quanto maior o seu valor maior a capacidade de propiciar cheias. Do total das bacias apenas a 3 (17,8 m/km²) e a 19 (17,7m/km²), se destacam sob as restantes. Estes valores variam com a extensão do escoamento superficial, logo quanto maior for a área e o escoamento maior será a probabilidade de drenar melhor a rede e esta confluir toda a sua carga num ponto específico. Os valores da densidade hidrográfica, infletem sob a probabilidade de gerar novos canais, e se a bacia é bem servida de tributários. Pelos resultados obtidos as micro bacias da área de estudo, apesar de na sua maioria serem de pequena dimensão (inferior a 1Km²), este tem capacidade de gerar canais (Barbosa, 2009). Valores considerados acima de um canal por Km² representa bacias bem drenadas. Sendo assim todas as bacias em estudo tem capacidades, e energia para aumentar a sua rede já que todas apresentam valores acima de 1.

O índice de torrencialidade (figura 12C e Tabela 2) é de extrema importância para a classificação de prioridade e controlo torrencial na gestão de bacias hidrográficas. Possibilita quantificar a tendência de uma bacia hidrográfica em relação à ocorrência de inundações. Quanto maior for o valor deste coeficiente, maior a tendência para se verificar fenómenos. É dada pela expressão $C_t = D_h \times D_d$ Onde: C_t é o coeficiente de torrencialidade; D_h é a Densidade hidrográfica; D_d é a Densidade drenagem (Pereira, 2015). A análise do coeficiente de torrencialidade está assim diretamente

correlacionada com os valores de precipitação. Os valores mais elevados neste índice dizem respeito às bacias 3, 6, 7, 12, 18, 24, 25 (Tabela 2). Esta tem como característica dominante a sua pequena dimensão, facto que explicará a torrencialidade elevada, pois não demorará tanto tempo a que sob influência de chuvas intensas estas respondam primeiro.

A circularidade ou raio de circularidade define-se como a razão da área da bacia (A) e a área de um círculo com o mesmo perímetro da bacia hidrográfica atingindo valores que variam entre 0 e 1. Segundo Miller (1953), os valores de referência utilizados para a análise desta variável afirmam que valores acima de 0,51 as bacias são circulares, abaixo disto são alongadas. Na totalidade das bacias em estudo todas elas têm características alongadas, isto poderá assim caracterizar a sua resposta a eventos chuvosos como uma maior rapidez nos fluxos, fazendo convergir em menor tempo as precipitações até ao ponto de rotura.

O índice de compacidade (figura 12F e Tabela 2), está também relacionado com o anterior, ou seja, a comparação de valores permite descrever as bacias como circulares (valores aproximados a 1), caso seja superior a este valor, as bacias são definidas de alongadas. Na área de estudo todas as bacias são consideradas de alongadas, contudo, elas variam na sua forma, umas expressamente alongadas e outras com valores aproximados a 1.

O raio de alongamento ou mais conhecido por razão de alongamento, segundo Schumm (1956), trata-se da razão entre o diâmetro do círculo da mesma área que a drenagem bacia e o comprimento máximo da bacia. Calculando-se pela seguinte forma: $R_a = 2(\text{Raiz de } (A/\pi))/L_b$; Onde “ A ” representa a área da bacia em km^2 , “ π ” representa o valor aproximado de 3,14 e por fim “ L_b ” o comprimento da bacia (Pereira, 2015). Os valores associados a índice destacaram duas bacias, a bacia 15 com 0,76 e a 31 com 0,81 (Tabela 2). As duas apresentam uma forma diferenciada das restantes, com um desenho mais irregular e circular, fruto do reencontro de dois afluentes de dimensões semelhantes, não se sobressaindo um ao outro.

Por fim o parâmetro do relevo, foi utilizado pra perceber quais as variações de altitude entre o ponto mais elevado dos cursos e o cruzamento com a M nº518, como ponto mais baixo e assim perceber se o declive pode influenciar na rapidez e dinâmica fluvial. A maior variação registrada foi na bacia número 32 com um desnível de aproximadamente 540 metros.

4.6- Hierarquia Fluvial

Para determinar a ordem ou a hierarquia das bacias hidrográficas surgem vários sistemas possíveis para o executar, tendo sido o primeiro por Robert E. Horton onde para este os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem afluentes (os canais de segunda ordem somente recebem tributários de primeira ordem, os de terceira ordem podem receber vários tributários de segunda ordem como também de primeira e assim sucessivamente). Contudo para Horton o rio principal tem sempre o mesmo número de ordem desde a sua nascente (Christofolletti, 1980).

Apesar do sistema de Horton ser preciso, nem todos os pesquisadores concordam com os critérios de ordenação dos cursos de água, surge então outro sistema, elaborado e introduzido por Arthur N. Strahler onde os canais sem tributários são classificados como de primeira ordem, espraçando-se desde a nascente até a confluência. No sistema de Strahler, um canal apenas é atribuído classificação após a confluência entre dois canais da ordem anterior e recebem afluentes da/s classificação/ões de ordem mais baixa, ou seja, os canais de segunda ordem apenas surgem com a confluência de dois canais de primeira ordem e recebem afluentes de primeira ordem, os canais de terceira ordem surgem com a confluência de dois canais de segunda ordem e recebem afluentes de primeira e segunda ordem e assim sucessivamente. (Christofolletti, 1980)

Além destes dois sistemas que determinam a ordem ou hierarquia das bacias hidrográficas, existem outros dois sistemas que permitem determinar a magnitude das redes de drenagem, são eles: o sistema conforme Scheidegger e o sistema Shreve. Porém para a elaboração deste relatório o sistema utilizado foi o de Strahler, estes últimos dois não têm tanta relevância para o trabalho produzido.

4.7- Perfis Longitudinais de um rio

Os perfis longitudinais correspondem a uma representação esquemática do percurso de um rio que através de uma linha, une as altitudes do leito sendo possível com a análise destes perfis. Estes dão um auxílio por exemplo a perceber a que altitude se encontra a nascente de um rio, a

extensão ou comprimento real deste, afluentes e subafluentes que dele fazem parte, localização onde nasce e onde desagua e em alguns casos cidades/localidades por onde o curso de água circula.

Neste relatório realizou-se cinco destes perfis longitudinais das principais ribeiras que cruzam a estrada municipal nº518, bem como a sua respetiva litologia simplificada. Estes cinco perfis tem uma litologia em comum em todos eles, a presença de granito. Estes também apresentam na maior parte do seu percurso, um perfil convexo.

No perfil 9A estão presentes, além do granito e xistos negros, existe uma falha quando a litologia da ribeira de Cambela passa de xistos negros para granitos, havendo também uma ligeira concavidade associada a este momento. Ainda está presente outra falha quase no final deste perfil, numa geologia composta por granitos.

Outro perfil onde estão também presentes os mesmos tipos de xisto do perfil anterior é o perfil 8B, onde os xistos encontram-se limitados por granitos nos extremos do perfil. De realçar uma grande descida da altitude na parte final do perfil caracterizada e representada pela concavidade delineada.

O perfil 9C e D são completamente idênticos no que diz respeito à litologia, sendo estes completamente constituídos por granitos. Estes dois perfis apresentam também no seu percurso várias falhas. O perfil 9C da ribeira de Brunhede apresenta três falhas sendo a última a mais significativa devido à forma que molda o perfil. O perfil 9D, o ribeiro de Pedrulhos, apresenta duas falhas logo da sua extensão antes da primeira metade do percurso, onde percebe-se desde logo uma mudança de forma do perfil assim que este as encontra.

Por último, o perfil 8E corresponde ao perfil de maior extensão. O ribeiro de São Mamede como é apelidado, apresenta granitos porfíroides de grão grosseiro em todo o seu perfil, sendo apenas cruzado por um pequeno filão de rochas básicas. Este perfil possui alguns trechos no seu percurso onde a sua forma adquire características convexas. De facto, este pode ser um exemplo de um perfil onde o nível de base antigo do rio já circulou bem mais acima do nível atual.

O perfil longitudinal que mais se aproxima a um perfil de equilíbrio é o da figura 9E, uma vez que representa o perfil de maior extensão. Este possui uma fase de equilíbrio/estacionária entre o planalto e a nascente do rio, tendo grande parte do seu curso pouca influência da erosão, estagnando a sua forma ao longo do tempo. Já na parte final do perfil é representada uma vertente bastante inclinada em direção à estrada municipal nº 518.

Os quatro primeiros perfis apresentam vertentes côncavas com muita energia, tratando-se de cursos de muito pequena extensão pressupõe-se um longo caminho para atingirem uns perfis mais regularizados. Nos perfis longitudinais 9B, C e D em estudo, é possível associar as falhas existentes nestes e a variação da litologia na criação de possíveis fissuras formando *knickpoints*.

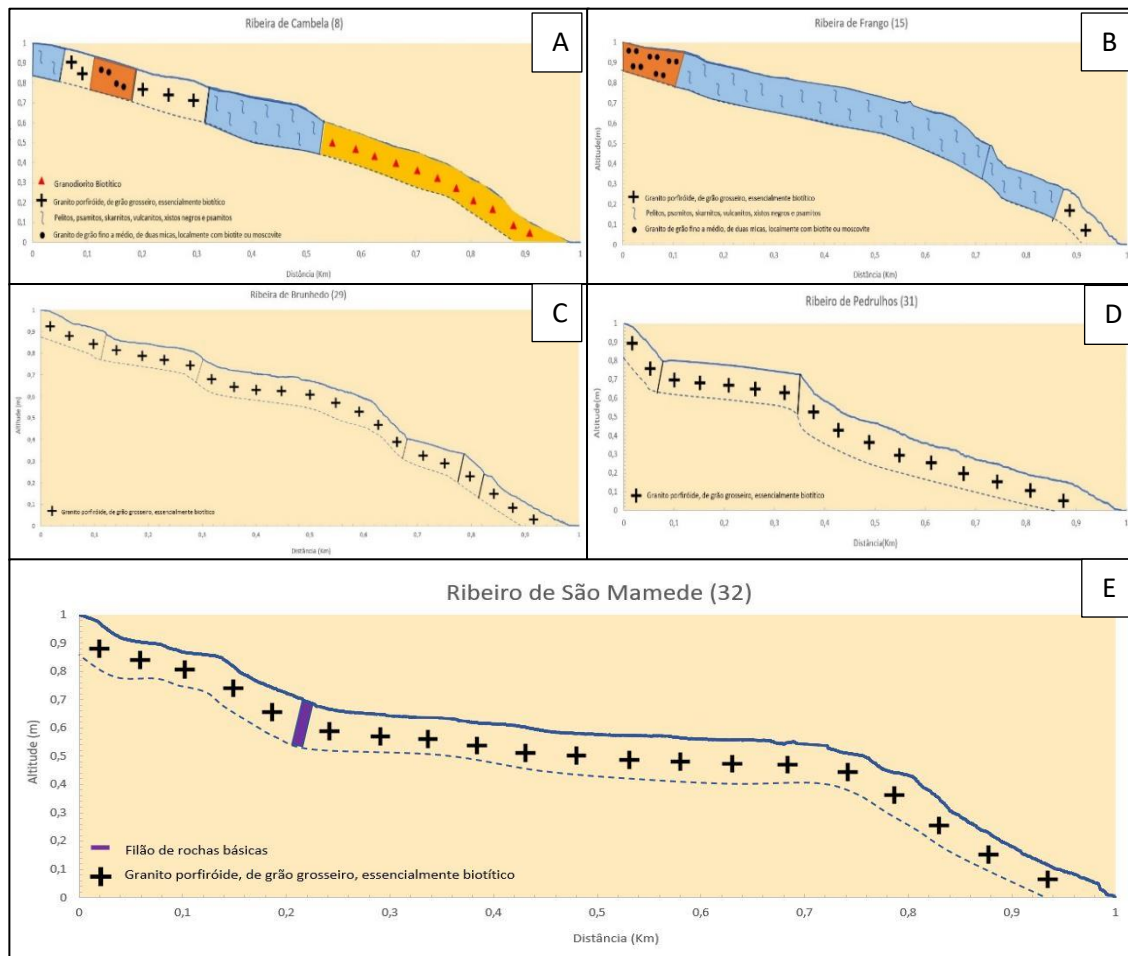


Figura 9- Perfis longitudinais das principais ribeiras que cruzam a Municipal nº518, e a sua respetiva geologia simplificada. A) Ribeira de Cambela; B) Ribeira de Frango C) Ribeira de Brunhedo; D) Ribeira de Pedrulhos; E) Ribeira de São Mamede;

4.8.- Precipitação

O termo precipitação abrange toda a água que cai sobre a Terra nos diferentes estados. Assim estes dados são bastantes importantes para perceber como é que a precipitação pode afetar positivamente ou negativamente uma região e as populações. Em casos de fenómenos chuvosos intensos, estes podem ser bastantes úteis para o reabastecimento de água em algumas barragens

como também podem constituir um perigo para as populações que, em caso de cheias e saturação das vertentes, correm o risco de deslizamento de vertentes.

Tendo os dados relativos à precipitação foi possível analisar os valores de precipitação relativos à área de estudo e aferir a tendência anual da precipitação nesta área por meio da criação de um gráfico de barras. Por último foi ainda elaborado outro gráfico para a análise dos valores anuais mais elevados desde que há registo (1960).

De modo a explorar todos os fatores que podem constituir um risco para a população e para as infraestruturas procedeu-se à análise de dados relativos à precipitação. Estes dados obtidos a partir da estação hidrométrica do Extremo localizada no concelho de Arcos de Valdevez, na União das Freguesias de Portela e Extremo a cerca de 419m de altitude. Esta estação é a única com dados pluviométricos fornecendo um auxílio importante para o entendimento sobre os deslizamentos ocorridos em Cestães, freguesia de Sabadim que haviam ocorrido entre o dia 14 e 15 de dezembro de 2000.

No primeiro gráfico de barras (Gráfico 1A), estão representados os dados anuais relativos à precipitação em mm, recolhidos na estação pluviométrica do Extremo, desde o ano de 1960 até 2019. Apesar da lacuna de dados em alguns anos mais recentes, consegue-se perceber que os valores da precipitação têm vindo a baixar, como mostra a linha de tendência, embora existam algumas subidas acentuadas em certos anos.

O valor assinalado pelo retângulo vermelho indica-nos o valor mais alto registado até à data presente no gráfico, mas é também referente ao ano do acontecimento dos deslizamentos em Cestães, Sabadim, o ano de 2000.

No segundo gráfico de barras (Gráfico 1B), estão apresentados os valores diários da precipitação em mm referente ao período de 01/11/2000 a 01/01/2001, de modo a ser possível verificar a quantificação da precipitação antes e após o deslizamento de terras em Cestães. Com esta análise, captou-se que, apesar da linha de tendência ser praticamente constante, existiram alguns picos altos de precipitação neste período, além de como assinalado a vermelho, encontram-se 26 dias consecutivos de queda de precipitação que antecederam ao deslizamento de terras. Apesar de nem todos os dias se verificarem grandes valores de precipitação, o grau de saturação da vertente e a quantidade de água acumulada nesses solos poderá ser a principal causa deste deslizamento. No dia 07/12/2000 precipitaram 170mm, sendo este um valor muito significativo para assim descrever os acontecimentos posteriores

4.8.1- Cálculo dos Caudais

Para uma abordagem mais aprofundada das dinâmicas fluviais importa também calcular os caudais de ponta de cheia para as micro bacias a fim de aferir a probabilidade de ocorrerem inundações sob a área de estudo. Para este efeito, foi utilizada uma análise estatística para calcular os valores dos caudais de ponta de cheia segundo a fórmula de Loureiro. Esta expressa-se da seguinte forma: $Q_p = C \cdot A^Z$, correspondendo o carater C e Z a parâmetros regionais, e o “A” correspondente à área em Km². Lencastre *et al*, (1984). O tempo de concentração de uma bacia (t_c) é o tempo necessário para que toda a sua área contribua para o escoamento superficial na secção de saída; pode também ser definido como o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidraulicamente mais afastado da bacia chegue à secção de saída (Dias, 2003). Posto isto é possível afirmar que os maiores valores registados foram na bacia 32 com 34,05 m³/s seguido da bacia 8 com 12,76 m³/s, ainda a bacia 15 com 12,23 m³/s e por fim a bacia 29 com 11,07 m³/s (Figura 10).

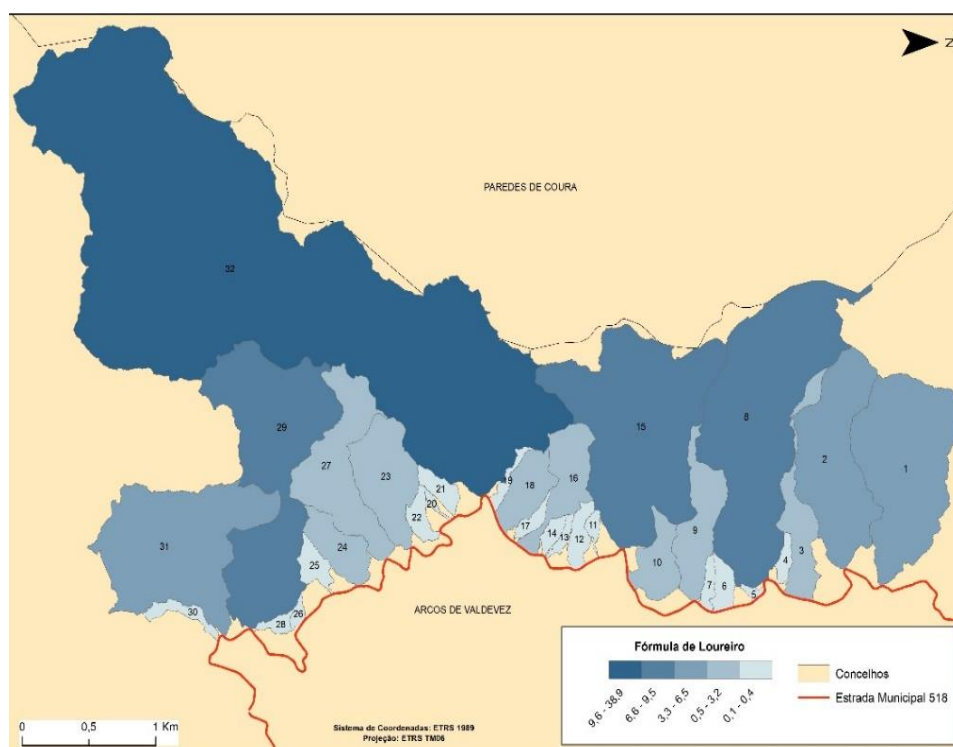


Figura 10– Mapa da representação do cálculo dos caudais de ponta de cheia segundo a fórmula de Loureiro.

5- Ordenamento do Território

O ordenamento do território constitui-se como um sistema de gestão territorial, numa ação coordenada entre diretrizes nacionais, regionais, intermunicipais e municipais concretizada através dos instrumentos de gestão. Estes instrumentos de organização do território definem o uso do solo, sendo transcrito em planos diretores, os planos de urbanização e os planos de pormenor, (DGT, acedido a 22 de maio de 2021).

O concelho de Arcos de Valdevez apresenta no seu PDM (2007), algumas das linhas de ação que pretende desenvolver ao nível das redes viárias. *“O Município tem pautado a sua atuação com preocupação e mobilização de meios complementares para dar tradução à intenção inequívoca de reconverter e requalificar continuamente a acessibilidade e mobilidade no concelho.”* (RAEPDMAV, 2019). Neste sentido é também necessário dotar as vias de segurança para todos os seus utilizadores e para as populações.

De forma a representar os principais elementos discriminados neste estudo, foi elaborado um mapa contendo essas características. As variáveis usadas permitem definir locais de maior instabilidade das vertentes e contribuir para possíveis análises ao nível do ordenamento do território.

Foi igualmente realizado um levantamento das possíveis instabilidades ao longo do eixo rodoviário em estudo, identificando pequenas distorções e marcas de movimentos do terreno. Na figura 10A verificam-se fenómenos de reptação, que resultaram de movimento de massa inconsolidada mais lento pela vertente, com uma variação entre 1 até 10 mm/ano, dependendo do tipo de solo, do clima, da declividade do talude e da densidade da cobertura vegetal. O movimento é uma deformação muito lenta do rególito, na qual as camadas superiores deste se deslocam declive abaixo mais rapidamente. Tal como referido anteriormente, movimentos lentos podem causar inclinações em árvores, postes da rede de eletricidade, entre outros. O grande peso das massas de solo rastejando declive abaixo pode quebrar muros de contenção mal projetados e rachar as paredes e fundações de prédios (Press, 2006).

As variáveis referidas ao longo do estudo têm como principal objetivo a construção de cartografia de risco, sendo que as de maior peso são as áreas de maior suscetibilidade de incêndio, os declives acentuados e por fim os locais com risco de movimento de vertente. Através da figura 11A, é de salientar o curso de água nº32 (Ribeiro de São Mamede). Este está inserido na bacia hidrográfica de maior dimensão, por isso terá uma dinâmica e influência maior dos processos

geomorfológicos possíveis a ocorrer na área de estudo. O percurso deste curso tem características significativas que se relacionarão com os deslizamentos de terra para a estrada municipal nº518.

A cartografia relativa à curvatura de vertentes (figura 6) mostra que o perfil do Ribeiro apresenta três etapas distintas: em que inicialmente, a montante do curso de água, este perfaz o seu percurso em um declive acentuado, seguindo-se de um aplanamento e finalmente torna a um declive abrupto. Este desnível acentuado apresenta influência na velocidade, capacidade e competência nessa etapa final até à estrada municipal nº518. É também de salientar, que a bacia hidrográfica referida é constituída por uma forma alongada, que vai direccionar o caudal do rio para um só local, diminuindo o tempo de concentração da água para a estrada. Conjugando todos os fatores referidos, mais a precipitação e a pobre cobertura vegetal da vertente, maioritariamente mato rasteiro, tornam o ponto de concentração das águas um local de risco elevado para movimentação de vertentes e cheias rápidas.

É importante realçar, na figura 11B correspondente à secção 2, a dinâmica das bacias de maior porte (15, 8, 3), pois serão estas as que apresentam uma maior bacia de drenagem e por conseguinte uma maior quantidade de água drenada sob a rodovia, podendo estar associado ao forte declive numa parte mais final a uma rapidez do fluxo e a uma maior capacidade de erosão. Esta erosão acarretará consigo também detritos e será maior, quanto maior o fenómeno chuvoso associado. Uma nota também para a classificação atribuída às vertentes com maior torrencialidade, estas como referido anteriormente são muito influenciadas pelas chuvas. Pela figura percebe-se que estas correspondem a bacias muito alongadas e de pequena dimensão. Este efeito levará a aumentos de rapidez de resposta das vertentes.

Muitos dos pontos de perigo identificados estão em locais de confluência dos cursos de água das vertentes, o que denota uma importante relação entre o estudo efetuado e as possíveis ocorrências que desses fenómenos possam vir a surgir.

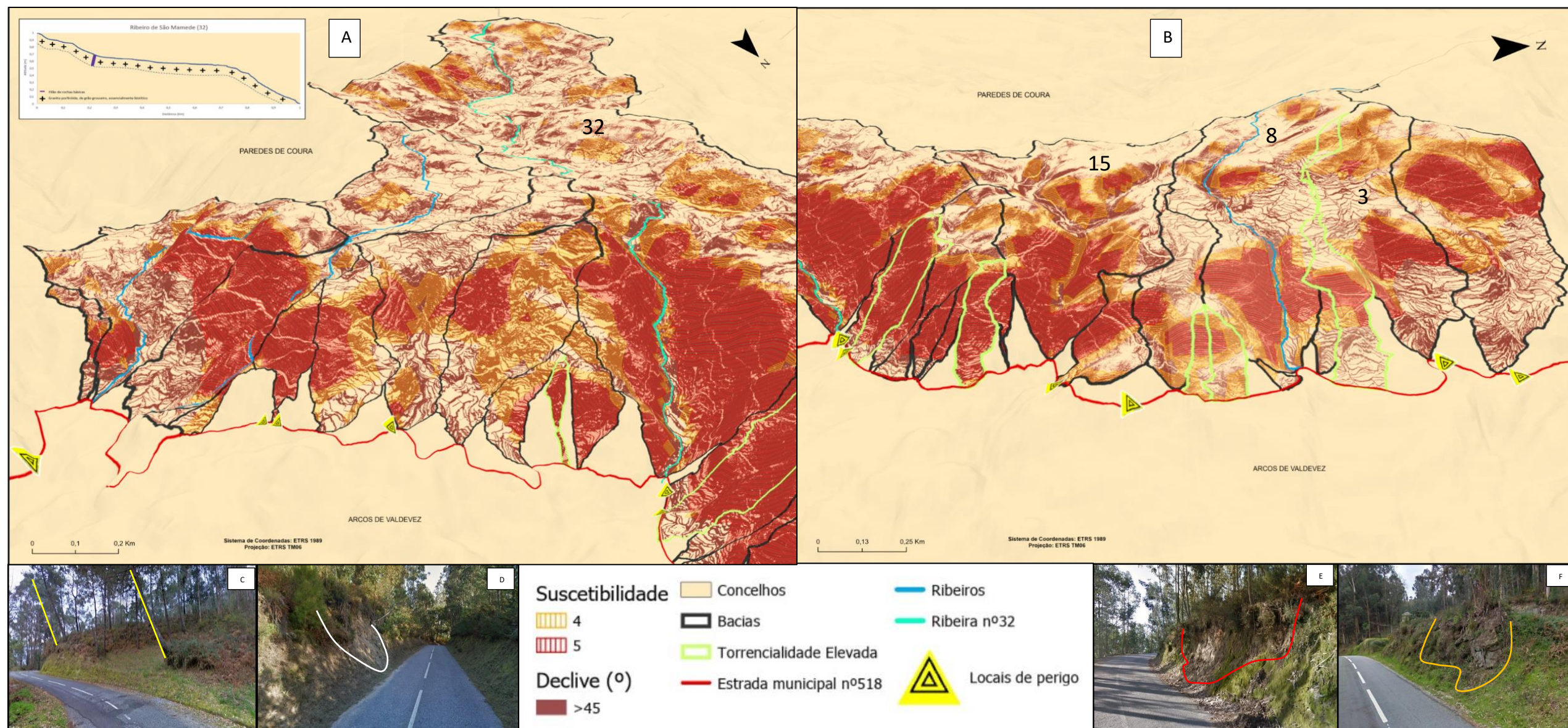


Figura 11 – Mapa síntese de ordenamento do território aplicado às vertentes a norte da Municipal n°518; A) Secção 1; B) Secção 2; Locais de instabilidade das vertentes junto da Municipal n° 518; C) fenómenos de reptação; D);E);F) movimentos de blocos na extremidade da vertente;

6- Discussão e conclusão

A avaliação do risco associado a uma estrada rodoviária não é um tema totalmente recente. Com o rápido crescimento das sociedades e da população mundial, verificou-se uma pressão sobre as antigas estruturas levando à criação de novas, por vezes em locais suscetíveis a perigos. Esta também poderá ser agravada pela maior frequência com que os fenómenos naturais mais extremos se sucedem.

Nesta linha de pensamento e após a realização de uma análise concreta ao nível das características da área de estudo, pode-se descrever como principais resultados os seguintes aspetos: os principais cursos de água com vertentes côncavas têm também um declive acentuado, confluindo rapidamente os fluxos de água para os pontos de conexão com a estrada.

Os incêndios de forma independente constituem um risco para as populações locais e para a estrada municipal nº518. Juntamente com a análise de movimentos de vertentes é de salientar que o risco de ocorrência destes movimentos é diretamente influenciado pelos incêndios dado que, a inexistência de vegetação torna os solos pouco coesos e bastantes suscetíveis à ocorrência de movimentos de vertente. A partir dos perfis longitudinais foi possível aprofundar a análise à área de estudo e sobretudo às características das ribeiras aqui presentes, onde se pode afirmar que em quatro dos cinco perfis elaborados, os seus cursos de água ainda são bastante ativos no que concerne a seu processo erosivo e na transformação de um perfil de equilíbrio.

Com a análise morfométrica das bacias em estudo foi possível clarificar e realçar as características físicas de cada uma utilizando alguns parâmetros geométricos. Estes parâmetros demonstram que todas as bacias em estudo possuem energia e capacidade para alongar a sua estrutura gerando novos canais. Em relação ao índice de torrencialidade, ou seja, à ocorrência de inundações, destacam-se sete das trinta e duas (7/32) bacias de maior torrencialidade, estas caracterizadas principalmente pela sua dimensão mais reduzida sendo as primeiras a ser mais afetadas em caso de maiores valores de precipitação. Determinou-se ainda a partir dos índices de compacidade e circularidade que todas as bacias em estudo, são alongadas apenas variando na sua forma, umas expressamente alongadas e outras com valores próximos de 1, ou seja, próximas de bacias circulares. Finalmente o índice de alongamento apresenta duas bacias com uma forma diferenciada das restantes (15ª e 31ª), com um desenho mais irregular e circular, fruto do reencontro de dois afluentes de dimensões semelhantes, não se sobressaindo um ao outro.

Da análise da pluviosidade, principal fator responsável desencadeante do fluxo de detritos no deslizamento de 2000 em Frades que, comparativamente a outros estudos de movimentos ocorridos, como por exemplo Sta. Marinha do Zêzere (Zêzere, 2015), Frades possui uma tendência que associa eventos de precipitação de forma mais intensa, maior quantidade e duração. Assim sendo, percebe-se a importância da previsão e acompanhamento das áreas propícias a estes acontecimentos que, associados a eventos extremos causam saturação dos solos e despoletam rutura das formações superficiais.

No decorrer do trabalho surgiram algumas dificuldades na análise dos dados produzidos. Esta foi fruto principalmente de uma desadequação por vezes na escala utilizada, tornando ilegível alguma informação ou não traduzindo a realidade pretendida. Este problema foi sentido na criação da cartografia associada a incêndios florestais e curvatura de vertentes. Os dados inicialmente usados (LIDAR) eram demasiado pormenorizados para o tipo de análise e por isso recorreu-se a um MDT com menor resolução (ASTER). O mesmo efeito foi sentido na construção e delimitação das bacias hidrográficas, como já referido, que causou transtornos ao nível da leitura de algumas formas da superfície, associando por exemplo ao perfil de um rio, uma ponte ou elevação artificial. Por último a impossibilidade de realização de trabalho de campo, não permitiu que se realizassem análises com um maior rigor, com dados do terreno, ao invés disso foram recorridos a outros meios à distância, como o *Google Earth*.

O ordenamento do território deve ser encarado como uma ferramenta que auxilia na antevisão de fenómenos destrutivos, como é exemplo os movimentos de vertente e os incêndios florestais. Após a consulta do PDM e da planta de condicionantes do concelho de Arcos não foi possível encontrar nenhuma menção ao risco das vertentes em estudo. A falta de planos para esta área e o não enquadramento desta por exemplo na REN do concelho, corrobora a ideia que de ainda muito á a fazer em matéria de ordenamento.

7- Agradecimentos

Na elaboração deste trabalho, importa ressaltar o total apoio e coordenação por parte do Professor Alberto Gomes. Ainda lembrar o papel das colegas Gabriela Ribeiro e Joana Santos sempre muito prestáveis em tudo.

8- Referências Bibliográficas

- Almeida, Lutiane Queiroz de.(2012) Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações. São Paulo: Cultura Acadêmica, (Coleção PROPG Digital - UNESP). ISBN 9788579832895
- Amador, D. (2014). Relatório de Projeto Curricular-Cartografia de Risco de Incêndio Florestal (Murtosa).
- Assis, MRL (2018). Controle e Garantia de Qualidade de Dados LIDAR para Estimativa de Biomassa Florestal.Nag, S. K., & Chakraborty, S. (2003). Influence of rock type and structure in the development of drainage network in hard rock area. Journal of Indian Society of Remote Sensing, 31(1), 625–635.
- Bateira, C., Soares, L., Rodrigues, D., Moura, R., Teixeira, M., & Santos, M. (2014). Movimentos de vertente no Norte de Portugal: importância do comportamento hidrológico das formações superficiais.
- Christofolletti, Antonio. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª edição, 1980, 188p.
- Clarke, J. I. (1966). Morphometry from maps, Essays in geomorphology. (pp. 235–274). New York: Elsevier Publication Company.
- Dias, M. (2003). Hidrologia Aplicada 2, Hidrologia, hidrologia urbana e Aproveitamentos hidráulicos. Parte 1, universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Direção Geral do Território (DGT), 2021. Instrumentos de ordenamento do território. Disponível em <https://www.dgterritorio.gov.pt/ordenamento/sgt>.
- Ferreira, N. et al (1987), “Granitóides da Zona centro ibérica e seu enquadramento geodinamico”, Madrid Libro homenagem a L.C. Garcia Figuerola, Edit. Rueda, Parte 1, Cap. 4 pp. 35-51. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Salamanca
- Goudie, Andrew S. (2004). Encyclopedia of Geomorphology (Vol. 1 e 2): Routledge.
- Harjeet Kaur, Srimanta Gupta, Surya Parkash & Raju Thapa (2018) Application of geospatial technologies for multi-hazard mapping
- Instituto Nacional de Informação de Recursos Naturais (SNIRH), (2021). Redes de Monitorização. Retirado de <https://snirh.apambiente.pt/>
- Kanhaiya, S., Singh, B. P., Singh, S., Mittal, P., & Srivastava, V. K. (2019). Morphometric analysis, bedload sediments, and weathering intensity in the Khurar River Basin, central India. *Geological Journal*, 54(1), 466-481.
- Keller, E., DeVecchio, D., & Clague, J. (2016). Natural hazards: earth's processes as hazards, disasters, and catastrophes. Routledge.-
- Lencastre, A.& Franco, F. M. (1984) - Lições de Hidrologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- and characterization of associated risk at localscale, Annals of GIS.
- M. Feio e Suzanne Daveau, 2004: O relevo de Portugal. Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Coimbra, 151 p.
- Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area. Virginia and Tennessee, Proi NR 389-402, Tech. Rep 3, Columbia University.
- Moreira, A. A. C., Costa, C. T. F., Tavares, P. R. L., & Mendonça, L. A. R. (2011). Caracterização morfométrica e hidrologia da bacia hidrográfica do rio Salamanca, Barbalha, CE. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 19.
- Nag, S. K., & Chakraborty, S. (2003). Influence of rock type and structure in the development of drainage network in hard rock area. Journal of Indian Society of Remote Sensing, 31(1), 625–635.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage system and slopes in badlands at Perth Amboy, NEW Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67, 597–646.
- Pereira, B., de Nazaré Maciel, M., Oliveira, F., Ferreira, B., & Ribeiro, E. G. (2015). Geotecnologias com apoio de índices morfométricos para a caracterização da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, Nordeste Paraense. *Enciclopédia Biosfera*, 11(22).
- Plano Diretor Municipal de Arcos de Valdevez (PDM), 2007. Relatório de Ponderação Pública.
- Press, F.; Grotzinger, J.; Siever, R.; Jordan, T. H. (2006). Para Entender a Terra. Tradução: MENEGAT, R. (coord.). 4ª edição. Porto Alegre: Bookman,
- Ramos, C. (2005) - Programa de Hidrogeografia. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.

107 -Ramos, C. (2009). Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de unidade curricular do 2º ciclo). SLIF-6. Lisboa: Centro
 108 de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, 94 pp.

109 -Ribeiro, A.; Cabral, J.; Baptista, R. & Matias, L. (1996) – Stress pattern in Portugal mainland and the adjacent Atlantic region, West
 110 Iberia. *Tectonics* 15 , pp. 641-659.

111 Gomes, A. (2008). Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda. Departamento de Geografia,
 112 Universidade do Porto.(Tese de Doutoramento, em preparação).

113 - Valeria Rago, Valeria Lupiano, Francesco Chiaravalloti, Giovanna Chiodo, Salvatore Gabriele, Annamaria D. Pellegrino, Oreste G.
 114 Terranova & Giulio Iovine (2021) Geomorphic effects caused by heavy rainfall in the Corigliano-Rossano area (NE Calabria, Italy) on
 115 12 August 2015, *Journal of Maps*.

116 -Soares, L., Bateira, C., & Gomes, A. (2020). O fluxo de Sta. Marinha do Zêzere (NW de Portugal) : ensaio metodológico. Vol. 1 (2007):
 117 *Revista da Faculdade de Letras : Geografia*, pp. 87-126.

118 Zêzere, J., Vaz, T., Pereir, S., & Oliveira, S. (2015). Rainfall thresholds for landslide activity in Portugal: a state of the art. Springer.

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159 **Anexos**

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

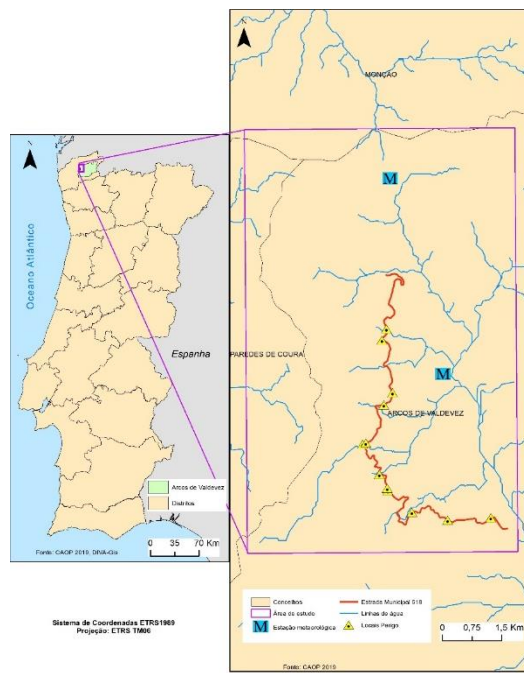


Figura 12- Enquadramento geográfico da área de estudo.

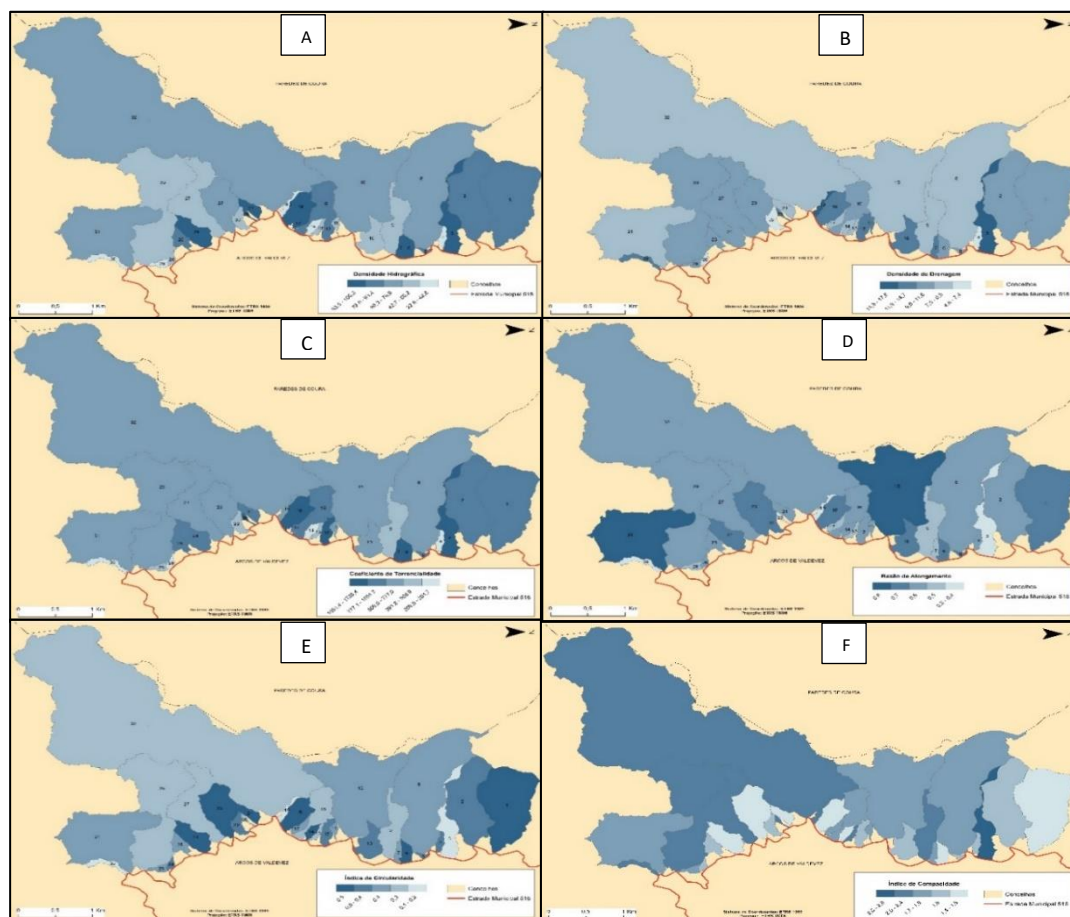


Figura 13- Características morfométricas das micro bacias hidrográficas; A - Densidade hidrográfica; B - Densidade de Drenagem; C- Coeficiente de Torrencialidade;D- Razão de Alongamento; E- Índice de Circularidade; F- Índice de Circularidade

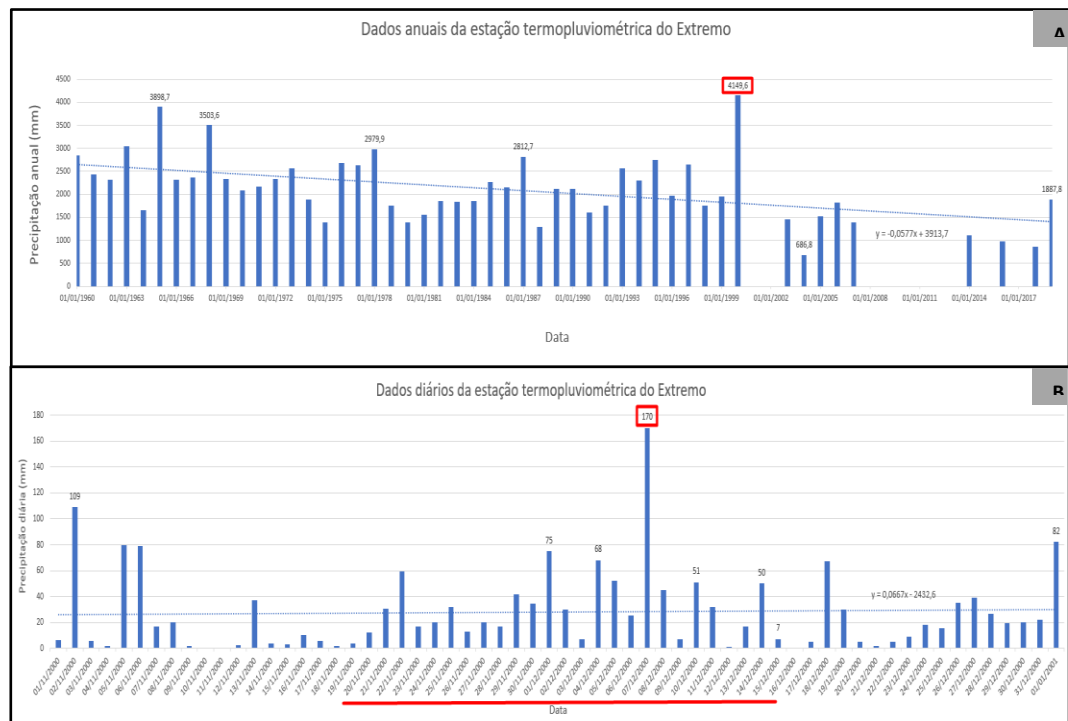


Gráfico 1 - A) Precipitação Anual, período de tempo entre 1960 e 2019; B) Precipitação diária, compreendida entre novembro de 2000 e janeiro de 2001;

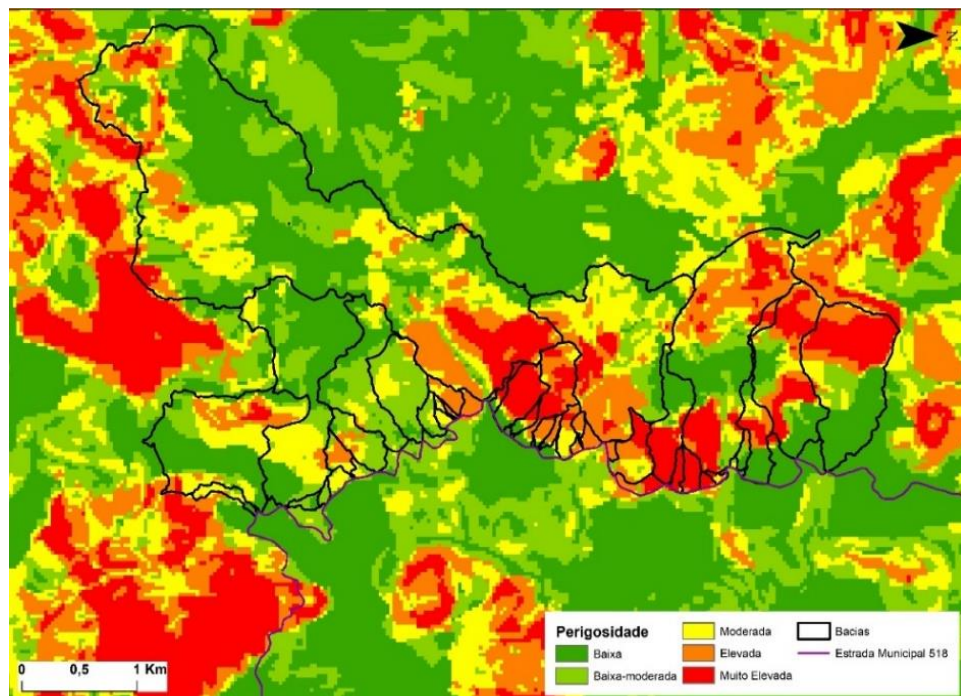


Figura 14 – Perigosidade associada à ocorrência de incêndio para a área de estudo, baseado num período temporal de 2000/2019. Fonte: ICNF,2021

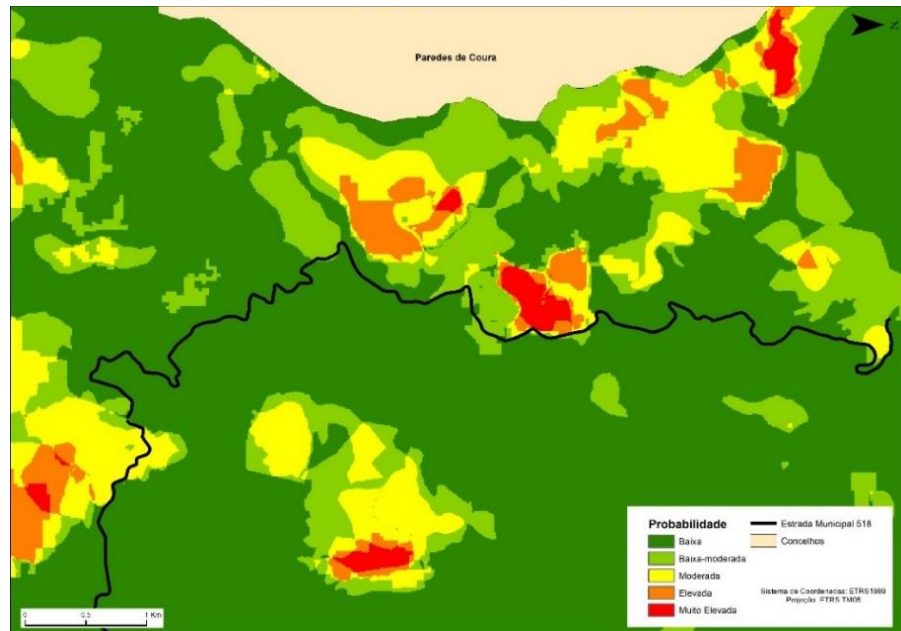


Figura 15 – Mapa de probabilidade de ocorrência de incêndio para a área de estudo, baseado num período temporal de 2000/2019. Fonte: ICNF, 2021

Bacias	Características Base						Total de Afluentes					Comprimento total dos afluentes							
	Area (Km2)	Perímetro (km)	Altura Max	Altura Min	Comp_Bacia_km	Comprimento Max da Bacia (m)	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Total	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Total	Comp_Km
1	0,779	4,4	672,5	285,1300049	1,453	1452,950	33	13	17	2	0	65	4458,04	1907,45	1665,65	282,556	0	8313,69	8,314
2	0,589	4,3	688,2	294,4599915	1,510	1510,230	28	17	10	0	0	55	3674,96	1280,45	880,145	0	0	5815,555	5,816
3	0,195	4,5	683,2	292,7238184	1,751	1751,460	10	6	3	0	0	19	1365,11	1292,66	515,026	0	0	3472,799	3,473
4	0,027	0,9	424,0	298,9899902	0,361	360,550	1	0	0	0	0	1	201,692	0	0	0	0	201,692	0,202
5	0,011	0,6	349,2	300,6499939	0,202	201,740	1	0	0	0	0	1	111,74	0	0	0	0	111,7402	0,112
6	0,050	1,2	423,7	300,5799966	0,411	410,910	3	2	0	0	0	5	394,961	189,456	0	0	0	584,2965	0,584
7	0,030	1,1	424,0	300,8299866	0,417	417,110	2	1	0	0	0	3	285,51	147,145	0	0	0	432,6545	0,433
8	1,242	6,9	688,1	295,4400024	2,175	2175,360	50	18	13	17	0	98	4570,97	3297,01	1299,15	1032,66	0	10199,79	10,200
9	0,219	3,3	562,9	302,6300049	1,209	1209,140	7	6	0	0	0	13	1188,8	857,861	0	0	0	2046,657	2,047
10	0,138	2,0	460,2	288,8473816	0,638	637,790	5	3	1	0	0	9	694,68	768,138	190,875	0	0	1653,703	1,654
11	0,018	0,8	448,8	283,914032	0,274	273,730	1	0	0	0	0	1	243,204	0	0	0	0	243,2043	0,243
12	0,057	1,4	471,7	271,9025169	0,476	476,200	3	2	0	0	0	5	595,298	217,595	0	0	0	813,2933	0,813
13	0,019	1,0	458,0	269,7799988	0,364	364,270	1	0	0	0	0	1	179,303	0	0	0	0	179,3035	0,179
14	0,028	0,9	436,2	270,0199989	0,330	330,340	1	0	0	0	0	1	220,234	0	0	0	0	220,2344	0,220
15	1,169	6,5	620,0	282,1199951	1,599	1598,750	45	24	11	9	0	89	5825,95	2377,58	1136,72	758,485	0	10298,71	10,299
16	0,200	3,0	565,9	268,3699951	0,946	945,810	9	4	4	0	0	17	644,374	515,428	1061,84	0	0	2221,142	2,221
17	0,029	1,1	470,0	287,5522461	0,437	438,700	2	1	0	0	0	3	181,989	58,4814	0	0	0	240,4399	0,240
18	0,144	1,9	526,5	265,8900146	0,666	666,110	8	3	4	0	0	15	1270,08	227,659	229,925	0	0	1727,665	1,728
19	0,028	1,4	516,7	266,8699951	0,508	508,480	1	0	0	0	0	1	491,398	0	0	0	0	491,3976	0,491
20	0,010	0,7	413,9	279,5700073	0,290	290,410	1	0	0	0	0	1	137,226	0	0	0	0	137,2264	0,137
21	0,049	1,2	447,3	278,7600098	0,453	453,250	3	2	0	0	0	5	336,96	120,102	0	0	0	447,0617	0,447
22	0,047	1,2	414,5	277,6300049	0,397	397,450	2	1	0	0	0	3	201,958	137,611	0	0	0	339,2056	0,339
23	0,196	2,8	578,8	295,3800049	0,952	952,100	11	6	4	0	0	21	1396,38	1107,9	583,825	0	0	3088,112	3,088
24	0,141	2,0	501,2	288,4899902	0,703	702,590	8	4	3	0	0	15	596,958	710,542	85,5378	0	0	1396,058	1,396
25	0,055	1,4	466,6	281,1104451	0,480	479,820	5	2	0	0	0	7	546,744	91,0954	0	0	0	637,8374	0,638
26	0,016	0,7	335,6	248,1499939	0,245	244,530	1	0	0	0	0	1	71,9582	0	0	0	0	71,95822	0,072
27	0,018	0,7	365,8	302,7699989	1,398	1398,090	13	6	6	0	0	25	1856,09	1282,75	1207,29	0	0	4326,138	4,326
28	0,023	1,0	285,0	208,6499939	0,349	348,630	1	0	0	0	0	1	227,213	0	0	0	0	227,2125	0,227
29	1,012	7,4	650,2	306,7700043	1,955	1955,280	34	20	5	8	0	67	4957,61	2992,26	157,333	1780,66	0	10288,07	10,288
30	0,044	1,7	373,0	218,0057036	0,654	653,890	1	0	0	0	0	1	551,862	0	0	0	0	551,8624	0,552
31	0,855	5,6	540,2	216,9100037	1,284	1284,330	33	18	14	0	0	65	3939,8	2761,42	1431,54	0	0	8132,864	8,133
32	5,108	16,0	808,3	289,0299988	4,749	4749,030	199	105	34	26	33	397	22350,9	12943,3	5015,41	2774,79	1110,86	46195,34	46,195

Bacias	Densidade Hidrográfica(D)	Densidade de drenagem	Coefficiente de Torrencialidade	Índice de Circularidade	Relevo (R)	Índice de Compacidade	Raio de Alongamento
	$F = \text{total segmentos} / \text{Área}$	$Dd = L(\text{com tot. canais}) / \text{Área}$	$Ct = Dh \cdot Dd$	$IC = 12,57 \times A / P^2$	$R = \text{Altmax} - \text{Altmin}$	$0,28 \cdot \text{Perim} / \text{Raiz area}$	$Ra = 2 \cdot \sqrt{C} / Ld$
1	83,427	10,671	890,2132901	0,498149459	387,4	1,41	0,686
2	93,403	9,876	922,4724857	0,395348358	403,7	1,58	0,573
3	97,383	17,800	1731,380628	0,11520696	900,5	2,85	0,288
4	36,553	7,373	269,4891581	0,41000572	125,0	1,55	0,518
5	87,233	9,747	850,3023473	0,42027047	48,8	1,53	0,599
6	100,628	11,719	1183,336203	0,470139712	121,1	1,45	0,612
7	101,680	14,664	1491,035599	0,320673029	123,1	1,75	0,465
8	78,888	8,211	647,7228611	0,32884841	402,6	1,73	0,578
9	56,853	8,951	508,87124	0,262940977	260,2	1,94	0,446
10	65,029	11,349	737,0152708	0,417916805	171,3	1,54	0,658
11	55,080	13,396	737,8321325	0,333712446	164,9	1,72	0,556
12	87,529	14,237	1246,181195	0,393456098	199,8	1,58	0,566
13	52,156	9,252	487,1995688	0,26286475	186,2	1,94	0,429
14	35,424	7,802	276,3608198	0,488144424	166,2	1,42	0,574
15	76,150	8,812	671,0086285	0,350736406	337,9	1,68	0,763
16	85,141	11,124	947,1107779	0,485231709	297,5	1,86	0,533
17	106,012	8,416	888,7812139	0,187311382	202,4	1,76	0,437
18	104,314	12,015	1255,286502	0,514320685	260,6	1,38	0,643
19	36,071	17,725	639,3672674	0,17792624	249,8	2,35	0,370
20	101,340	13,934	1414,861789	0,241117883	184,3	2,01	0,386
21	101,729	9,096	925,3052265	0,459020083	168,6	1,46	0,552
22	63,967	7,233	462,6437867	0,388112389	136,9	1,59	0,615
23	59,626	10,443	741,6221546	0,483644216	283,4	1,43	0,645
24	106,281	9,892	1051,289579	0,458386673	212,7	1,47	0,604
25	90,305	11,520	1040,315031	0,362583202	185,5	1,65	0,533
26	63,672	4,582	291,7267513	0,3957447	87,5	1,58	0,578
27	59,626	10,153	619,1506116	0,239701131	294,0	2,01	0,512
28	42,567	9,672	411,6895256	0,312493028	76,4	1,75	0,496
29	66,203	10,166	672,9994892	0,233345694	443,5	2,06	0,581
30	22,761	12,557	285,8136234	0,199250612	155,0	2,22	0,362
31	75,981	9,507	722,3347947	0,347322213	323,3	1,68	0,613
32	77,721	9,044	702,8828253	0,250615683	540,3	1,98	0,537

Tabela 2 – Morfometria aplicada às micro bacias delimitadas no estudo realizado.