

Formação de ravinas: significância para a perda de solo por erosão hídrica

Maria do Rosário da Silva Franco

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Gestão dos Recursos Florestais*

Orientado por

Felícia Maria da Silva Fonseca

Tomás d'Aquino Rosa de Figueiredo

Bragança

Dezembro, 2015

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças ao apoio e colaboração direta e indireta de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o devido reconhecimento e agradecimento.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Felícia Fonseca e Professor Doutor Tomás de Figueiredo, pelas elevadas capacidades científicas que me tentaram incutir, pela disponibilidade demonstrada e pelo tempo dispensado em prol deste projeto, pelas orientações e análises críticas.

Ao Professor Doutor Bruno Martins, do Departamento de Geografia e Turismo da Universidade de Coimbra, pela simpatia, acompanhamento e sugestões. Um agradecimento muito especial por me ter permitido a realização da análise granulométrica no Laboratório de Geografia, bem como a minha participação neste estudo.

À direção da Escola Superior Agrária de Bragança, por todos os meios disponibilizados para a concretização deste projeto. E ao Engenheiro Arsénio Araújo, pela sua disponibilidade e ajuda.

Aos meus amigos de longa data pela confiança e palavras de incentivo, pelo braço estendido quando mais precisei, e sobretudo pela amizade de sempre.

Aos meus amigos e colegas da Licenciatura de Engenharia Florestal, e do Mestrado em Gestão dos Recursos Florestais pela amizade e companheirismo demonstrado, e por todos os momentos passados.

Um agradecimento especial, à Sofia Martins e ao Rui Costa, por toda a disponibilidade e prontidão para o acompanhamento dos vários trabalhos, por toda a paciência e dedicação que tiveram comigo, bem como pela troca de saberes que se revelaram fulcrais na consolidação de conhecimento. Agradeço-vos imenso, e muito boa sorte aos dois!

Aos meus familiares, agradeço o apoio incondicional. Aos meus pais, que sempre me incentivaram a querer e fazer sempre mais do que aquilo que está ao meu alcance, e que sempre se prontificaram a proporcionar-me um futuro melhor. Aos meus irmãos, Abílio Franco e Sandra Franco por tudo o que representam! Às minhas lindas sobrinhas.

Às minhas primas, Sofia e Filipa Monteiro, pelas palavras de incentivo e pela prontidão que sempre apresentaram para me ajudar em tudo o que precisei.

Ao meu namorado, Rafael Silva, a ele agradeço por tudo, por todo o amor, companheirismo e carinho demonstrado ao longo destes anos. Por todas as vezes que me incentivou a continuar e a fazer melhor. Por todo o apoio e compreensão que me transmitiu nas horas de maior tensão, que foram essenciais para o prosseguimento e conclusão desta etapa académica. Um muito obrigado por acreditar, e fazer-me não duvidar das minhas capacidades. Muito daquilo que sou hoje, e do que serei na vida foi obtido graças a ele, e por ele.

Assim, expresso aqui o meu sincero obrigado a todos.

Formação de ravinas: significância para a perda de solo por erosão hídrica

Aos meus pais,

Fernando Franco e Elisa Ribeiro.

“Cabe ao homem compreender que o solo fértil, onde tudo que se planta dá, pode secar; que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas, que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição. O homem precisa entender, que de sua boa convivência com a natureza, depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a natureza; a sua origem e o seu fim.”

- Elizabeth Jhin

Resumo

De um modo geral, a população reconhece a importância do solo para o planeta Terra, embora invariavelmente, essa percepção não se materialize em ações e comportamentos de promoção e preservação deste recurso. Aliás, 115 milhões de hectares, equivalentes a 12% do território europeu, estão em risco de serem perdidos por erosão hídrica.

Com este trabalho pretende-se compreender os fatores que podem servir como base para a explicação da génese das ravinas e quantificar a perda de solo por ravinamento, processo esse muito frequente sobretudo por efeito da erosão hídrica, e que contribui entre 10 a 94% para a perda do solo de uma área afetada.

A perda de solo por ravinamento foi estudada na freguesia de Canedo, Ribeira de Pena, distrito de Vila Real. Trata-se de uma zona bastante instável, onde é frequente o desenvolvimento de ravinas. A escolha da ravina para o estudo, correspondeu à ravina com um desenvolvimento mais recente e, conseqüentemente de menores dimensões.

Para conseguir alcançar o objetivo pretendido, foram criadas secções, na ravina em estudo, onde se procedeu à avaliação da forma de cada secção e se realizaram medições da largura, comprimento e profundidade, para posterior cálculo da quantidade de perda de solo.

No campo conseguiu-se perceber que seria difícil determinar a área de drenagem direcionada para a ravina, como tal, foram utilizadas ferramentas computacionais de análise de dados, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), de modo a facilitar o processo.

Foram colhidas amostras de solo para avaliação da densidade e da granulometria. Nos sedimentos das referidas amostras predominam as areias finas relativamente às grosseiras sendo os valores da fração limo-argila bastante elevados.

Os resultados obtidos relativamente às perdas de solo por ravinamento, quando expressos em percentagem, foram sensivelmente maiores no presente caso de estudo do que em outros estudos, pesquisados durante a realização deste projeto, correspondendo a 98% da perda de solo total, equivalente a 19 t ha^{-1} . Mas por outro lado, o declive médio da área de drenagem está compreendido entre os 20 e os 40%, valores frequentemente mais altos que os indicados pelos autores dos estudos referidos.

Como muitos autores afirmam, o declive das áreas de drenagem são um forte condicionante para o aparecimento das ravinas, deste modo, e comparando com outros trabalhos realizados, os elevados valores obtidos, podem ser justificados por se tratar de uma área com declives relativamente elevados. A presença de um caminho e de uma vala, o uso agrícola, e a ocorrência de um incêndio depois da ravina já se ter formado, são fatores também importantes, e que não podem ser descurados, na análise aos resultados apresentados.

Palavras-chave: erosão, erosão hídrica, erosão ravinante, ravinas

Abstract

In general, the population recognizes the importance of soil for Earth, although invariably, this perception does not materialize in actions and behaviors to promote and preserve this resource. In fact, 115 million hectares, equivalent to 12% of European territory are at risk of being lost by erosion.

This study aims to understand the factors that underlie the gullies genesis of explanation, and quantify soil loss by gully. A process very often especially the effect of water erosion, and contributes 10 to 94% for the loss of an affected soil area.

Soil loss by gully was studied in Canedo, Ribeira de Pena, in district of Vila Real. It is a very unstable zone, where it is often the development of ravines. The choice of the gully to the study, corresponded to the most recent development and consequently smaller gully.

To achieve the desired goal, sections were created in the gully under consideration, where it assessed the shape of each section and performed the width measurements, length and depth, for subsequent calculation of the amount of soil loss.

In the field we were able to realize that it would be difficult to determine the drainage area directed to the gully, as such, computational tools for data analysis Geographic Information Systems (GIS) were used in order to facilitate the process.

Soil samples were collected to evaluate the density and particle size. In the sediments of these samples dominated by fine sand regarding the gross and the amounts of silt-clay fraction quite high.

The results obtained in respect of soil loss by gully, when expressed as a percentage, were significantly greater in this case study than in other studies, surveyed during the course of this project, corresponding to 98% of the total loss of soil, equivalent to 19 t ha⁻¹. On the other hand, the average slope of the drainage area is between 20 and 40%, often higher amounts than those indicated by the authors of such studies.

As many authors say, the slope of the drainage areas are a strong determinant for the appearance of gullies, therefore, and comparing with other work performed, high values can be justified because it is an area with relatively high slopes. The presence of a road and a ditch, agricultural use and the occurrence of a fire after the ravine is already

installed, they are also important factors, and that can't be set aside, in justification of the results presented

Keywords: erosion, water erosion, gully erosion, gully

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura do Documento	3
2. Revisão bibliográfica.....	5
2.1 Importância dos solos	5
2.2 Erosão dos solos.....	6
2.3 Fatores que interferem com a erosão do solo.....	9
2.3.1 - Precipitação.....	9
2.3.2 - Topografia.....	12
2.3.3- Propriedades do solo	14
2.4 Conceito de Ravina e Ravinamento.....	17
2.4.1 Formação de Ravinas	18
2.4.2 Tipos de ravinas	24
2.4.3 Taxas de erosão	25
3. Material e Métodos.....	29
3.1 Área de estudo	29
3.2 Análise das características das ravinas	31
3.2.1 Geometria da Ravina.....	32
3.2.2 Recolha e tratamento de amostras de solo.	33
3.2.3 Área de drenagem.....	36
3.2.4 Determinação do volume da ravina.....	38
4. Resultados e Discussão	40
4.1 Geometria da ravina.....	40
4.2 Granulometria	45
4.3 Perda de solo.....	49

Formação de ravinas: significância para a perda de solo por erosão hídrica

4.3.1 Densidade do solo	49
4.3.2 Área de drenagem.....	50
4.3.3 Volume e quantidade de perda de solo.....	51
5. Considerações finais.....	53
Bibliografia.....	56

Índice Figuras

Figura 1- Esquema metodológico.....	3
Figura 2- Etapas do processo de erosão. Fonte: Gonçalves (2002).....	10
Figura 3- Tipo de relevo. Adaptado de Gonçalves (2002).	13
Figura 4- Influência da forma da encosta sobre a erosão. Fonte: Gonçalves (2002).	14
Figura 5- Relação entre a capacidade de infiltração de água do solo e a intensidade de chuva ao longo do tempo. A área rasurada representa o total de água potencialmente disponível para constituir o escoamento. Fonte: Gonçalves (2002).....	15
Figura 6- Contextos topográficos do surgimento de ravinas. A- ravina de desnível em margem de curso de água; B- ravina de desnível em terraço; C- entrada de tubo (pipe); D- desembocadura de tubo; E- ravina de desnível recém-formada pelo colapso de um tubo. F- ravina de fundo; G- ravina de fundo do tipo arroyo; H- ravina de vertente associada a um trilho de gado. Fonte: Bergonse e Reis (2011).....	19
Figura 7- Fases de desenvolvimento de uma ravina numa encosta. Fonte: Morgan (2005).	20
Figura 8- Evolução morfológica de uma ravina durante o seu tempo de formação. 1- comprimento; 2- profundidade; 3-área; 4- volume. Fonte: Sidorchuk (1999).	22
Figura 9 - Esboço de uma paisagem do sul da Europa que ilustra a localização típica dos vários tipos de ravinas 1- canal do rio; 2- ravina que se desenvolveu na margem do rio e a cabeceira que recuou para um pomar; 3- ravina que se desenvolveu num socalco; 4- ravina efêmera em terras cultivadas ou ravina permanente em pastagens. Fonte: Poesen et al. (2006).....	25
Figura 10- Contribuição da erosão por ravinamento para as taxas de perda total de solo por erosão hídrica. SLgully ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) - perda de solo por ravinamento; SLgully (%) - contribuição das perdas por ravinamento para as taxas globais. Fonte: Poesen et al. (2006)	26
Figura 11- Mapa litológico: localização da ravina. Obtido com recurso ao ArcGis10.1	29
Figura 12 - Localização da ravina em estudo em campo.	30
Figura 13- Imagens do local da ravina, usadas para determinar o tempo de existência da ravina. (imagens retiradas do Google Earth).	31
Figura 14- Simbologia utilizada para a identificação das incisões da ravina em estudo.	32

Figura 15- Agitadores de peneiros e colunas de peneiração utilizados no Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Bragança (esquerda) e no Laboratório de Geografia da Universidade de Coimbra (direita).	33
Figura 16- Escala granulométrica de Wentworth. As partículas classificam-se de acordo com a sua dimensão, desde argilas (as mais finas) até blocos (as mais grosseiras). Fonte: Dias (2004).	34
Figura 17 - Linhas de fecho e talvegues numa carta com curvas de nível.	36
Figura 18- Localização da ravina e dos talvegues numa carta militar. Obtido com recurso ao ArcGis10.1	37
Figura 19- Medições realizadas no campo para posterior estimativa do volume da ravina. Fonte: Figueiredo (2009).	38
Figura 20- Perfil longitudinal da ravina (incisões 1, 2 e 3), realizado com base nas medições de campo.	41
Figura 21- Comparação entre a largura e a profundidade da Rav1_A (cm) ao longo do seu comprimento (m).	42
Figura 22- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav1_B (cm) ao longo do seu comprimento (m).	42
Figura 23- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav2_A (cm) ao longo do seu comprimento (m).	43
Figura 24- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav2_B (cm) ao longo do seu comprimento (m).	44
Figura 25- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav3_A (cm) ao longo do seu comprimento (m).	44
Figura 26- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav3_B.	45
Figura 27- Distribuição das amostras recolhidas por classes granulométrica em valores percentuais.	46
Figura 28 - Curvas cumulativas das amostras recolhidas por classes granulométrica em valores percentuais.	46
Figura 29- Densidade do solo em diferentes profundidades da parede da incisão rav1_B.	49
Figura 30- Área de drenagem direcionada para a ravina. Obtido com recurso ao ArcGis10.1.....	50

Figura 31 - Mapa de declives da área de drenagem d a ravina. Obtido com recurso ao ArcGis10.1..... 51

Índice Tabelas

Quadro 1- Causas de erosão geológica vs. Causas de erosão acelerada (Evelpidou e Vassipolopoulos, 2009).	7
Quadro 2 - Relação entre a intensidade da precipitação e a perda de solo. Fonte: Fournier (1972) citado por Morgan (2005)	11
Quadro 3 - Valores aproximados de velocidade do escoamento superficial (ms^{-1}) em diferentes coberturas. Fonte: Bertoni e Neto (1990); Gonçalves (2002).	12
Quadro 4 - Efeito do comprimento da encosta nas perdas do solo. Fonte: Gonçalves (2002).	13
Quadro 5- Definição de Ravina	17
Quadro 6 -Classificação da erosão por ravinamento. Fonte: Zachar (1982).	26
Quadro 7 - Comprimento (m), largura máxima (m) e profundidade máxima das incisões em estudo.	40
Quadro 8 - Frações da Escala de Wentworth utilizadas no estudo da granulometria da ravina	45
Quadro 9- Medidas descritivas calculadas a partir da análise gráfica da curva granulométrica.	47
Quadro 10- Designação para os valores da calibração propostos por Folk e Ward (1957) citados por Dias (2004). Fonte: Dias (2004).	47
Quadro 11- Designações para os valores de assimetria propostos por Folk (1957) citados por Dias (2004). Fonte: Dias (2004).	48
Quadro 12- Proposta de Folk (1968), citado por Dias (2004) para as designações de angulosidade da curva granulométrica Fonte: Dias (2004).	49
Quadro 13 – Solo perdido (t ha^{-1})	52

1. Introdução

1.1 Enquadramento

De um modo global, a população reconhece a importância do solo para o planeta Terra, embora invariavelmente, essa percepção não se materialize em ações e comportamentos de promoção e preservação deste recurso, denotando-se inclusive alguma falta de interesse por esta área de estudo.

Segundo opinião do Presidente da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo (SPCS) “deviam existir mais trabalhos de investigação com equipas multidisciplinares, conciliando vários interesses, como a produção com a conservação, o aproveitamento dos solos florestais, tentando perceber como se pode melhorar a sua qualidade, bem como compatibilizar a produção agrícola com a preservação do solo para que ele possa ser aproveitado para outros serviços” (<http://www.ciencia20.up.pt>).

De encontro à citação anterior, surgiu a possibilidade de realizar este trabalho, que visa estudar e compreender os fatores que estão na base da explicação da gênese das ravinas, e quantificar a perda de solo por ravinamento. Processo este muito frequente, sobretudo por efeito da erosão hídrica. Apesar de frequente, é um fenómeno ainda pouco estudado, se bem que nos últimos anos, vários cientistas têm-se dedicado a esta área temática.

O solo é um dos recursos mais importantes da Biosfera Terrestre e do Património Natural para a Humanidade. Pode ser definido como um material mineral ou orgânico não consolidado localizado na superfície da crosta terrestre e que serve de suporte ao crescimento e desenvolvimento vegetal (Soil Science of America, 2008). A qualidade do solo desempenha um papel fundamental na determinação da sua capacidade para desempenhar uma multiplicidade de funções, e o seu processo de formação extremamente lento, faz com que o solo seja considerado um recurso essencialmente não renovável, e qualquer dano que nele se verifique, traduz-se em danos no meio ambiente e nos ecossistemas.

A degradação do solo pode ser traduzida por uma redução da sua qualidade, quer de natureza quantitativa, quer de natureza qualitativa. Na origem da degradação qualitativa podem estar fatores, como a redução de nutrientes, a diminuição da fertilidade e a poluição (Karlen *et al.*, 2003), enquanto a degradação quantitativa pode ser originada pela perda de solo por erosão, movimentos de massa, *etc.* (Lynden *et al.*, 2004).

Segundo estimativas da Agência Europeia do Ambiente (AEA), 115 milhões de hectares, equivalentes a 12% do território europeu, estão sujeitos à erosão pela água e 42 milhões de hectares à erosão pelo vento (COM, 2006).

A formação de ravinas está ligada ao processo de erosão causado pela água e traduz-se em prejuízos agrícolas, perda da capacidade produtiva dos solos e perda de qualidade da água, em especial nos rios, lagos e reservatórios (Martinez-Casasnovas, 2003; Poesen, 2006).

1.2 Objetivos

A formação de ravinas está associada ao processo de erosão hídrica, processo que começa quando as gotas da chuva provocam erosão por salpico, desencadeando alterações da estrutura do solo que, conduzem à formação e concentração do escoamento com capacidade para provocar uma incisão na superfície do solo.

Num levantamento de dados globais, Poesen *et al.* (2003) mostraram que o ravinamento contribui entre 10 a 94% para a perda total de solo de uma área afetada, sendo os valores entre 30 a 75% os mais típicos. A contribuição das ravinas para a erosão total não é facilmente previsível, dependendo principalmente do escoamento superficial, das características da bacia hidrográfica, das características do solo, do tamanho e forma da ravina e do relevo (Desta, 2012).

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar a perda de solo por ravinamento e estudar os fatores que estão na base da formação de ravinas, numa área localizada na freguesia de Canedo, Ribeira de Pena, distrito de Vila Real.

Para esse efeito foi seguida uma sequência metodológica, que envolveu recolha e consulta bibliográfica, o reconhecimento da área de estudo e a recolha de informação (Figura 1).

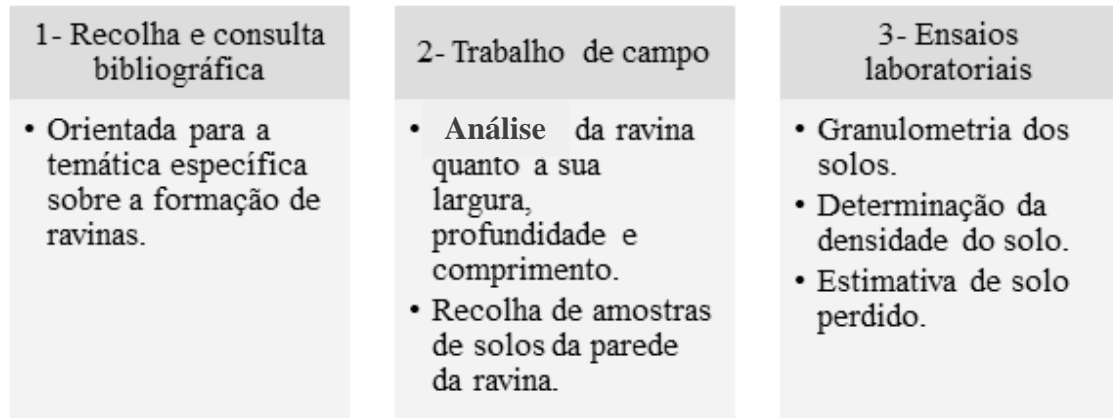


Figura 1- Esquema metodológico

1.3 Estrutura do Documento

Além do capítulo inicial onde é introduzido o tema em análise nesta dissertação, bem como os objetivos, o presente trabalho ainda é constituído por mais quatro capítulos e por um tópico final onde é apresentada na bibliografia a documentação seguida, e que serviu de base à construção do presente documento.

No Capítulo 2, referente à revisão bibliográfica, coloca-se, em realce a importância dos solos, bem como a sua caracterização conceptual, comemorando-se no presente ano de 2015, o ano internacional dos solos. Neste capítulo está ainda explícito o que se entende por erosão, bem como o seu impacto na sociedade e no ambiente. São reportados os fatores que interferem com a erosão, dando ênfase à precipitação, topografia e propriedades do solo. Inclui-se ainda, a definição do que se entende por ravinamento, numerando as suas etapas de formação, a sua evolução morfológica e os tipos de ravina, bem como as taxas de erosão pelo processo de ravinamento.

No Capítulo 3, apresenta-se a metodologia aplicada na avaliação das características da ravina, e que serviram de base, para o estudo do ravinamento e a sua contribuição de perdas de solo por erosão hídrica.

No quarto capítulo, correspondente à apresentação e discussão dos resultados obtidos, além da apresentação e análise dos dados experimentais obtidos, faz-se uma comparação dos dados estudos com os apresentados em bibliografia.

No último capítulo são apresentadas as principais conclusões resultantes do trabalho desenvolvido, apontando-se o interesse em continuar a monitorização da ravina de

modo a esclarecer algumas hipóteses justificativas que foram colocadas ao longo do presente trabalho.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Importância dos solos

No ano de 2015 comemora-se o Ano Internacional dos Solos, sendo portanto merecedor de realce a análise da sua importância, bem como da sua caracterização conceptual.

Existem diferentes perspectivas e pontos de vista, relativamente ao que se entende por “solo”, existindo inúmeras definições, que vão desde conceitos muito sintéticos a análises muito detalhadas. Da panóplia de definições encontradas na literatura, foram seleccionadas algumas, que se apresentam a seguir, e que são bastante coincidentes quanto à sua localização (superfície da Terra), à sua constituição e ao seu papel vital para os ecossistemas e a biosfera:

- O solo é um corpo natural da superfície terrestre, independente e dinâmico, resultante da ação cumulativa dos fatores, clima, organismos (vegetais e animais), rocha mãe, relevo e tempo, designados conjuntamente por fatores pedogenéticos ou fatores de formação do solo (Pinto Ricardo, 1969/70);
- Oliveira (1988) refere-se ao termo solo, como sendo a camada superficial da crosta terrestre que foi fragmentada e meteorizada por processos físicos, químicos e biológico, tratando-se de um meio adequado para o crescimento e desenvolvimento das plantas;
- O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal, sem a qual os seres vivos não poderiam existir (Bertoni e Neto, 1990);
- O solo é geralmente definido como a camada superior da crosta terrestre, formada por partículas minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos. O solo constitui a interface entre a terra, o ar e a água e aloja a maior parte da biosfera (COM, 2006);
- Os solos estão integrados na cultura humana, e são elementos abióticos importantes da paisagem que precisam de ser conservados para as gerações futuras (Boardman e Poesen, 2006).

Os solos de qualidade em Portugal são escassos e estão seriamente ameaçados, principalmente pela selagem/impermeabilização, erosão e perda de matéria orgânica, estando o processo de erosão associado à deterioração das propriedades do solo e à

destruição da vegetação, conduzindo à desertificação (Conclusões das Jornadas sobre Proteção do Solo, 2009).

De acordo com a referência anterior, e segundo estimativas feitas ao nível das bacias hidrográficas, a taxa de erosão do solo, varia no território nacional de 7 t ha⁻¹ ano⁻¹ a mais de 18 t ha⁻¹.ano⁻¹.

2.2 Erosão dos solos

“O desgaste da superfície da terra pela chuva ou água de irrigação, vento, gelo ou outros agentes naturais ou antropogénicos abrasivos, têm a capacidade de remover material de origem geológica ou solo, de um ponto sobre a superfície da terra e depositá-lo noutra lugar”

Soil Science of America (2008)

No *Glossary of Soil Science terms* do ano de 2008 podemos encontrar a citação acima transcrita, que pode ser completada, ao afirmar-se que a erosão se refere ao destacamento e movimentação de partículas de solo ou de rochas pela água, vento, ou gravidade (Boardman e Poesen, 2006). Porém, é ainda de realçar a interferência humana, que ao alterar a composição física terrestre, pode intensificar o processo de erosão e dos seus efeitos, causando problemas socioeconómicos, ecológicos, industriais e estruturais derivados do uso da terra (Evelpidou e Vassipolopoulos, 2009).

A erosão pode afetar as funções do solo a vários níveis. As funções do solo que determinam a sua qualidade podem ser resumidas como se segue: (a) função de produção de alimentos; (b) função de filtragem de água; (c) função ecológica, uma vez que corresponde ao habitat de muitos microrganismos e armazena nutrientes; (d) função de herança, uma vez que, neles podem-se encontrar artefactos e testemunhos da história cultural do passado, do uso da terra ou modificações climáticas (Boardman e Poesen, 2006).

O processo erosivo afeta quer as áreas de onde o material é removido, quer os locais onde este é depositado. Enquanto nos primeiros, é a parte do solo mais fértil que se perde, nos segundos, o material depositado pode poluir cursos de água, assorear depósitos, soterrar campos de cultura, etc. (Oliveira, 1988).

Em geral, a erosão pode ser classificada segundo duas categorias: i) erosão geológica – erosão natural; ii) erosão acelerada – causada pelo Homem (Oliveira, 1988; Desta, 2012).

A erosão geológica é um fenómeno natural que acontece sem a intervenção do ser humano, sendo um processo permanente que contribui para as características topográficas da Terra e para a formação dos solos (Oliveira, 1988). A erosão acelerada está, normalmente associada a alterações da cobertura vegetativa natural e é causada sobretudo pelo vento e pela água (Oliveira, 1988). A erosão acelerada pode ser definida, como uma ação rápida de remoção de solo causada pela atividade humana (Desta, 2012) (Quadro 1).

Quadro 1- Causas de erosão geológica vs. Causas de erosão acelerada (Evelpidou e Vassipolopoulos, 2009).

Erosão geológica	Erosão Acelerada
Morfologia	Agricultura
Processos marinhos	Desertificação
Atividade tectónica	Deflorestação
Clima	Aumento da População
Desastres Naturais	Urbanização
	Turismo
	Políticas existentes

A água e o vento são os dois agentes por excelência, que fornecem energia ao processo erosivo, originando a erosão hídrica e a erosão eólica, respetivamente. Ao nível global, a erosão hídrica assume muito maior expressão do que a erosão eólica. No cenário nacional passa-se o mesmo, aliás a erosão eólica afeta sobretudo áreas pequenas e não é, em geral, motivo preocupante para a defesa dos terrenos agrícolas (Oliveira, 1988).

A erosão hídrica é universalmente reconhecida como uma das principais causas da degradação da terra, estimando-se que 100 000 km³ (equivalente a 10 milhões de hectares) de solos férteis são perdidos a cada ano, devido à erosão, correspondendo a uma taxa 10 a 40 vezes superior, à capacidade de desenvolvimento do solo por processos naturais (Luffman *et al.*, 2015).

A erosão hídrica é causada sobretudo pela chuva, podendo-se distinguir três tipos de erosão: erosão laminar, em sulcos e em ravinas (Oliveira, 1988; Gonçalves, 2002).

A erosão laminar, está relacionada com a remoção uniforme de partículas de solo em toda a superfície, caracterizando-se pela perda das camadas superficiais do solo devido ao fluxo de água, arrastando primeiro as partículas de menores dimensões (matéria orgânica, argila e limo). A erosão por sulcos é caracterizada pela formação de sulcos em pequenas irregularidades do terreno, onde o escoamento superficial se concentra, atingindo volume e velocidade suficiente para provocar alterações na superfície do solo. A probabilidade de ocorrência deste tipo de erosão, está relacionada, normalmente, com a permeabilidade do solo e com o grau de agregação das partículas, isto é, quanto menor for a permeabilidade e menor o grau de agregação, maior é a probabilidade de ocorrência (Gonçalves, 2002). A erosão por ravinamento deve-se à concentração de grandes quantidades de água num dado local, que acabam por abrir uma ravina (Oliveira, 1988). A ravina é um estágio muito avançado da erosão por sulcos, ocasionada por grandes concentrações de escoamento, que passam no mesmo sulco, ampliando-o em profundidade e extensão (Gonçalves, 2002).

2.3 Fatores que interferem com a erosão do solo

Bertoni e Neto (1990) definem erosão como o processo de desprendimento e arraste acelerado de partículas do solo, causada principalmente pela água, vento e atividade humana, ocorrendo com maior frequência nas camadas superficiais do solo.

Morgan (2005) refere que a erosão do solo é um processo constituído por três fases. Nas duas primeiras fases, ocorre o desprendimento das partículas do solo e consequente transporte das mesmas por agentes erosivos, como a água e o vento. A terceira fase, designada de deposição, ocorre quando não existe energia suficiente para o transporte.

A erodibilidade de um terreno depende da natureza do material do solo e da capacidade de infiltração (Rickson, 1995). A água exerce uma ação erosiva sobre o solo, por via do embate das gotas da chuva e pelo escoamento. Por sua vez, estes fatores variam com o declive e o comprimento do terreno afetado. O coberto vegetal serve de camada protetora contra o impacto direto das gotas de água (Bertoni e Neto, 1990).

A erosão hídrica ocorre sob variadas condições e pode ser intensificada, pelo resultado de diversas forças ativas como as características da precipitação, a capacidade do solo absorver a água, a topografia do terreno e ações de forças passivas, como a resistência ou a densidade do coberto vegetal (Oliveira, 1988; Bertoni e Neto, 1990).

2.3.1 - Precipitação

Os processos erosivos começam quando, as gotas da chuva que não são interceptadas pelas plantas provocam o efeito salpico (Gonçalves, 2002). A partir da superfície, a água pode infiltrar-se no solo através dos poros, se estes não se encontrarem saturados e/ou obstruídos ou então mover-se como um fluxo superficial (*runoff*), encosta abaixo, separando e arrastando mais partículas de solo. Quando a escorrência é distribuída uniformemente, ocorre o fenómeno de erosão superficial ou laminar. Geralmente, a água, tende a concentrar-se ao longo das superfícies mais baixas do solo, formando pequenos canais chamados de sulcos/regos. Estes são, por norma, pequenos e podem ser facilmente removidos por efeito da mobilização do solo. Se nada for feito, podem-se estender para o subsolo, resultando em ravinamento, processo que corresponde à formação de ravinas (Desta, 2012). Outro fator que pode induzir ao ravinamento é o aumento da velocidade escorrência, que pode ser causado por deterioração da vegetação

de uma bacia ou pela concentração de fluxo em estradas, calçadas, cursos de água etc. (Morgan, 2005).

A Figura 2 mostra as etapas do processo erosivo. Este processo inicia-se quando as gotas da chuva atingem a superfície do solo (a), a energia do impacto desintegra os agregados do solo em partículas consideravelmente menores (b), que podem selar os poros do solo levando à formação da crosta superficial (c), parte do material desagregado é transportado pela enxurrada encosta abaixo (d) (Gonçalves, 2002).

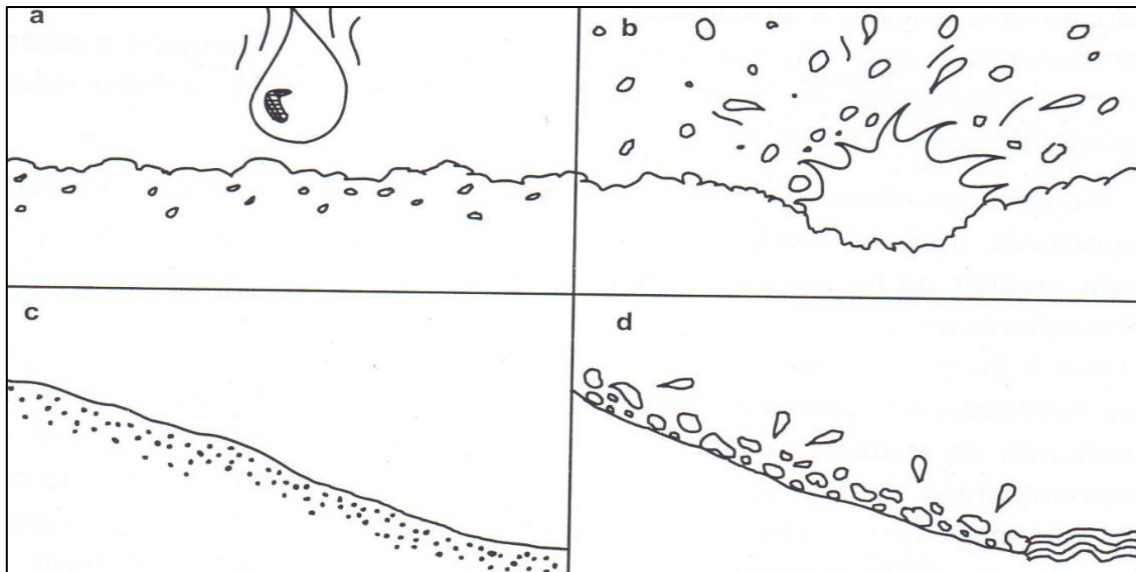


Figura 2- Etapas do processo de erosão. Fonte: Gonçalves (2002).

A precipitação apresenta-se deste modo, como um dos elementos climáticos de maior importância na erosão dos solos, e causador do processo de ravinamento, já que a queda das gotas de água se assume como o principal agente da desagregação das partículas do solo (Morgan, 2005).

O volume e a velocidade da escorrência, dependem da intensidade, duração e frequência da precipitação, sendo a intensidade o fator pluviométrico mais importante na erosão (Bertoni e Neto, 1990), uma vez que, quanto maior for a intensidade de chuva, maior será o seu poder erosivo.

Dados pluviométricos apresentados numa base mensal ou anual são pouco significativos, relativamente ao fenómeno da erosão, e a sua interpretação contrária, inevitavelmente poderá induzir em erro. Em duas regiões, com a mesma quantidade de precipitação e solos de erodibilidade semelhantes, os índices de erosão serão maiores

onde a intensidade da precipitação for maior (Bertoni e Neto, 1990). As precipitações de maior intensidade podem provocar danos na estrutura da camada superficial do solo, resultando do seu desagregamento partículas de dimensões capazes de obstruir os macroporos. Nesta situação, existirá um maior potencial de formação de escoamento superficial (Gonçalves, 2002). Fournier (1972) citado por Morgan (2005) verificou através de um trabalho realizado nos EUA, entre os anos de 1934 e 1942, que a perda de solo aumenta com o aumento da intensidade da precipitação (Quadro 2). Bertoni e Neto (1990) mostraram, através de simulações de chuva, que uma chuva intensa, por exemplo, de 50 mm em 30 minutos, implica uma perda de solo equivalente a 560 t ha⁻¹.

Quadro 2 - Relação entre a intensidade da precipitação e a perda de solo. Fonte: Fournier (1972) citado por Morgan (2005)

Intensidade (mm h ⁻¹) (máximo 5 min)	Número de chuvadas	Perda de solo (t ha ⁻¹) P
0-25,4	40	3,7
25,5-50,8	61	6,0
50,9-76,2	40	11,8
76,3-101,6	19	11,4
101,7-127,0	13	34,2
127,1-152,4	4	36,3
152,5-177,8	5	38,7
177,9-254,0	1	47,9

A distribuição da precipitação é um fator que influencia consideravelmente as perdas de solo por erosão. Se os intervalos entre chuvadas forem curtos, a humidade do solo será maior, e a capacidade de infiltração de água será mais baixa, resultando num aumento do escoamento superficial. Por outro lado, quando o espaço de tempo entre chuvadas é maior, o solo também terá maior capacidade para a água, o que irá reduzir a possibilidade de ocorrerem enxurradas, se a chuva for de baixa intensidade (Gonçalves, 2002).

A forma e tamanho das gotas da chuva também devem ser considerados. Bertoni e Neto (1990) referem alguns estudos com simuladores de chuva, demonstrando que,

aumentando o diâmetro da gota de 1 para 5 mm, a velocidade de infiltração da água diminui 70%, e as perdas de solo aumentam 120 vezes.

A erosão causada pelo impacto das gotas da chuva no solo pode ser controlada pela aplicação de *mulch* (mistura de materiais orgânicos que formam uma camada protetora), uma vez que estes simulam o efeito da cobertura vegetal. A energia cinética das gotas é interceptada e reduzida pelos componentes do *mulch*, atingindo o solo com uma velocidade mais baixa. Por outras palavras, com a aplicação da técnica de *mulch*, a incidência da chuva tem um efeito menos erosivo (Rickson, 1995).

A determinação da energia cinética da chuva natural pode ser calculada através da equação apresentada por Wischmeier e Smith (1958) citado por Morgan (2005):

$$KE = 0,0119 + 0,0873 \log_{10} I \quad (2.1)$$

Onde, I é a intensidade da precipitação (mm h^{-1}) e KE a energia cinética ($\text{MJha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)

2.3.2 - Topografia

A topografia do terreno deve ser analisada segundo três importantes características: o declive, o comprimento da encosta e a forma da encosta (Gonçalves, 2002).

O tamanho e a quantidade de material arrastado pela água dependem da velocidade do escoamento superficial, e essa velocidade, por sua vez, depende do comprimento e do declive da encosta (Bertoni e Neto, 1990).

Quadro 3 - Valores aproximados de velocidade do escoamento superficial (ms^{-1}) em diferentes coberturas. Fonte: Bertoni e Neto (1990); Gonçalves (2002).

Declive do terreno (%)	Cobertura vegetal da encosta		
	Floresta	Pastagem	Culturas anuais
0 - 4	0,30	0,45	0,60
4 - 10	0,60	0,90	1,20
10 - 15	1,00	1,20	1,50
15 - 20	1,20	1,50	1,70
20 - 25	1,40	1,60	1,80
25 - 30	1,50	1,80	1,90

Xanthakis e Pavlopoulos (2009) afirmam, que se por um lado, o declive influencia a velocidade do escoamento superficial, por outro lado, encostas mais longas são mais suscetíveis à perda de solo devido, igualmente, a um maior volume e velocidade do escoamento (Quadro 3), e conseqüentemente, maior poder de desagregação do solo e de transporte de partículas. Também, quanto maior for o declive, maior será a taxa de erosão e a drenagem superficial. A inclinação da vertente tem uma relação exponencial com a erosão, sendo que, encostas íngremes são mais propensas à erosão do solo (Xanthakis e Pavlopoulos, 2009) (Quadro 4 e Figura 3), No entanto a presença de ravinas é comum em praticamente todos os declives, exceto se próximo da perpendicularidade ou em inclinações inferiores a 2°.

Quadro 4 - Efeito do comprimento da encosta nas perdas do solo. Fonte: Gonçalves (2002).

Comprimento da encosta (m)	Perda de solo ($t\ ha^{-1}$)				Média
	0-25 m	25-50 m	50-75 m	75-100 m	
25	14	-	-	-	14
50	14	26	-	-	20
75	14	26	39	-	26
100	14	26	39	51	33

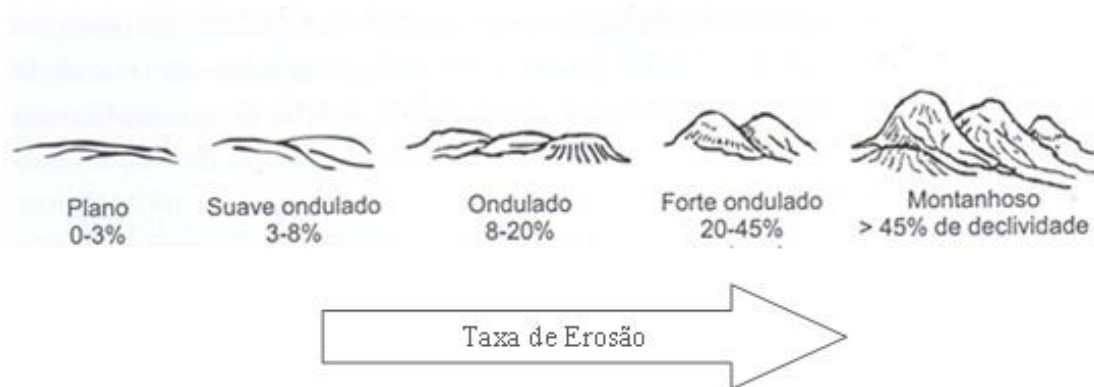


Figura 3- Tipo de relevo. Adaptado de Gonçalves (2002).

Um outro aspeto a mencionar relativamente à topografia é a morfologia da encosta, que também vai influenciar o processo de erosão, sobretudo na convergência e/ou divergência do escoamento superficial (Figura 4). As formas côncavas favorecem a convergência das águas, provocando uma erosão mais localizada, com tendência à formação de sulcos e ravinas, as formas convexas favorecem a divergências das águas, sendo a erosão mais uniforme (Gonçalves, 2002).

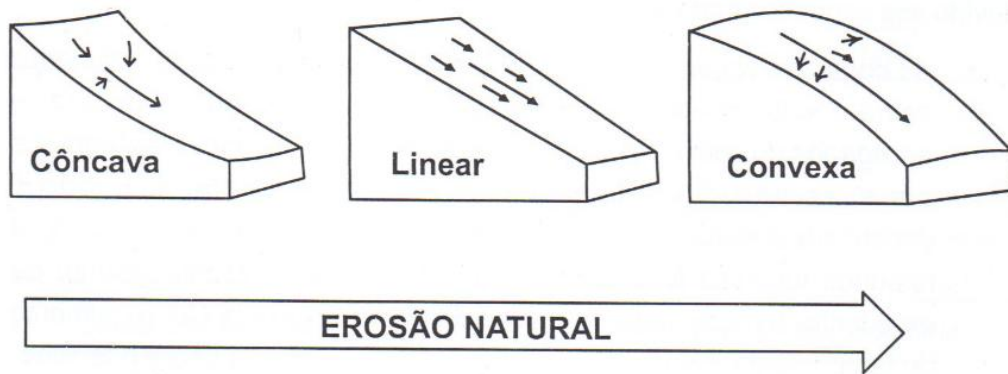


Figura 4- Influência da forma da encosta sobre a erosão. Fonte: Gonçalves (2002).

2.3.3- Propriedades do solo

A erodibilidade do solo varia de acordo com as propriedades do solo, por exemplo, com a textura, densidade, teor de matéria orgânica, estabilidade dos agregados, capacidade de infiltração, propriedades químicas e transportabilidade de partículas de solo solto (Xanthaki e Pavlopoulos, 2009).

A textura do solo influencia a sua erodibilidade, uma vez que, um solo arenoso, com espaços porosos grandes (macroporos), durante uma chuvada de baixa intensidade pode absorver toda a água, mas por outro lado, como contém um baixo teor de argila as partículas grandes tendem a estar soltas, podendo um pequeno volume de escoamento superficial arrastar uma grande quantidade de solo. Se se tratar de um solo argiloso, com espaços porosos bem mais pequenos (microporos), a infiltração da água é reduzida, provocando uma maior escorrência superficial, mas como a força de coesão entre partículas é maior, o material erodido é menor (Bertoni e Neto, 1990).

Durante uma chuvada, a velocidade máxima de infiltração ocorre no início (Figura 5), decrescendo gradualmente até um valor mínimo, determinado pela velocidade com que a água pode entrar na camada superficial e pela velocidade com que penetra através do perfil do solo (Bertoni e Neto, 1990).

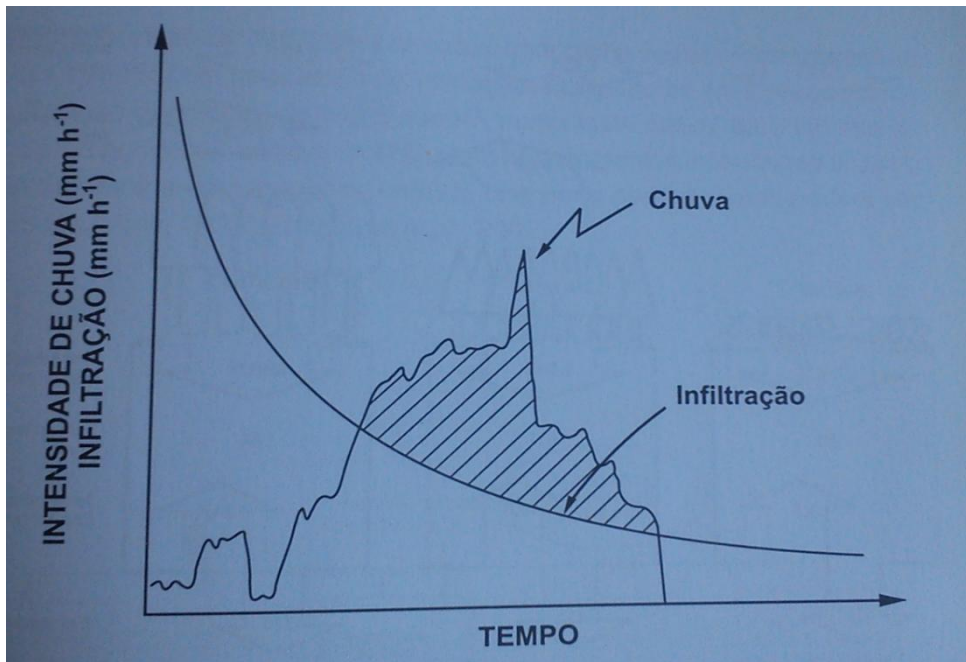


Figura 5- Relação entre a capacidade de infiltração de água do solo e a intensidade de chuva ao longo do tempo. A área rasurada representa o total de água potencialmente disponível para constituir o escoamento. Fonte: Gonçalves (2002).

A cobertura vegetal tem um papel importante, na capacidade de infiltração e armazenamento de água, porque pode funcionar como a defesa natural de um solo contra os agentes erosivos. Se uma precipitação intensa incide sobre um solo, quando este não está protegido, quer por vegetação vegetal quer por vegetação morta ou elementos grosseiros, a camada superficial do solo pode sofrer compactação devido ao impacto direto das gotas da chuva, e a infiltração será reduzida. Por outro lado, se quando a chuva incide sobre um solo, existir um bom coberto, este permanece com boa permeabilidade e terá maior velocidade de infiltração (Bertoni e Neto, 1990).

A permeabilidade do solo, conjuntamente com a capacidade de armazenamento de água (normalmente correlacionada com a espessura do perfil do solo), determina a quantidade/volume do escoamento. De acordo com Gonçalves (2002) a permeabilidade do solo é comumente condicionada por:

- a) Encrostamento superficial causado pelo impacto das gotas da chuva;
- b) Subsolos compactados ou adensados;
- c) Leitões rochosos.

Quanto mais próximo da superfície estiver a camada de impedimento físico, menor é a quantidade de água necessária para que o solo fique saturado, e conseqüentemente seja causado o início do escoamento (Gonçalves, 2002).

Bertoni e Neto (1990) destacam que os atributos que mais influenciam o processo de erosão pela água, são aqueles que afetam a permeabilidade do solo e a sua capacidade de armazenamento, bem como aqueles que conferem ao solo resistência à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte do escoamento superficial.

Adicionalmente, outro fator que também condiciona o processo erosivo do solo, e que assume elevada importância, é a capacidade do escoamento superficial desprender as partículas do solo. A referida capacidade, depende da velocidade da escorrência, turbulência e da quantidade e tipo de material abrasivo que carrega. A velocidade aumenta com a quantidade de escorrência e com o aumento do declive do terreno. Por sua vez, a turbulência do escoamento superficial aumenta de acordo com o acréscimo da intensidade da precipitação. Por fim, a capacidade abrasiva depende da energia do fluxo da água e da quantidade e tipo de material arrastado no escoamento superficial.

Aquando da escorrência, forças horizontais atuam sobre as partículas na direção do fluxo, despreendendo estas do solo e conseqüentemente arrastando-as. Como o escoamento superficial se concentra nas depressões do terreno, aí o fluxo de água torna-se mais turbulento e as diferentes velocidades e pressões causam correntes verticais e redemoinhos. O movimento ascendente da água desprende as partículas por ação elevatória. O despreendimento pela abrasão ocorre quando as partículas, já em suspensão no escoamento superficial, golpeiam e arrastam mais partículas da superfície do solo colocando-as em movimento. A quantidade de material transportado varia com a capacidade de transporte do escoamento superficial, que é influenciada pelo tamanho, densidade e forma das partículas do solo e pelo efeito de retardamento da vegetação e de outros obstáculos (Bertoni e Neto, 1990).

2.4 Conceito de Ravina e Ravinamento

Existem diversas definições de ravina que são apresentadas referindo-se a diferentes propriedades, desde o comportamento hidrológico, morfologia, posição topográfica e relação com as atividades humanas. Estão quase sempre associadas à erosão acelerada e portanto, à instabilidade da paisagem. Alguns exemplos de definição, presentes na literatura, são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5- Definição de Ravina

Definição de Ravina	Autores
<i>"Canal de lados íngremes, muitas vezes com forte inclinação e em processo de erosão"</i>	Poesen (1998)
<i>"Um canal de drenagem relativamente permanente, de paredes declivosas, e que regista escoamento efêmero em contextos de alimentação em precipitação"</i>	Morgan (2005)
<i>"Uma incisão ao longo de uma linha de drenagem que apresenta sinais claros de degradação, com uma cabeceira constituindo uma quebra bem definida no declive"</i>	Hancock e Evans (2006)
<i>" Canal erodido pelo fluxo concentrado mas intermitente de água, habitualmente durante e imediatamente após a ocorrência de chuvas intensas. Sendo profundo o suficiente (normalmente > 0,5m) para interferir com a lavoura normal e não ser por ela eliminado "</i>	Soil Science of America (2008)

Relativamente à definição com base na dimensão da área da secção, Poesen (1993) considera que as ravinas apresentam áreas de seção superiores a 1 m², enquanto Figueiredo (2009) considera como ravinas, incisões na superfície do solo com áreas de seção superiores a 0,09 m².

O ravinamento pode ser definido como o processo erosivo pelo qual o fluxo superficial se acumula em canais, de forma frequentemente recorrente e em períodos curtos, removendo o solo dessa área até profundidades consideráveis (Poesen et al., 2006; Soil Science of America, 2008)

Bertoni e Neto (1990) consideram o ravinamento, como uma forma espetacular da erosão, ocasionado por elevadas concentrações de escorrência que passa, ano após ano,

no mesmo sulco. O sulco vai aumentando pelo deslocamento de grandes massas de solo, formando grandes cavidades em extensão e profundidade, podendo atingir uma área superior a 20 hectares e mais de 5 metros de profundidade.

Quando os horizontes do solo são de consistência uniforme, a ravina forma-se com paredes mais ou menos verticais, e se o material for muito friável fica sujeito a frequentes desmoronamentos. Quando o material dos horizontes mais profundos é mais resistente que o horizonte superficial, as ravinas apresentam as paredes em forma de V (Bertoni e Neto, 1990)

2.4.1 Formação de Ravinas

“A formação de ravinas está quase sempre associada a paisagens instáveis “

- Morgan (2005).

Guerra (2012) faz referência a um livro de Selby de 1993, *Hillslope Materials and Processes*, que conceitua muito bem todo o processo de erosão dos solos. Segundo a bibliografia indicada, um sulco pode aprofundar e alargar o seu canal, ou seja, evoluir até uma ravina, definida como uma expansão de um canal de drenagem, o qual caracteriza um fluxo efêmero de água, possuindo laterais íngremes, cabeceira vertical, largura maior do que 30 cm e atingindo profundidades superiores a 60 cm. As ravinas, segundo Selby (1993), podem surgir numa rutura da encosta, ou em áreas onde a vegetação superficial é removida. É mais frequente em materiais, tais como: solos profundos, solos de origem vulcânica, aluviões, coluviões, cascalho, em áreas não consolidadas e detritos resultantes de movimentos de massa. Aponta ainda que o aumento do escoamento superficial conjuntamente com a remoção do coberto vegetal, o aumento das terras queimadas e o sobre pastoreio, podem dar origem à erosão por ravinas.

De acordo com a Figura 6, o aumento da concentração do fluxo, e o aumento da sua velocidade encosta abaixo, vai originar um alargamento e aprofundamento do canal, transformando os sulcos em ravinas. As ravinas podem surgir de qualquer depressão, tal como de caminhos de passagem de animais ou mesmo a partir de percursos pedestres (Desta, 2012).

Algumas ravinas formam-se a partir do desabamento de túneis, sendo este fenómeno recorrente em solos sódicos. O escoamento interno flui através de macroporos e fissuras

(causadas muitas vezes pela passagem de animais subterrâneos), atingindo as camadas menos permeáveis do solo sódico. Dada a fraca permeabilidade do solo vão-se formando fluxos contínuos, levando à desagregação das partículas e à formação e alargamento de túneis. Se existir uma continuidade de fluxos, o túnel formado acabará por colapsar, formando desta forma uma ravina (Desta, 2012).

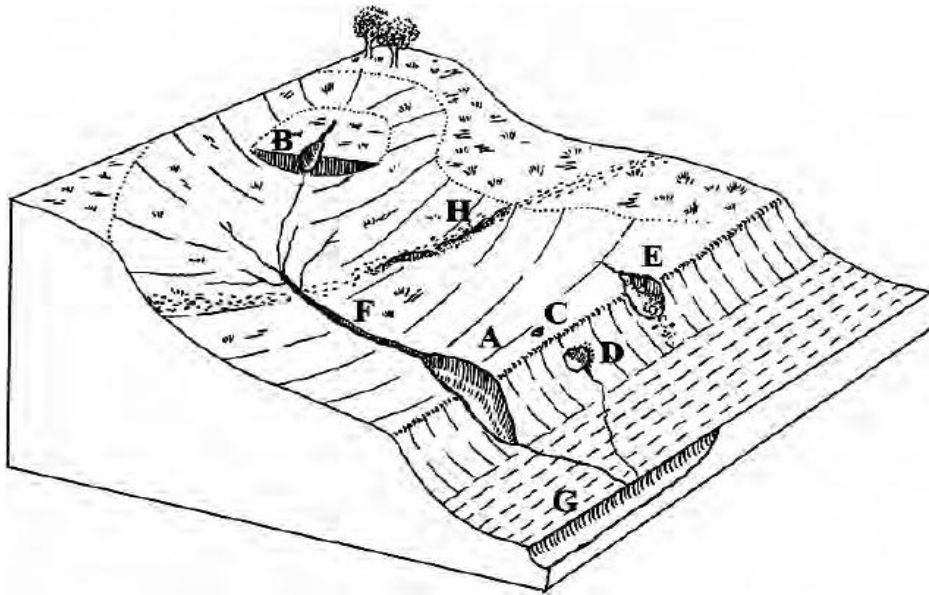


Figura 6- Contextos topográficos do surgimento de ravinas. A- ravina de desnível em margem de curso de água; B- ravina de desnível em terraço; C- entrada de tubo (pipe); D- desembocadura de tubo; E- ravina de desnível recém-formada pelo colapso de um tubo. F- ravina de fundo; G- ravina de fundo do tipo arroyo; H- ravina de vertente associada a um trilho de gado. Fonte: Bergonse e Reis (2011).

As ravinas de vertente formam-se devido à presença de irregularidades na superfície do terreno ou devido a um aumento da erodibilidade do solo. As ravinas de desnível estão associados a ruturas de declive, que proporcionam uma maior velocidade do escoamento e por conseguinte um aumento do seu poder erosivo (Vandekerckhove *et al.*, 2000).

Na Figura 7, pode-se observar diversas fases do desenvolvimento de uma ravina numa encosta (Morgan, 2005). Numa primeira fase, devido a pastoreio ou fogo, há uma redução da cobertura vegetal, tornando essa zona suscetível aos processos erosivos, e consequentemente levando à formação de depressões. Com os fluxos superficiais contínuos, a erosão vai-se concentrando na zona imediatamente a seguir ao início da

redução da vegetação, denominada como cabeceira da depressão, conduzindo à formação gradual de uma escarpa. Neste processo existem perdas de solo ao nível do perfil transversal, centrando-se contudo na sua base, devido ao efeito de abrasão, que se traduzirá no aprofundamento do canal e na instabilidade da cabeceira da depressão, acabando por resultar no colapso e recuo da escarpa.

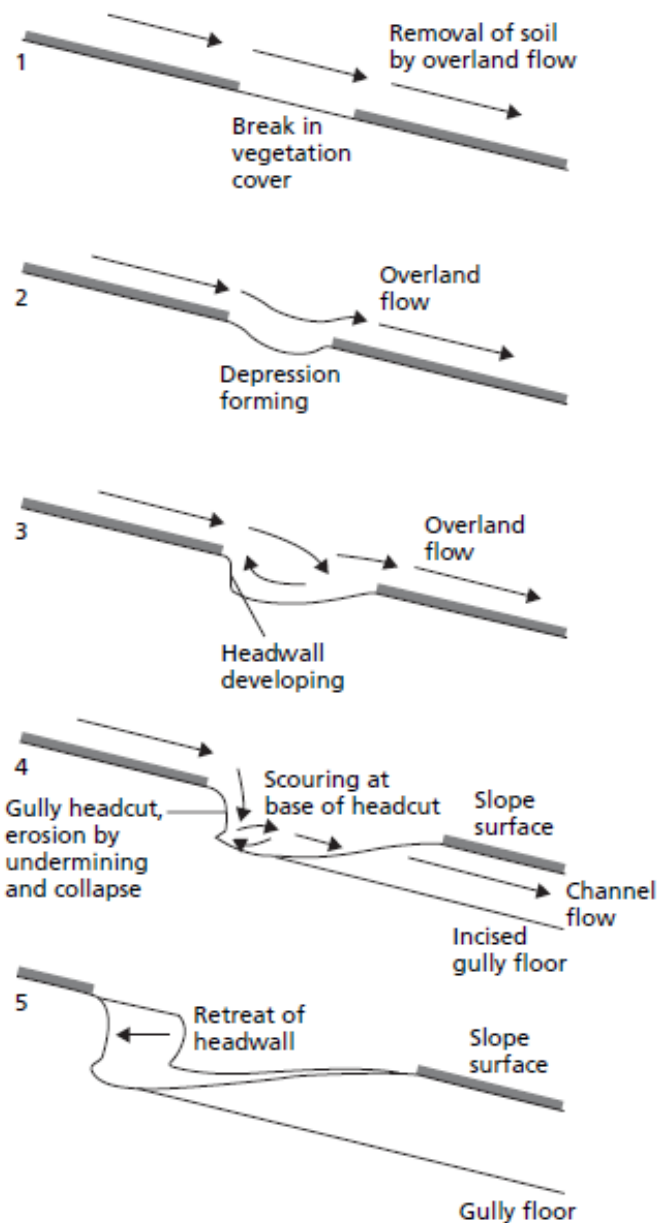


Figura 7- Fases de desenvolvimento de uma ravina numa encosta. Fonte: Morgan (2005).

Desta (2012) reconhece quatro fases do desenvolvimento das ravinas:

Fase 1: Fase de formação – nesta fase, a erosão dá-se na parte superior do sulco, e em direção ao declive, à medida que a escorrência se vai concentrando. Esta fase é a mais lenta;

Fase 2: Fase de desenvolvimento – nesta etapa ocorre movimento a montante da cabeceira da ravina e aumenta a largura e a profundidade. A ravina corta o horizonte C, e o material de origem é erodido rapidamente;

Fase 3: Fase de cura – A vegetação começa a crescer na ravina;

Fase 4: Fase de estabilização – A ravina atinge um gradiente estável, as paredes da ravina atingem uma inclinação estável e a vegetação desenvolve-se sobre o talvegue da ravina ancorando o solo e permitindo o desenvolvimento de um novo horizonte superficial.

Sidorchuk (1999) faz referência a uma experiência relacionada com a formação de uma ravina em areia, mostrando que, a primeira fase de formação é relativamente curta, correspondendo a cerca de 5% do tempo de vida de uma ravina, mas onde mais de 90% do seu comprimento, 60% da área e 35% do volume da ravina são formados nesse período. No restante tempo o período de formação é praticamente estável do ponto de vista morfológico (Figura 8).

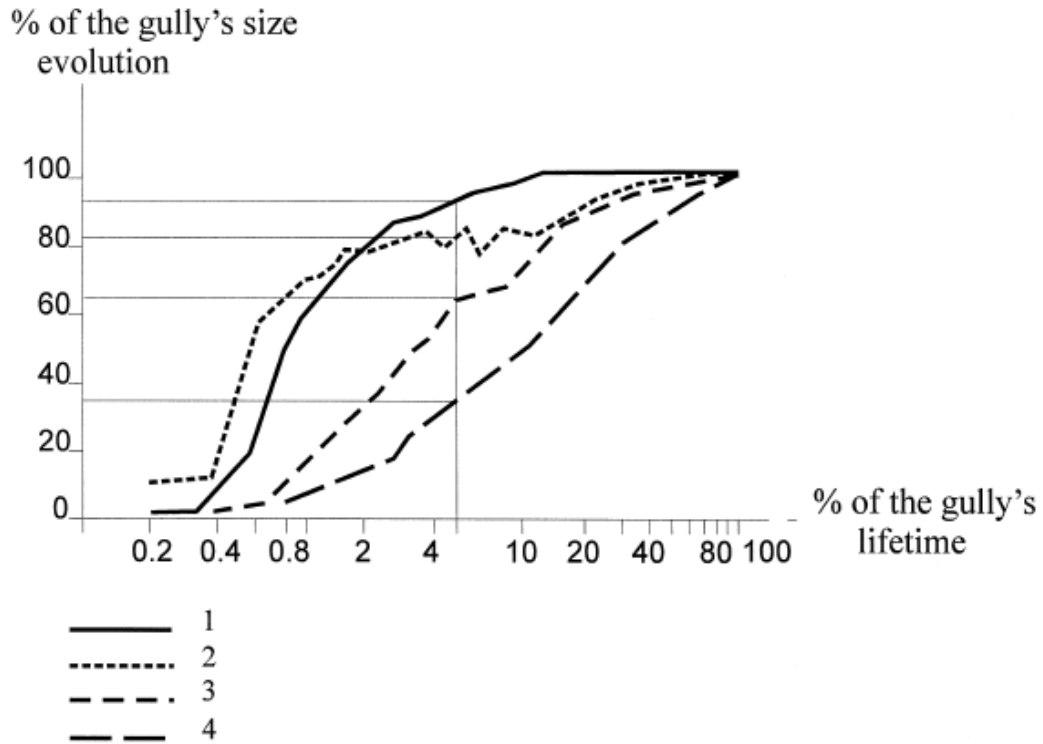


Figura 8- Evolução morfológica de uma ravina durante o seu tempo de formação. 1- comprimento; 2- profundidade; 3-área; 4- volume. Fonte: Sidorchuk (1999).

De uma revisão de estudos em Wyoming, Colorado, New México e Arizona, apresentada por Morgan (2005), foi estabelecida uma função discriminante que relaciona condições estáveis e instáveis, em termos do tamanho da área incidente – área de drenagem (A), que controla a descarga, inclinação do canal (S), que controla a velocidade do escoamento. Quando, para uma dada área de incidência, a inclinação do canal excede o valor crítico, o ravinamento/incisão ocorre, originando um canal caracterizado pela presença de uma ou mais escarpas. Subseqüentemente, a abrasão torna a ravina mais ativa, verificando-se uma ampliação, aprofundamento e extensão do canal. Com o passar do tempo a inclinação do canal vai diminuindo, promovendo uma fase de consolidação em consonância com a estabilização da ravina. O canal preenche-se, as paredes e a cabeceira da ravina atenuam e a vegetação começa a crescer. A deposição torna o declive íngreme e desencadeia novamente uma nova fase de ravinamento. Posto isto, e com base no enunciado é legítimo afirmar-se que as ravinas passam por sucessivos ciclos de erosão e deposição. Não se constitui como fenómeno incomum, que enquanto a cabeceira da ravina esteja extremamente ativa, a secção inferior se encontre estabilizada, ou até mesmo que uma ravina apresente alternância entre seções estáveis e instáveis (Morgan, 2005).

Moore *et al.* (1988) estabeleceu uma relação S - A crítica do efeito de ravinamento, onde:

$$SA^b > t \quad (2.2)$$

Sendo t o valor crítico de ravinamento. O valor crítico varia de acordo com o tipo de cobertura vegetal, estrutura e humidade do solo, e apresenta valores superiores em área de cultivo quando comparados com áreas não cultivadas, significando que, em áreas cultivadas a ocorrência da formação de ravinas está mais relacionada com o declive e o tamanho da área de drenagem (Poesen *et al.* 2003). A variável b está relacionada com os processos operacionais na zona de incidência. Valores $> 0,2$ estão associados a erosão por fluxos superficiais, enquanto, valores $< 0,2$ indicam processos subsuperficiais e movimentos de massa.

Vandekerckhove *et al.* (1998) com base em estudos realizados no Nordeste de Portugal e Sudeste de Espanha mostraram que o início da formação de ravinas depende das condições topográficas, tais como, a inclinação do local e a área de drenagem para o “ponto de partida” do ravinamento. Com base nestes estudos, estabeleceu uma relação área (ha) – declive (mm^{-1}) (A - S), resultando:

$$S = aA^b \quad (2.3)$$

Onde a corresponde ao coeficiente de determinação e, b à significância para o coeficiente de correlação. Para Portugal, a partir de medições de 50 bacias de drenagem, resultou na relação: $S = 0,102 A^{0,226}$.

Esta relação entre a área e o declive, proposta por Vandekerckhove *et al.* (1998) descreve as condições topográficas limites para a iniciação do processo de ravinamento em áreas cultivadas do Mediterrâneo, onde a força principal é a erosão por escoamento superficial.

Boardman e Poesen (2006) afirmam que, em termos temporais, a formação de uma ravina pode durar meses e requer uma precipitação acumulada superior a 450 mm, ou simplesmente, pode ocorrer durante uma tempestade severa. Assim, a formação de uma ravina depende sobretudo da quantidade de escoamento superficial que possa ocorrer.

O desenvolvimento das ravinas em profundidade depende da existência de material suscetível de ser transportado por ação erosiva, que por sua vez, varia em função do tipo de substrato existente. Soares (2008) citado por Martins *et al.* (2015) afirma que a presença de material pouco coeso, como depósito de vertente ou mantos de alteração,

(material derivado da alteração *in situ* - formações autóctones) se apresentam como um fator muito importante no desenvolvimento e na formação de ravinas. Existindo uma relação direta entre a presença de ravinas profundas e a existência de mantos de alteração (Martins, 2009, Martins *et al.*, 2015).

Pedrosa e Martins (2011), afirmam que no Norte de Portugal, em zonas de montanha a formação de ravinas é derivada não só da mecanização do Homem, que é muitas vezes acrescida pelo desaparecimento da vegetação, como também pela existência de depósitos que regularizam as vertentes.

Alguns estudos, como Martins *et al.* (2015) demonstram que os fatores antropogénicos são fundamentais na instalação e na rápida evolução de ravinas, através da desflorestação, incêndios, remoção da vegetação ou pela construção de estradas. Os referidos fatores provocam, na maioria das vezes, uma concentração da escorrência e diminuição da infiltração.

2.4.2 Tipos de ravinas

Poesen (1993) subdivide as ravinas em efémeras e permanentes, com base num critério de divisão relacionado com o uso agrícola do solo e as dimensões que assumem. Com base nestes critérios pretende-se distinguir ravinas que são facilmente eliminadas pelos trabalhos de mobilização do solo (como a passagem de arados), das que, pelo seu maior tamanho, implicam uma intervenção mais complexa (Foster, 1986).

As ravinas efémeras caracterizam-se por ocorrerem ao longo de incisões no solo cujas secções transversais são muito maiores que a profundidade. Não apresentam as paredes laterais e a cabeceira bem definidas, com dimensões variáveis, caracterizando-se por remoções de solo em profundidade e pela acumulação de escorrência. Por outro lado, as ravinas permanentes ocorrem em linhas de drenagem bem definidas, de dimensões consideráveis. As secções transversais são estreitas relativamente à profundidade, com paredes laterais abruptas e cabeceiras proeminentes (Foster, 1986; Poesen, 1993).

Para além das duas divisões enunciadas anteriormente, Poesen (1989) considera ainda as “ravinas de fundo de vale”, como sendo as que se desenvolvem sobretudo em áreas de maior concentração de escorrência, devido à ocorrência de eventos de precipitação intensa em áreas relativamente planas.

Considerando a sua dinâmica temporal de formação/persistência no terreno e alguns parâmetros morfométricos, como as margens evidentes e cabeceiras abruptas, Bull e Kirkby (1997) citado por Fernandes (2014), fazem uma classificação em sulcos, canais efêmeros e canais permanentes. Poesen (2003) acrescenta ainda a designação de *bank gullies* para identificar ravinas que se desenvolvem por recuo das cabeceiras, em taludes de elevado declive.

Bergonse e Reis (2011) fazem distinção entre ravinas de fundo de vale, de vertente e de desnível, que se caracterizam por uma concentração de escorrência em setores topograficamente condicionados. Na Figura 9 estão ilustradas as localizações típicas dos vários tipos de ravinas.

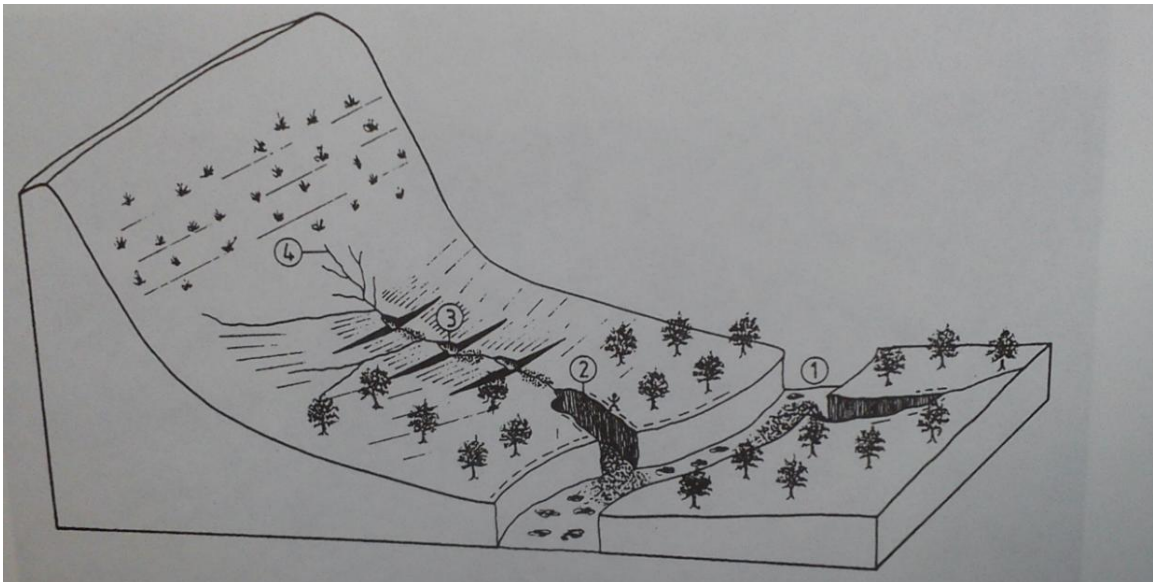


Figura 9 - Esboço de uma paisagem do sul da Europa que ilustra a localização típica dos vários tipos de ravinas 1- canal do rio; 2- ravina que se desenvolveu na margem do rio e a cabeceira que recuou para um pomar; 3- ravina que se desenvolveu num socalco; 4- ravina efêmera em terras cultivadas ou ravina permanente em pastagens. Fonte: Poesen *et al.* (2006).

2.4.3 Taxas de erosão

Apesar das ravinas removerem grandes quantidades de solo, o seu efeito é pouco significativo numa macro análise. Zachar (1982) afirma que a densidade das ravinas não é superior a 10 km km^{-2} (Quadro 6), e a área superficial abrangida pelas ravinas raramente é superior a 15% da área total. Este pressuposto, indicia um contraste entre a taxa de erosão individual de uma ravina e a sua contribuição para a perda de solo de uma área.

Quadro 6 -Classificação da erosão por ravinamento. Fonte: Zachar (1982).

Grau de erosão	Parâmetro de erosão		
	Densidade das ravinas (km km ⁻²)	Taxa de ravinas (%) ou (ha km ⁻²)	Número de ravinas por 1 km ²
Muito ligeiro	<0,15	<0,2	<1
Ligeiro	0,15 – 0,6	0,2 – 0,9	1 – 4
Moderado	0,6 – 2,2	0,9 – 3,5	4 – 17
Severo	2,2 – 9,0	3,5 – 14,0	17 – 67
Muito severo	>9,0	>14,0	>67

Num levantamento de dados globais, Poesen *et al.* (2003) mostraram que o ravinamento contribui entre 10 a 94% para a perda total do solo de uma área, sendo os valores entre 30 a 75% os mais típicos. A contribuição das ravinas para a erosão total não é facilmente previsível, dependendo principalmente do tipo de escoamento, das características da bacia hidrográfica, das características do solo, do tamanho e forma da ravina e da encosta do canal (Poesen *et al.*, 2003; Desta, 2012).

Location	SLgully (t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	SLgully (%)	Source
Belgium, central	22.3	10	Govers and Poesen (1988)
Belgium	1.1–5.9	n.a. ^a	Nachtergaele and Poesen (1999)
France, north	n.a.	10–45	Ludwig <i>et al.</i> (1992)
Germany, south	n.a.	12–29	Auerswald (1998)
France, Normandy	n.a.	21–56	Cerdan <i>et al.</i> (2002)
France, south-east	190	n.a.	Bufalo and Nahon (1992)
Spain, north-west	1.5	26	Valcarcel <i>et al.</i> (2003)
Germany, south-west	n.a.	36	Baade (1994)
Romania	n.a.	37	Nedelcu (1999)
Belgium, central	3.6	44	Poesen <i>et al.</i> (1996)
France, north	n.a.	46–55	Auzet <i>et al.</i> (1995)
Italy, Sicily	5.0	n.a.	Capra and Scicolone (2002)
Portugal, Bragança	16.1	47	Vandekerckhove <i>et al.</i> (1998)
Spain, Guadalentin	37.6	51	Poesen <i>et al.</i> (2002)
Norway, Leira basin	12.7	55	Bogen <i>et al.</i> (1994)
Spain, Catalonia	n.a.	58	Martínez-Casasnovas <i>et al.</i> (2002)
Spain, Catalonia	123	n.a.	Martínez-Casasnovas <i>et al.</i> (2003)
Spain, Northeast	302–455	n.a.	Martínez-Casasnovas <i>et al.</i> (2003)
Spain, south-east	1.2	59	Oostwoud Wijdenes <i>et al.</i> (2000)
Belgium, central	n.a.	60	Quine <i>et al.</i> (1994)
Spain, north	64.9	74	Casali <i>et al.</i> (2000)
Portugal, Alentejo	3.2	80	Poesen <i>et al.</i> (1996)
Spain, Almeria	9.7	83	Poesen <i>et al.</i> (1996)

^aData not available.

Figura 10- Contribuição da erosão por ravinamento para as taxas de perda total de solo por erosão hídrica. SLgully (t ha⁻¹ ano⁻¹) - perda de solo por ravinamento; SLgully (%) - contribuição das perdas por ravinamento para as taxas globais. Fonte: Poesen *et al.* (2006)

Na Europa, a contribuição do ravinamento para a perda total de solo por erosão hídrica varia entre 10 e os 83% (Figura 10). Estando os fatores que controlam essa contribuição diretamente relacionados com o tamanho da área de estudo, com a, a escala de tempo considerado, o clima e a magnitude dos eventos de precipitação, a topografia e o tipo de solo e uso da terra (Poesen *et al.*, 2003; Poesen *et al.*, 2006).

Poesen *et al.* (1996) estudaram a contribuição da erosão por ravinamento para a produção de sedimentos em terras cultivadas e pastagens em três regiões distintas: Bélgica Central, Sudeste de Portugal e Sudeste de Espanha.

No caso de Portugal, a área de estudo localiza-se no Alentejo, em solos delgados de xistos vermelhos. O terreno apresenta um declive baixo, sendo que apenas 8% da área está situada em declives superiores a 10%. O valor da precipitação média anual é de cerca de 560 mm, concentrada essencialmente entre os meses de Outubro a Março, precisamente no período em os campos se encontram menos protegidos pela vegetação. Os resultados mostram que a erosão por ravinamento contribuiu com 80% para o total da produção de sedimentos, correspondendo a $3,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

No caso da região central da Bélgica, a profundidade do solo varia entre alguns centímetros e os 10 metros. Os subsolos apresentam teores de argila moderados (10 a 20%). Cerca de 4% da área de estudo corresponde a declives superiores a 10%, situando-se o valor da precipitação média anual entre 700 e 850 mm, seguindo uma distribuição aproximadamente uniforme ao longo do ano. Os resultados mostram que a erosão por ravinamento representou 44% do total da produção de sedimentos, correspondendo a $3,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Finalmente, na área de estudo do Sudeste de Espanha situada perto da cidade de Almeria, verificou-se a existência de grande quantidade de elementos grosseiros na zona superior do ensaio (20 a 50% da cobertura), com solos de textura franco-arenosa. Ao nível da vegetação foi apontada a escassez da mesma, contando com a presença de algumas plantas anuais e arbustos. O declive da área em estudo varia entre os 3% nas zonas mais baixas e 20 a 25% nas zonas mais altas, sendo que 30% do total da área de estudo se encontra em declives superiores a 10%. Os resultados mostram que a erosão por ravinamento contribuiu com 83%, para o total da produção de sedimentos, correspondendo a $9,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Poesen *et al.* (2006) referem que a perda de solo originada pela erosão por ravinamento está longe de ser insignificante, principalmente em áreas de cultivo abandonadas em ambientes Mediterrânicos.

Valcarcel *et al.* (2003) estudaram a perda de solo por ravinamento no Noroeste de Espanha, mais precisamente numa área da província da Galiza, com inclinação entre os 6,1 e os 16,8%. O desenvolvimento das ravinas foi impulsionado por operações agrícolas. A área das seções transversais oscilou entre 0,13 e 0,26 m² e os valores médios da razão largura/profundidade variavam entre 1,63 e 11,97. A erosão por ravinamento levou a perdas significativas variando entre os 2 e os 5 m³ ha⁻¹.

Os resultados de um caso de estudo realizado em Bragança mostram que as perdas de volume de solo por erosão variam entre 6 a 28 m³ ha⁻¹, o que corresponde a uma perda total de solo por erosão de 31 a 83%. A contribuição da erosão por ravinamento, para a erosão total de uma área tende a aumentar com o aumento do tamanho da área de drenagem e com a diminuição da inclinação da área (de Figueiredo, 2009).

3. Material e Métodos

3.1 Área de estudo

A ravina em estudo localiza-se entre o vale do Rio Beça e do Rio Tâmega, a norte da população de Seirós, pertencente à freguesia de Canedo do concelho de Ribeira de Pena (Figura 11). Encontra-se numa área onde são observáveis processos erosivos. A escolha da ravina para estudo, correspondeu à ravina com um desenvolvimento mais recente e, consequentemente de menores dimensões. Encontra-se a uma altitude de aproximadamente 600 m. (Figura 118)

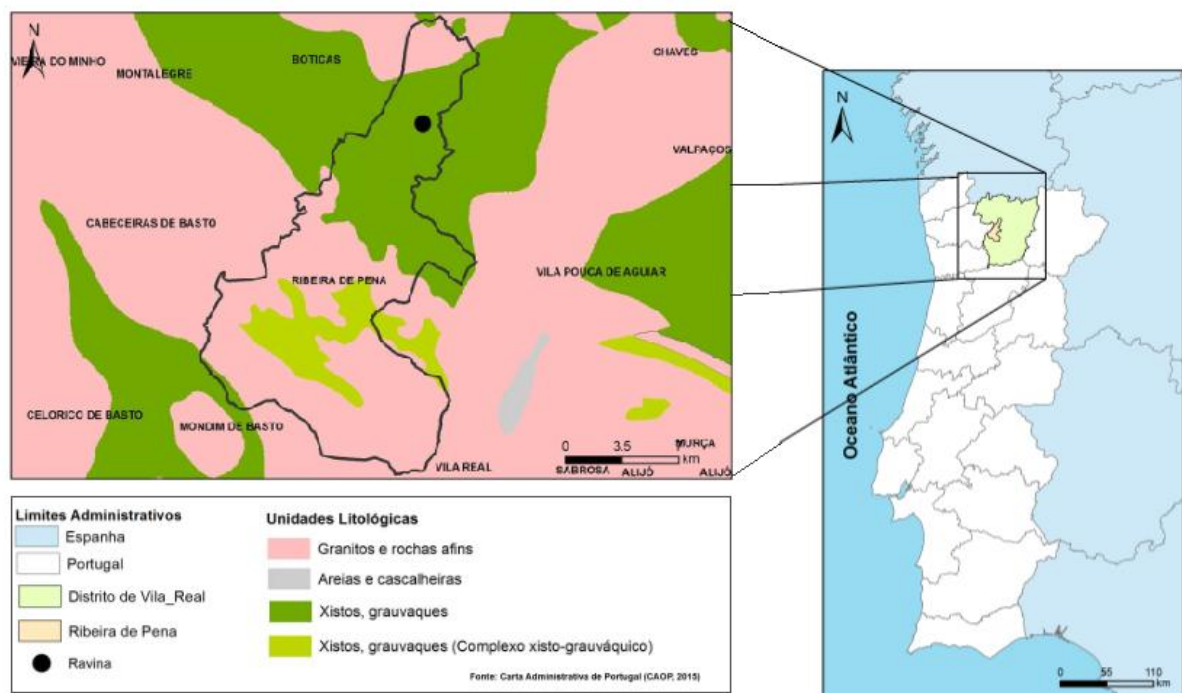


Figura 11- Mapa litológico: localização da ravina. Obtido com recurso ao ArcGis10.1

Com já referido, a presença de formações superficiais, depósitos de vertente ou mantos de alteração, apresentam-se como um fator muito importante no desenvolvimento e evolução das ravinas. Aliás, a ravina estudada é um belíssimo exemplo, por se desenvolver num depósito de vertente, abaixo dum caminho de terra batida (e uma vala) que dão acesso a campos de cultivo circundantes (Figura 12). Numa primeira vista, os referidos elementos podem ser apontados, como a principal causa de formação da ravina no local.



Figura 12 - Localização da ravina em estudo em campo.

De modo a tentar determinar há quanto tempo a ravina se formou, procedeu-se a uma análise do local, através da ferramenta *Google Earth* (Figura 13). Foram analisadas cinco imagens, correspondendo essas imagens aos anos de 2002, 2006, 2010, 2011 e 2013, que indicam que a ravina possivelmente se formou durante um período de 12 anos (desde 2002 até 2013),

Com base na análise das imagens selecionadas, consegue-se perceber que no ano 2010 a ravina já existia, e que adicionalmente não se verificou a ocorrência de incêndios nessa

zona. Como a imagem de 2006, não é suficientemente elucidativa para a percepção sobre se a ravina já estaria ou não formada, é legítimo afirmar-se que o período de formação da ravina está compreendido entre os anos de 2002 e 2010, e que a sua formação não se deveu a uma acumulação anormal de fluxos superficiais devido à falta de vegetação, resultante da ocorrência de incêndios florestais. Comparando a imagem de 2002 com a de 2006 percebe-se uma alteração do coberto vegetal, o que poderá ter encaminhado a formação da ravina. No ano de 2011, a ocorrência de um incêndio florestal, poderá ter proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento da ravina, quer em profundidade como em extensão.

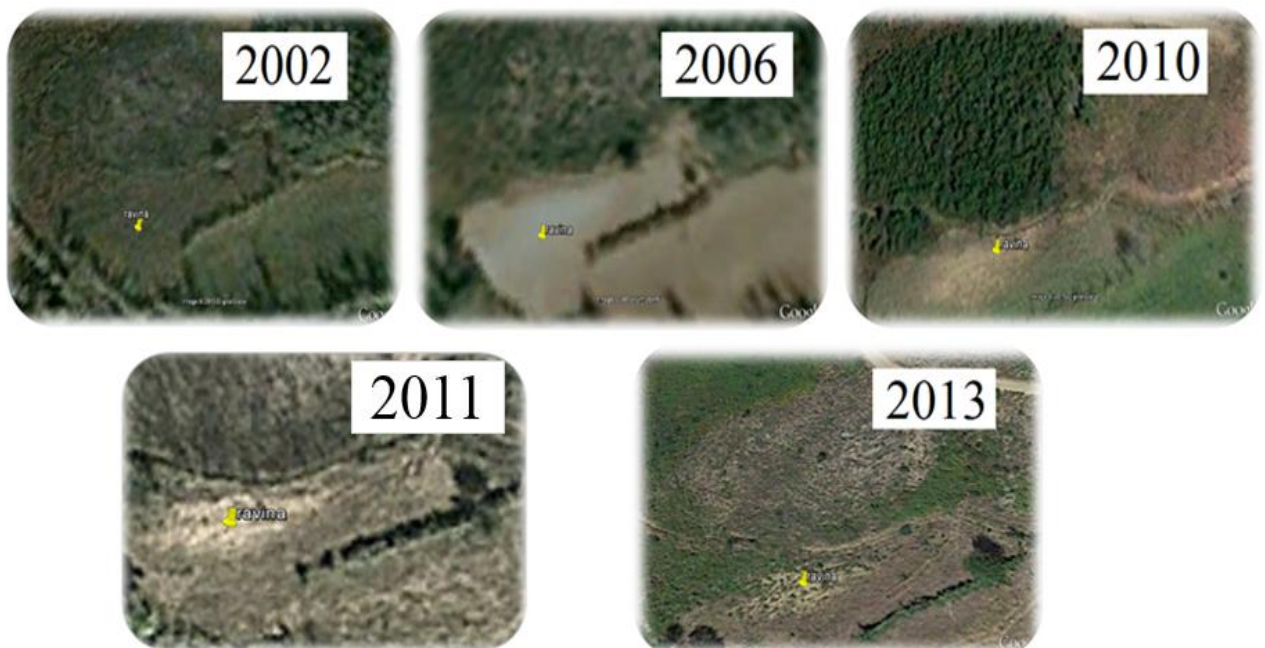


Figura 13- Imagens do local da ravina, usadas para determinar o tempo de existência da ravina. (imagens retiradas do Google Earth).

3.2 Análise das características das ravinas

Para a análise das características das ravinas procedeu-se à recolha de dados no campo e de informação de base cartográfica.

A recolha de dados no campo teve como objetivo possibilitar uma visão direta dos processos de erosão que estão a ocorrer ou ocorreram na área em estudo, viabilizando a estimativa relativamente às taxas de perda de solo, que podem ser utilizadas para avaliar e, eventualmente classificar o estado de degradação do solo.

Com a recolha desta informação, foi possível determinar a localização geográfica (numa carta de curvas de nível), a geometria e forma das seções transversais. Esta informação conjuntamente com a análise das amostras de solo colhidas no campo permitiu atingir e concretizar o objetivo inicial proposto para este trabalho - estimar a perda de solo por ravinamento.

3.2.1 Geometria da Ravina

Com o auxílio de uma fita métrica determinou-se o comprimento da ravina, desde o ponto mais a montante até à extremidade mais a jusante (comprimento superior a 25 m). Com o auxílio de um clinómetro determinou-se o declive do terreno (cerca de 20 %).

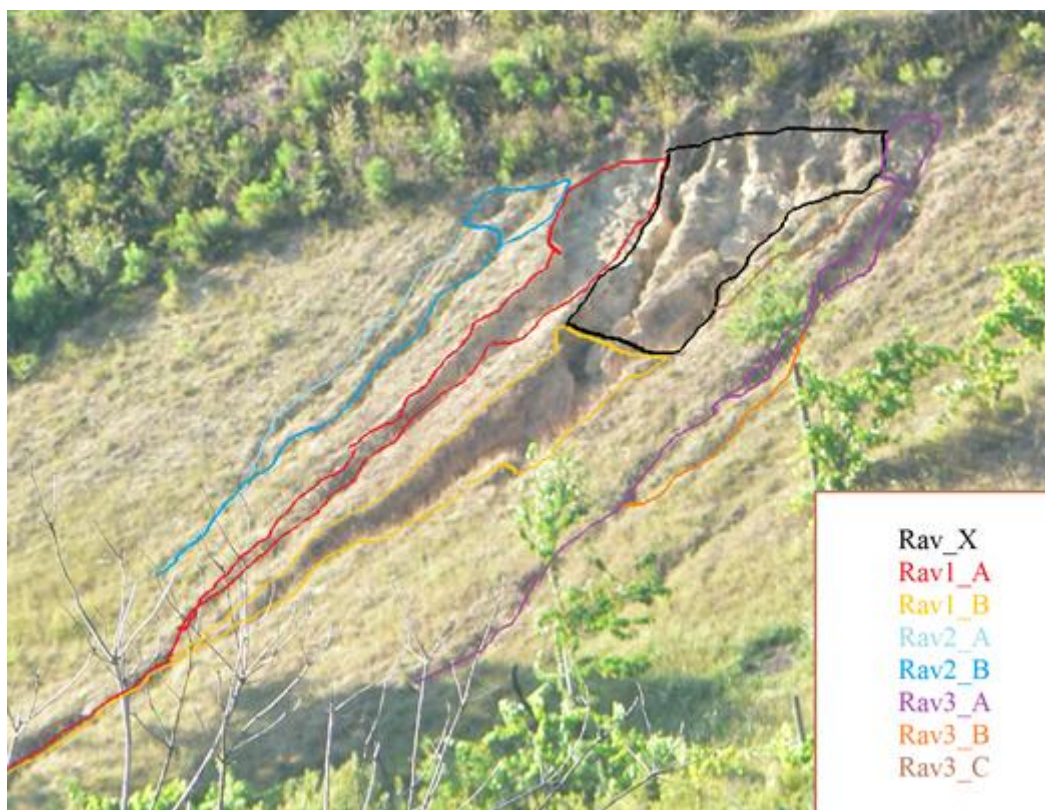


Figura 14- Simbologia utilizada para a identificação das incisões da ravina em estudo.

O processo de ravinamento conduziu à formação de uma ravina de apenas alguns centímetros de profundidade e, que ao longo da sua extensão se vai desenvolvendo em mais três ravinas.

De modo a conseguir identificar corretamente cada uma das ravinas, foram atribuídos os códigos de ravina 1, ravina 2 e ravina 3. Além do referido código, adicionalmente a

cada uma das divisões foi atribuída uma letra, por exemplo, a ravina 1 que é constituída por duas ravinas, passa a ser designada de Rav1_A e Rav2_B (Figura 14).

Foi ainda atribuído a designação de Rav_X, correspondente à parte superior da Rav2_B que se une a montante à Rav1_A e à Rav3_A.

Para a construção, e posterior análise do perfil das ravinas foram realizadas medições da profundidade e comprimento de cada uma das incisões definidas, processo que será explicado no capítulo 3.2.4 relativo à metodologia utilizada para o cálculo do volume. Para a realização do perfil topográfico de cada incisão utilizaram-se os valores acumulados da profundidade (cm) e os valores do comprimento (m).

3.2.2 Recolha e tratamento de amostras de solo.

Foram colhidas amostras de solo, perturbadas e não perturbadas, na parede da ravina, Rav1_B, nas profundidades 20, 40, 45, 60, 100 e 105 cm.

As amostras não perturbadas foram colhidas com o auxílio de um cilindro de 100 cm³, sendo colocadas posteriormente em estufa a 105°C durante 48h, com vista à determinação da densidade do solo. As amostras perturbadas foram colocadas em estufa a 55°C, também durante 48h e posteriormente foram submetidas a um processo de crivagem durante 10 minutos, induzido por um agitador a 70/80 vibrações por minuto (Figura 15).



Figura 15- Agitadores de peneiros e colunas de peneiração utilizados no Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Bragança (esquerda) e no Laboratório de Geografia da Universidade de Coimbra (direita).

3.2.2.1- Frações granulométricas das amostras de solo

No Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Bragança, as amostras foram separadas em elementos grosseiros e terra fina. No Laboratório de Geografia da Universidade de Coimbra procedeu-se à separação granulométrica das frações anteriores, em, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 e menores que 0,063 mm. Para a classificação das diferentes frações granulométricas foi utilizada a escala de Wentworth (Figura 16).

Classificação de Wentworth		Escala fi	Escala mm	Classificação compósita	
Português	Inglês			Português	Inglês
Bloco	Boulder	-9	512		
Burgau	Cobble	-8	256		
		-7	128	Seixo	Cobble
		-6	64		
		-5	32		
Seixo	Pebble	-4	16	Cascalho muito grosseiro	Very coarse gravel
		-3	8	Cascalho grosseiro	Coarse gravel
		-2	4	Cascalho médio	Medium gravel
Cascalho	Granules	-1	2	Cascalho fino	Fine gravel
Areia muito grosseira	Very coarse sand	0	1	Areia muito grosseira	Very coarse sand
Areia Grosseira	Coarse sand	1	0,500	Areia Grosseira	Coarse sand
Areia média	Medium sand	2	0,250	Areia média	Medium sand
Areia fina	Fine sand	3	0,125	Areia fina	Fine sand
Areia muito fina	Very fine sand	4	0,0625	Areia muito fina	Very fine sand
Silte grosseiro	Coarse silt	5	31 15,6	Silte grosseiro	Coarse silt
Silte médio	Medium silt	6		Silte médio	Medium silt
Silte fino	Fine silt	7		Silte fino	Fine silt
Silte muito fino	Very fine silt	8	7,8	Silte muito fino	Very fine silt
Argila grosseira	Coarse clay	9	3,9	Argila grosseira	Coarse clay
Argila média	Medium clay	10	2,0	Argila média	Medium clay
Argila fina	Fine clay	11	0,98	Argila fina	Fine clay
Argila muito fina	Very fine clay	12	0,49	Argila muito fina	Very fine clay
Coloide	Colloid	13	0,24	Coloide	Colloid
			0,12		

Figura 16- Escala granulométrica de Wentworth. As partículas classificam-se de acordo com a sua dimensão, desde argilas (as mais finas) até blocos (as mais grosseiras). Fonte: Dias (2004).

Com os dados obtidos a partir da análise granulométrica, foram criadas curvas cumulativas, resultantes da soma obtida para cada fração relativamente ao peso total.

Posteriormente, foram determinadas medidas descritivas da granulometria dos sedimentos de tendência central (mediana $Md\phi$, média $M\phi$, média gráfica (Mz), dispersão (calibração, σ), assimetria (Sk_1) e angulosidade da curva (curtose).

A mediana corresponde ao diâmetro que divide a distribuição em duas metades com pesos iguais, uma constituída por partículas mais grosseiras, e outra por partículas mais finas. Corresponde ao percentil 50:

$$Md\phi = \phi_{50} \quad (3.1)$$

A fórmula usada para calcular a média gráfica, foi proposta por Folk e Ward (1957) citado por Dias (2004), que corresponde à média dos somatórios dos quadris 84, 50 e 16:

$$Mz = \frac{\phi_{84} + \phi_{50} + \phi_{16}}{3} \quad (3.2)$$

A calibração, utilizada como indicador da maturidade textural do sedimento, foi avaliada através da fórmula proposta por Trask (1930/32) citado por Dias (2004), que corresponde à raiz quadrada do quociente entre o primeiro e o terceiro quartil.

$$S_0 = \sqrt{\frac{Mm25}{Mm75}} = \sqrt{\frac{Q1}{Q3}} \quad (3.3)$$

A assimetria foi estimada pela seguinte fórmula:

$$Sk_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16} + 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} = \frac{\phi_{95} - \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (3.4)$$

E a angulosidade através de:

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (3.5)$$

3.2.2.2- Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo (D_s) foi usado o método do cilindro, que como o próprio nome sugere, consiste em recolher amostras de solo não perturbadas, com o auxílio de um cilindro de volume conhecido (100 cm^3). As amostras foram

colhidas nas profundidades 10-15, 20-25, 40-45, 60-65 e 100-105 cm da parede da rav1_B. A densidade do solo foi determinada através da seguinte fórmula:

$$D_s = \frac{\text{Peso solo seco a } 105^\circ \text{ C}}{\text{Volume do cilindro}} \quad (3.6)$$

3.2.3 Área de drenagem

Para a delimitação da área de drenagem em direção à ravina, foi utilizada a carta militar número 60. A delimitação foi realizada a partir da parte superior da ravina (início da formação da ravina) e das linhas de festo que determinavam o escoamento que se direcionava para a área onde se formou a ravina

As linhas de festo podem ser facilmente identificadas numa carta através da leitura das curvas de nível (Figura 17). Quando as curvas de nível de menor cota envolvem as de maior cota, a linha que atravessa a convexidade que elas formam quando mudam de direção (no momento da inflexão) corresponde a uma linha de festo e, pelo contrário, quando as curvas de nível de maior cota envolvem as de menor cota, a linha que atravessa a concavidade por elas formada, quando mudam de direção, corresponde a um talvegue.

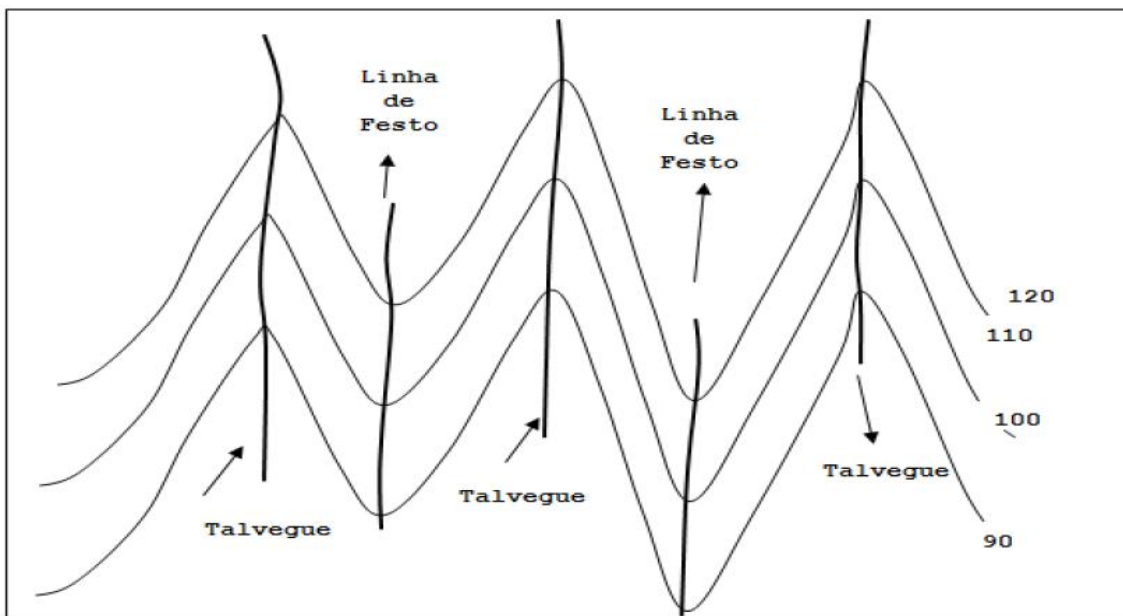


Figura 17 - Linhas de festo e talvegues numa carta com curvas de nível.

A área de drenagem direcionada para a ravina, foi determinada com recurso a ferramentas computacionais de análise de dados, Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A representação da ravina e da respetiva área de drenagem foi preconizada com o auxílio do programa *ArcMap10.1*. Com base nos resultados obtidos dá para constatar que a ravina se encontra numa linha de festo, entre dois talvegues (Figura 18). Assim, procedeu-se ao traçado das linhas de talvegue, sendo a área entre ambas, a área correspondente à bacia de drenagem direcionada para a ravina. A delimitação foi definida através da análise das curvas de nível e da orientação que o escoamento seguiria em cada cota.

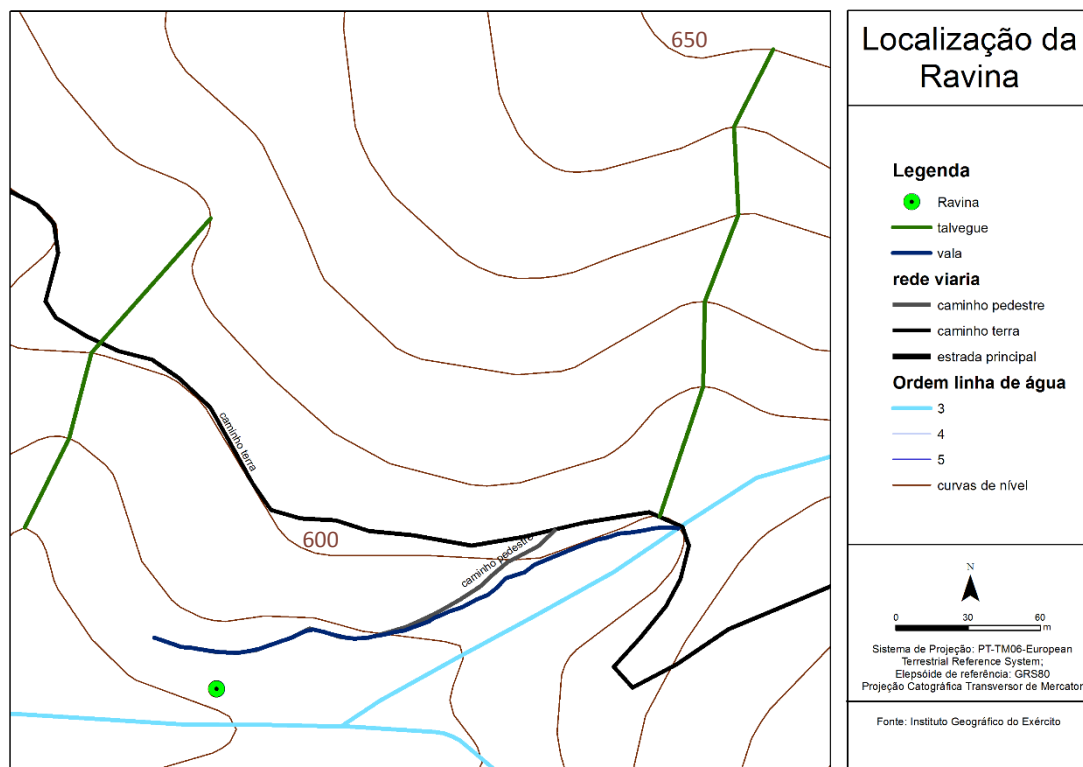


Figura 18- Localização da ravina e dos talvegues numa carta militar. Obtido com recurso ao *ArcGis10.1*

É de notar um constrangimento, já que o ponto onde se iniciou a formação da ravina encontra-se logo abaixo de uma estrada e de uma vala, sendo que esta última se desenvolveu a partir de uma linha de água nas proximidades, e está influenciada por um talvegue, constatando-se que a área de drenagem para essa vala e para esse talvegue tiveram influência na formação da ravina.

Para a determinação da área de drenagem da ravina, foi excluída a área de drenagem da linha de água, uma vez que não se consegue ter a certeza da quantidade de escoamento que poderá influenciar a vala. Deste modo, a área de drenagem da ravina é correspondente não só à área entre as duas áreas de drenagem dos talvegues, como também à área de drenagem do talvegue que influencia a vala.

Como o relevo tem uma influência sobre a velocidade do escoamento superficial, e que está dependente do declive da bacia, foi criado um mapa de declives, de modo a determinar o declive médio da área de drenagem.

3.2.4 Determinação do volume da ravina

O princípio básico na avaliação da erosão por ravinamento passa pela estimativa do volume da ravina e sua relação com a área de drenagem direcionada para a ravina (Vandekerckhove *et al.*, 1998; Vandekerckhove *et al.* 2000). Este princípio pressupõe que a área de influência definida topograficamente contribua com escoamento superficial ou escorrência suficiente para provocar uma incisão no solo e o seu desenvolvimento até dimensões, em que se possa considerar a formação de uma ravina. Este princípio não considera outros processos erosivos que possam ocorrer na parede da ravina (Figueiredo, 2003).

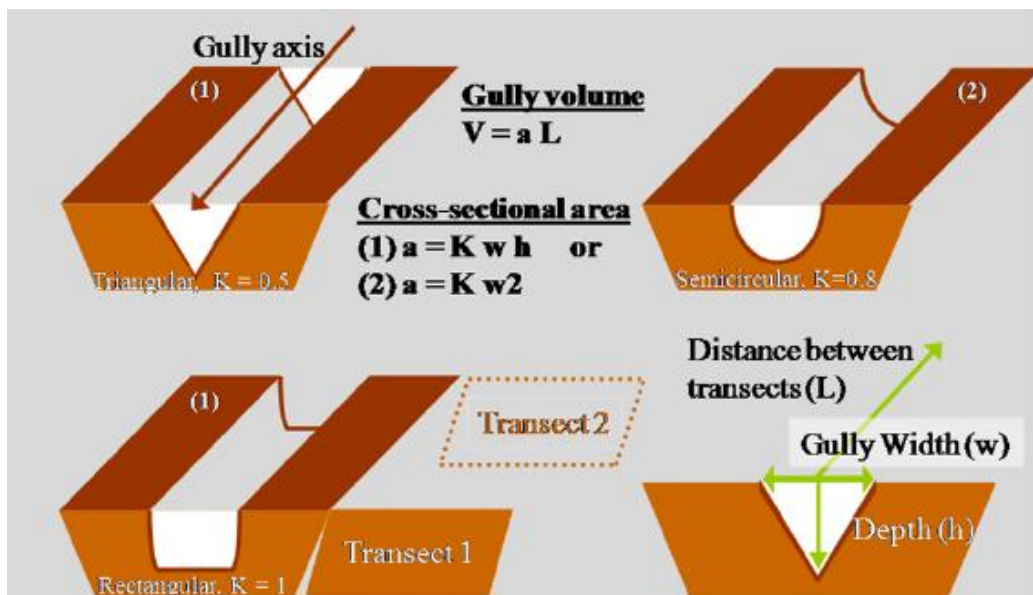


Figura 19- Medições realizadas no campo para posterior estimativa do volume da ravina. Fonte: Figueiredo (2009).

Ao longo de todas as ravinas, foram criados transetos, onde se mediu a largura e a profundidade e se fez uma avaliação da forma (semicircular, triangular ou retangular). O volume de cada incisão, que corresponde ao volume de perda de solo, foi estimado por integração das áreas da secção transversal com a distância entre transetos (Figura 19). A partir do conhecimento da densidade do solo converteu-se o volume de perda de solo em massa ($t\ ha^{-1}$) (ver equação abaixo). Por sua vez, estas variáveis estão relacionadas com a área de drenagem da ravina.

$$P_s = V_{P_s} D_s \quad (3.7)$$

Onde P_s – perda de solo ($t\ ha^{-1}$), V_{P_s} – perda de solo em volume (m^3) e D_s – densidade do solo ($kg\ m^{-3}$).

O volume correspondente à erosão por ravinamento foi estimado a partir dos volumes das incisões correspondentes às áreas transversais superiores a $900\ cm^2$ (Figueiredo, 2009) e o volume total de perda de solo corresponde ao volume de todas as secções.

4. Resultados e Discussão

4.1 Geometria da ravina

O estudo das ravinas e da sua evolução tem um papel importante na compreensão do relevo terrestre, pois estas formas resultantes de processos geomorfológicos têm grande influência no desenvolvimento do relevo (Guerra, 1997). As variáveis profundidade e largura que as ravinas atingem estão estritamente relacionadas com a natureza do substrato sobre o qual estas se desenvolvem. Aliás, a presença de material pouco coeso resultante do remeximento do solo, influencia a instalação da ravina numa fase inicial, e a presença de depósito de vertente, contribui para a formação de ravinas de grande dimensão (superiores a 2 metros) (Martins, 2009). Martins *et al.* (prole) referem, no caso de um estudo realizado numa ravina do Rio Alva, que a incisão organizou-se sobre rocha dura, com profundidades de, apenas, alguns centímetros, ganhando rapidamente profundidade, quando passava a desenvolver-se sobre rocha alterada, ao mesmo tempo que a sua largura aumentava progressivamente até receber o contributo de uma ravina secundária, quase duplicando a sua largura.

A ravina em estudo apresenta profundidade e largura média de 0,77 m e 1,45 m, respetivamente. Em todas as incisões a largura é superior à profundidade (Quadro 7).

Quadro 7 - Comprimento (m), largura máxima (m) e profundidade máxima das incisões em estudo.

Incisão	Comprimento (m)	Largura máxima (m)	Profundidade máxima (m)
<i>Rav1_A</i>	22	1,90	1,20
<i>Rav1_B</i>	19	2,60	2,10
<i>Rav2_A</i>	12	0,40	0,25
<i>Rav2_B</i>	15	0,55	0,35
<i>Rav3_A</i>	18	1,10	0,90
<i>Rav3_B</i>	13	0,40	0,25
<i>Rav3_C</i>	13	0,45	0,15
<i>Rav_X</i>	6	4,20	0,94

Os perfis longitudinais das incisões foram construídos de montante para jusante com base nas variáveis comprimento e profundidade (Figura 20). Salienta-se, que na sua construção utilizaram-se as profundidades acumuladas. Os perfis cujas curvas

apresentam menor concavidade ou mudanças bruscas indicam condições de desequilíbrio (Guedes *et al.*, 2006). Assim, pela observação das curvas dos perfis (Figura 20) pode-se afirmar que as ravinas em estudo ainda não atingiram um estado de equilíbrio. Provavelmente na sua origem estão as variações da resistência à erosão do depósito (Bowyer-Bower e Bryan, 1986; Guedes *et al.*, 2006; Martins, *et al.*, 2015).

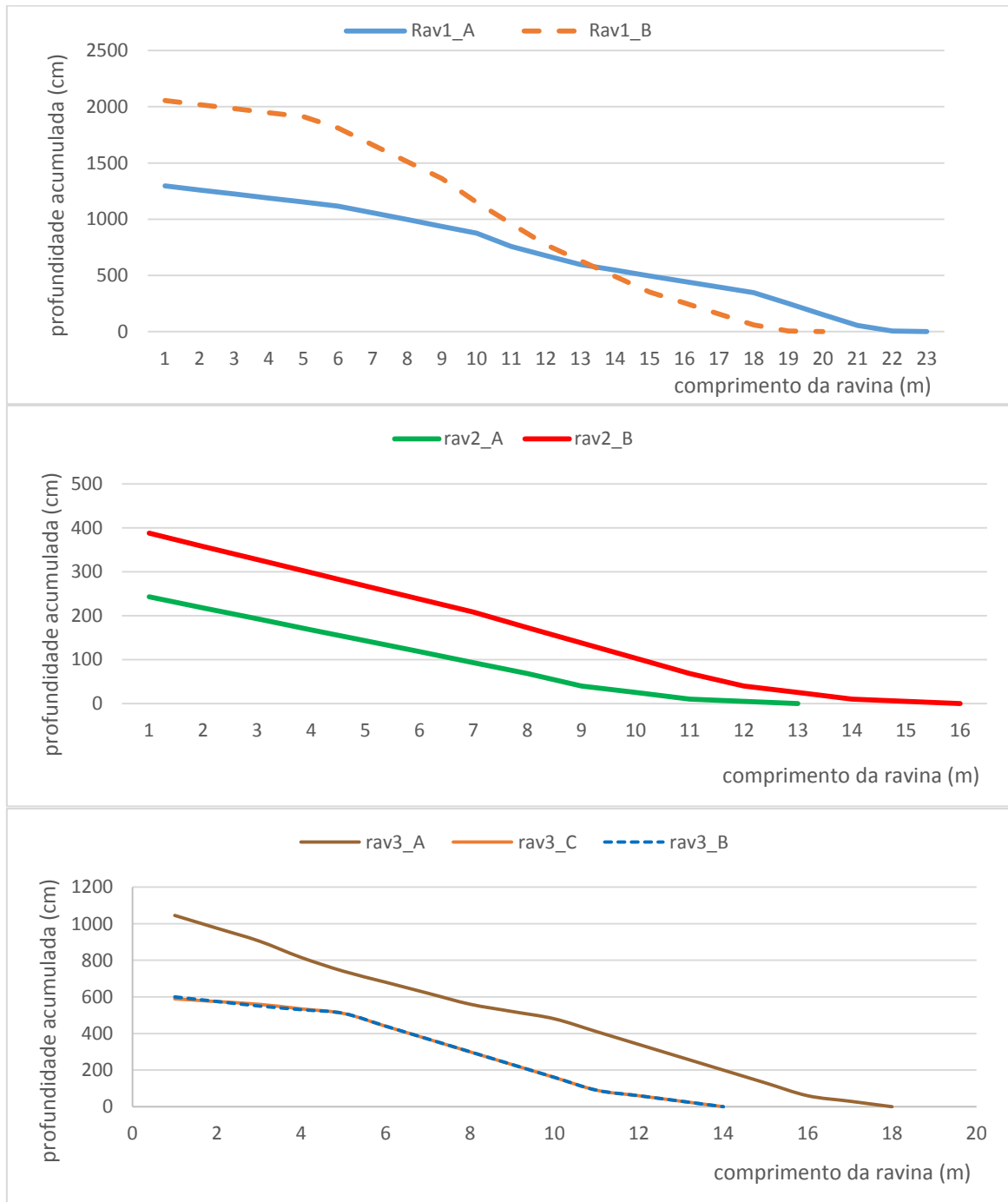


Figura 20- Perfil longitudinal da ravina (incisões 1, 2 e 3), realizado com base nas medições de campo.

De seguida apresenta-se a relação largura/profundidade para algumas ravinas (Figura 21 à Figura 26). Regra geral, as ravinas apresentam a profundidade máxima e a largura mínima a meio do seu trajeto, dando indicação de diferenças na composição do substrato sedimentar ao longo da ravina. Bowyer-Bower e Bryan (1986) referem, com base num trabalho realizado com simulador de chuva no Canadá, que em solos arenosos as ravinas desenvolvidas tendem a ser mais profundas e estreitas, enquanto em solos argilosos estas apresentam-se mais largas e superficiais. Não se verificando de forma evidente nas ravinas de Seirós, uma vez de se apresentarem como estreitas e profundas.

É de notar que a rav1_A e a rav1_B são as ravinas que atingem as maiores profundidades (Figura 21 e 22). Globalmente, verifica-se em todas as ravinas, que quando a largura aumenta a profundidade tende a diminuir e vice-versa, mas sem apresentar uma correlação significativa.

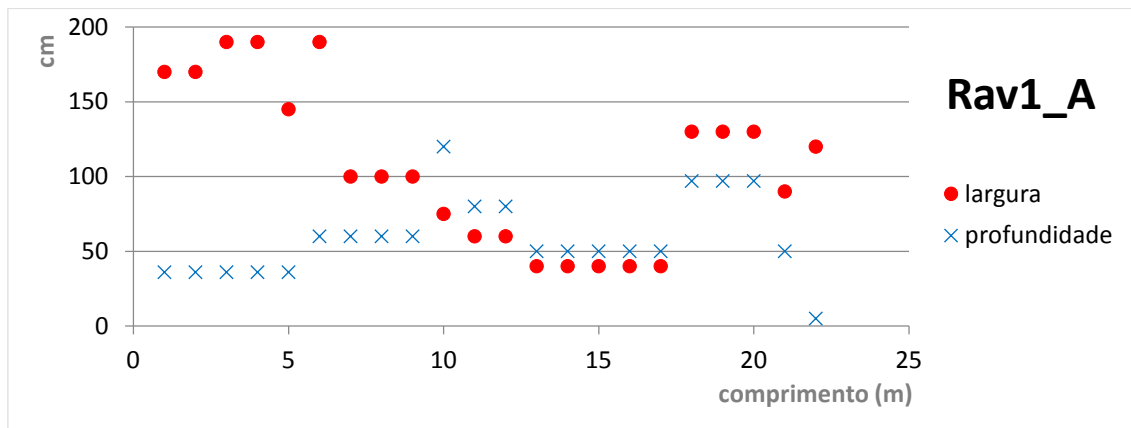


Figura 21- Comparação entre a largura e a profundidade da Rav1_A (cm) ao longo do seu comprimento (m).

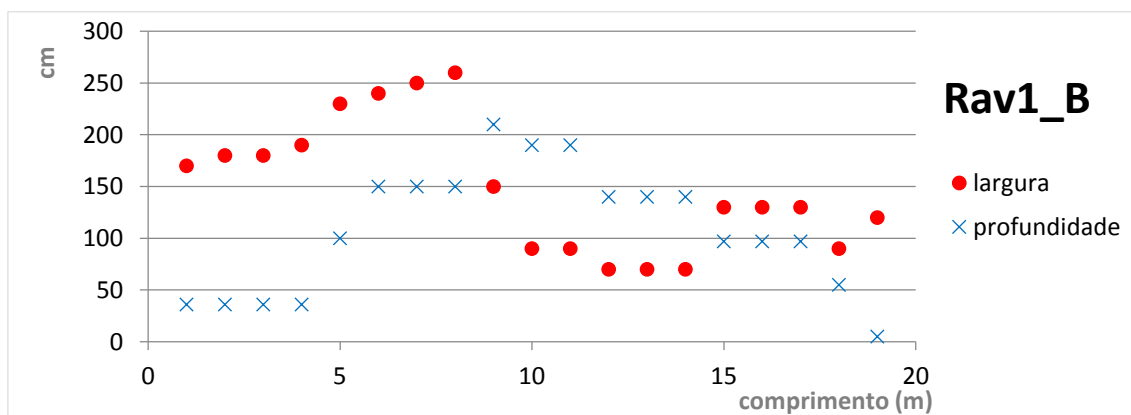


Figura 22- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav1_B (cm) ao longo do seu comprimento (m).

Ao analisar a rav1_B (Figura 22), observa-se que até aos 9 metros de comprimento, os aumentos de largura são acompanhados por aumentos de profundidade. Para os comprimentos compreendidos entre os 9 e os 17 metros (sensivelmente) regista-se um estreitamento, passando os valores de profundidade a serem superiores aos da largura.

Cruzando a informação obtida para a rav1_A e para a rav1_B, percebe-se que a rav1_B une-se à rav1_A ao fim de 15 m.

Relativamente, ao complexo correspondente à ravina 2 (Figura 23 e 24), constata-se que para o caso da rav2_A (Figura 23) a profundidade mantém-se constante até aos 7 m de comprimento, enquanto a largura sofre uma redução aos 4 m mantendo-se sensivelmente constante ao longo de todo o comprimento a partir daí. De salientar que aos 8 m, a largura aumenta de forma acentuada, posição a partir da qual a profundidade vai diminuindo.

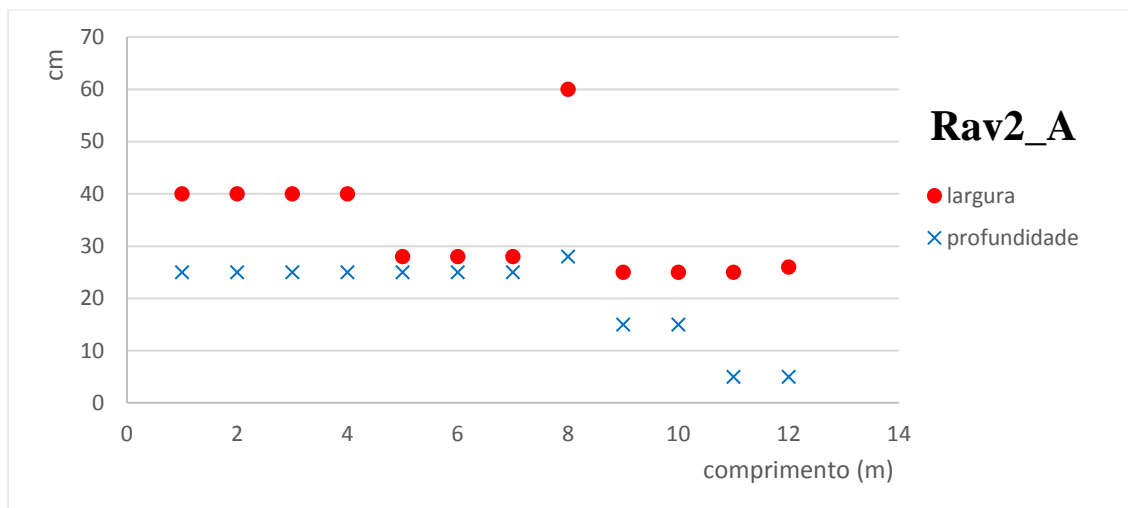


Figura 23- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav2_A (cm) ao longo do seu comprimento (m).

Na ravina de código rav2_B, depois de se verificar uma constância da largura e da profundidade, regista-se entre os 7 e os 9 m um ligeiro estreitamento e aprofundamento do canal. A correlação verificada entre a largura e a profundidade é apenas momentânea, ou seja, restringe-se apenas a determinadas seções da extensão quer da rav2_A, quer da rav2_B.

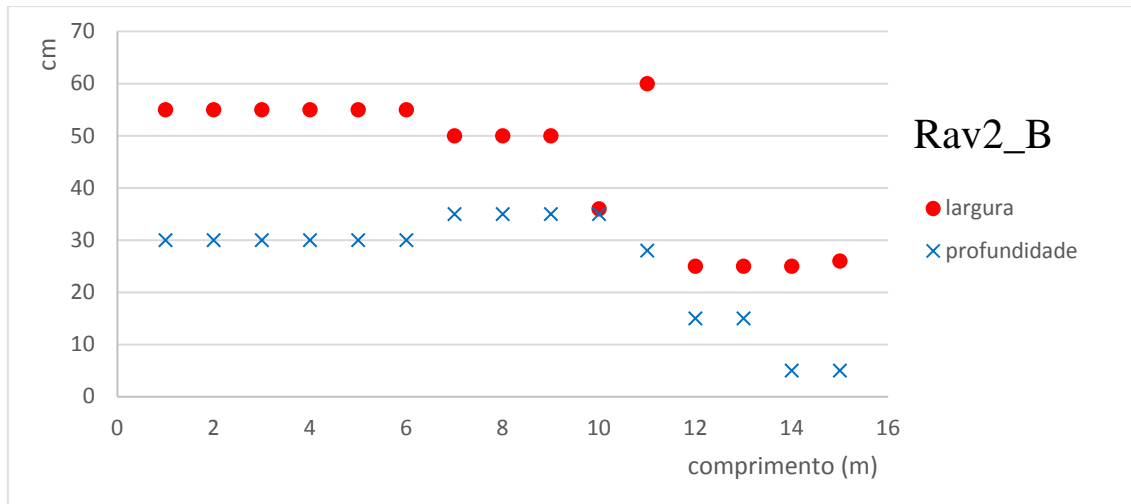


Figura 24- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav2_B (cm) ao longo do seu comprimento (m).

A ravina rav3_A (Figura 25), mostra profundidade e largura mais elevadas na zona a montante, tendendo a estreitar ao longo do perfil longitudinal. Situação inversa é verificada na rav3_B (Figura 26), pois inicialmente é mais estreita e superficial, registando-se um alargamento e aprofundamento a partir dos 5 m de comprimento.

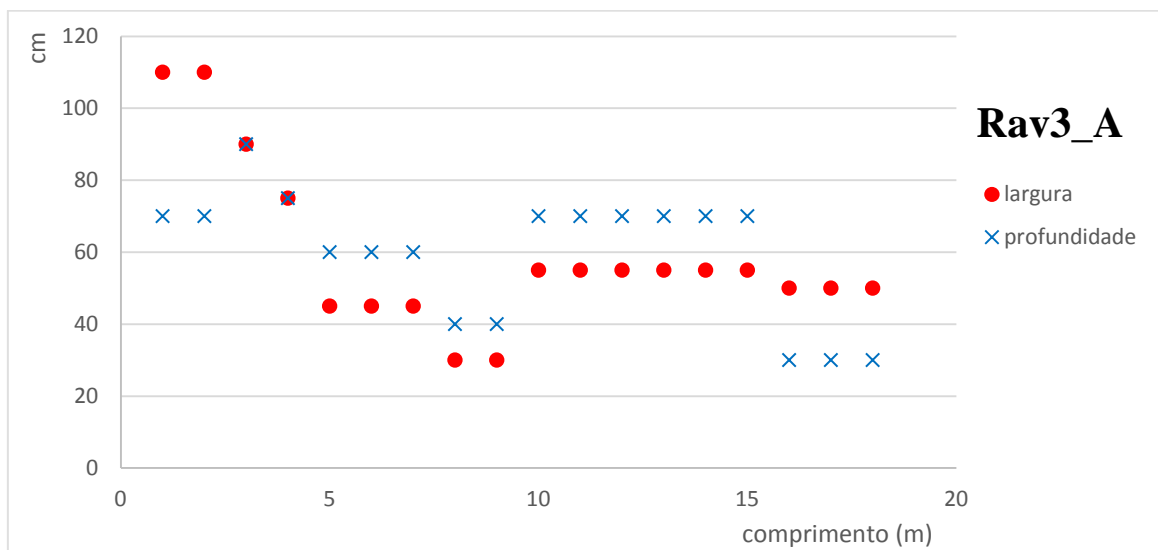


Figura 25- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav3_A (cm) ao longo do seu comprimento (m).

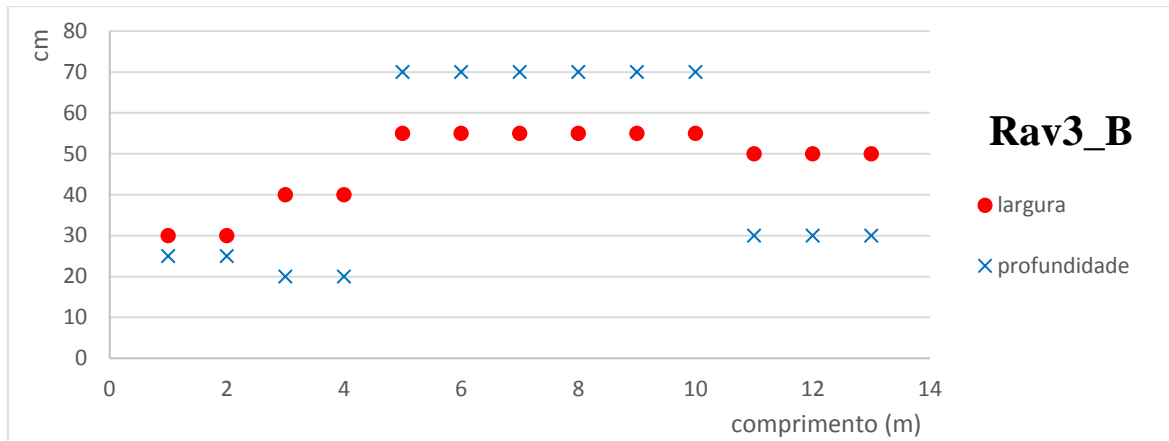


Figura 26- Comparação entre os valores medidos relativamente à largura e profundidade da Rav3_B.

Pelas dimensões que assumem as diversas ravinas, trata-se de ravinas permanentes (Poesen, 1993), em que já não podem ser eliminadas com uma simples mobilização do solo, a sua reparação já implica ações mais complexas (Foster, 1986).

4.2 Granulometria

Como referido em Material e Métodos, a definição das frações granulométricas das amostras colhidas nas paredes laterais da ravina (colhidas sensivelmente a meio do seu comprimento), foi baseada na Escala de Wentworth. No Quadro 8 apresenta-se as dimensões e designação das frações que foram separadas neste estudo.

Quadro 8 - Frações da Escala de Wentworth utilizadas no estudo da granulometria da ravina

Escala (mm)	Designação da fração
2 – 1	areia muito grosseira
1 – 0,5	areia grosseira
0,5 – 0,25	areia média
0,25 – 0,125	areia fina
0,125 – 0,063	areia muito fina
< 0,063	fração limo-argila

As amostras colhidas a diversas profundidades nas paredes da ravina são muito idênticas do ponto de vista granulométrico, com exceção das amostras 1 e 4 (Figura 27).

Estas últimas afastam-se ligeiramente das restantes, devido à elevada quantidade de areia média a muito fina e areia fina. No geral, trata-se de sedimentos, onde se verifica o predomínio de areias finas relativamente às grosseiras, sendo os valores da fração limo-argila bastante inferior à de areia, quando se considera esta na sua globalidade

Contrariamente, Poesen *et al.* (1996) referem o predomínio de areias grosseiras nos sedimentos num trabalho realizado no Sudoeste de Espanha.

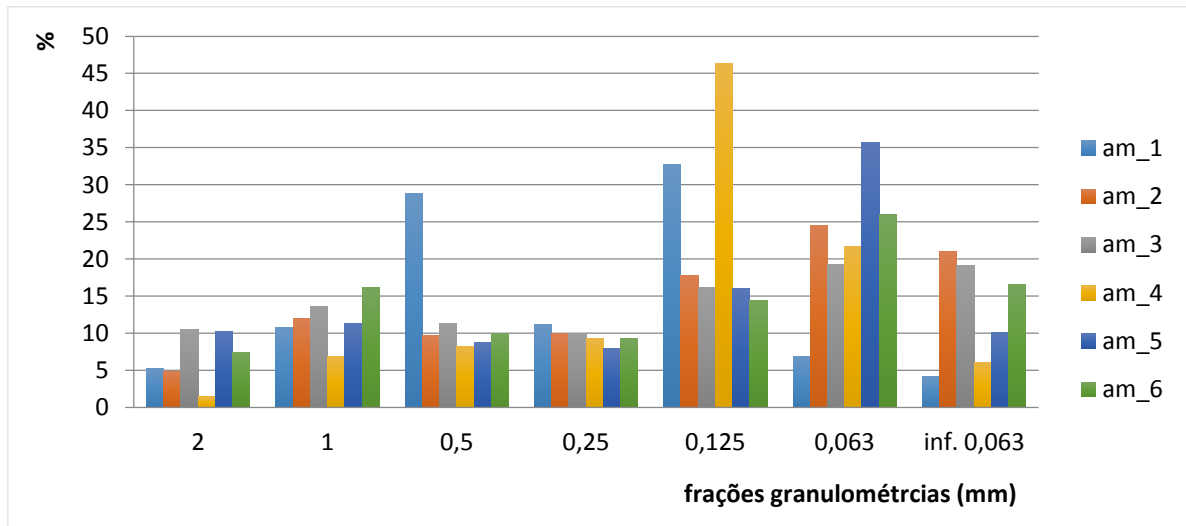


Figura 27- Distribuição das amostras recolhidas por classes granulométrica em valores percentuais.

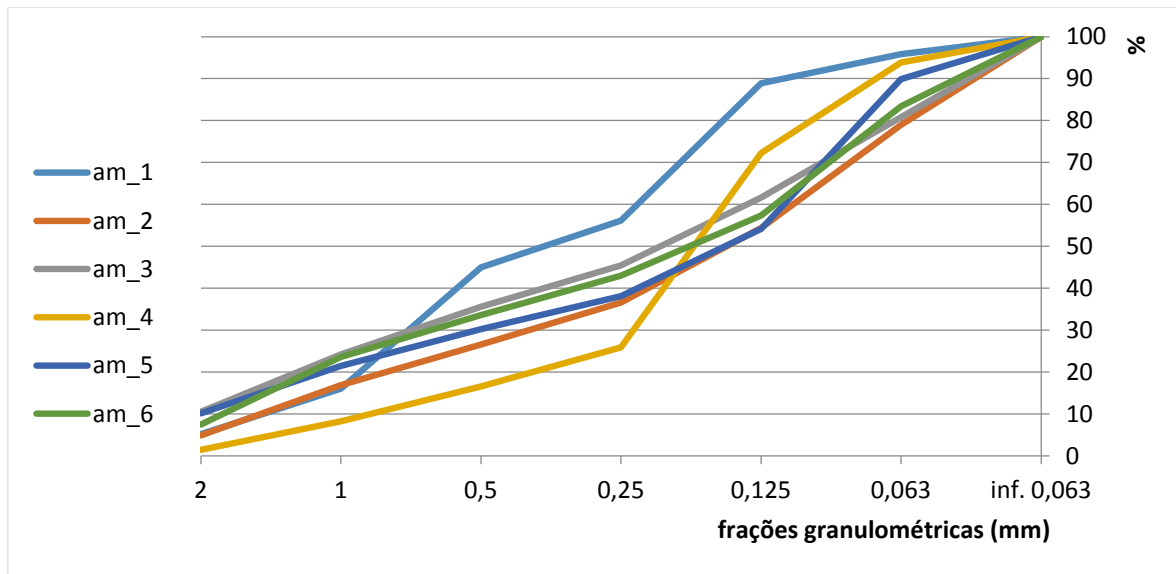


Figura 28 - Curvas cumulativas das amostras recolhidas por classes granulométrica em valores percentuais.

A partir da análise gráfica da curva granulométrica (Figura 28) foi possível a obtenção dos valores da mediana, média, valor de calibração, valor de assimetria e índice de angulosidade, que se encontram apresentados no Quadro 9.

Quadro 9- Medidas descritivas calculadas a partir da análise gráfica da curva granulométrica.

Amostra	Mediana (MdØ) (mm)	Média (MØ) (mm)	Média gráfica (Mz) (mm)	Valor de calibração (σ)	Valor de assimetria (Ski)	Índice de angulosidade (curtose) (KG)
Am_1	0,34	0,59	0,5	2	2,24	1,3
Am_2	0,4	0,53	0,5	2,58	2,17	1,57
Am_3	0,25	0,86	0,7	3,16	1,4	0,89
Am_4	0,2	0,36	0,3	1,39	2,71	5,4
Am_5	0,4	0,8	0,7	2,58	1,68	1,17
Am_6	0,2	1,15	0,8	3,16	2,28	0,89

De acordo com as designações para os valores de calibração propostos por Folk e Ward (1957) citado por Dias (2004), expostos no Quadro 10, é legítimo afirmar-se que os sedimentos se encontram entre o mal calibrado (amostra 4) e o muito mal calibrado (restantes amostras), dando indicação de uma baixa energia durante o seu transporte (Melo *et al.*, 2014).

Quadro 10- Designação para os valores da calibração propostos por Folk e Ward (1957) citados por Dias (2004). Fonte: Dias (2004).

Designação	Folk e Ward (1957)
Muito bem calibrado	<0,35
Bem calibrado	0,35 a 0,5
Moderadamente bem calibrado	0,5 a 0,71
Moderadamente calibrado	0,71 a 1,0
Mal calibrado	1,0 a 2,0
Muito mal calibrado	2,0 a 4,0
Extremamente calibrado	>4,0

Formação de ravinas: significância para a perda de solo por erosão hídrica

Os valores de assimetria, com variações entre 1,40 e 2,71 (Quadro 9) indicam que os sedimentos são fortemente assimétricos no sentido dos finos, o que é mais visível nas amostras 2, 4 e 6, pois são as que apresentam os valores mais altos para as frações mais finas (ver significado no Quadro 11).

Quadro 11- Designações para os valores de assimetria propostos por Folk (1957) citados por Dias (2004). Fonte: Dias (2004).

SK _t	Designação
+1,00 a +0,3	Fortemente assimétrica no sentido dos finos
+0,3 a +0,1	Assimétrica no sentido dos finos
+0,1 a -0,1	Aproximadamente simétrica
-0,1 a -0,3	Assimétrica no sentido dos grosseiros
-0,3 a -1,00	Fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros.

A angulosidade da curva granulométrica com valores que variam de 0,89 a 5,40 (Quadro 9), sugere que as amostras 3 e 6 são platicúrticas, as amostras 1 e 5 são leptocúrticas, a amostra 2 muito leptocúrtica e a amostra 4 extremamente leptocúrtica (Quadro 12). Significando, que quanto maior o valor do índice de angulosidade, maior é a concentração do sedimento numa determinada fração granulométrica (Dias, 2004). Conseguindo-se perceber muito bem, por exemplo, com a amostra 4, pela elevada quantidade de sedimentos presentes na fração de 0,125, relativamente às outras frações.

Quadro 12- Proposta de Folk (1968), citado por Dias (2004) para as designações de angulosidade da curva granulométrica Fonte: Dias (2004).

KG	Designação
<0,67	Muito platicúrtico
0,67 a 0,90	Platicúrtico
0,90 a 1,11	Mesocúrtico
1,11 a 1,50	Leptocúrtico
1,50 a 3,00	Muito leptocúrtico
>3,00	Extremamente leptocúrtico

4.3 Perda de solo

Para avaliar a perda de solo na bacia de drenagem da ravina foi necessário estimar o volume da ravina, determinar a densidade do solo e delimitar a área de drenagem que influencia a ravina.

4.3.1 Densidade do solo

A densidade do solo varia de $1,01 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,60 \text{ g cm}^{-3}$ nas profundidades 10-15 e 100-105 cm, respetivamente (Figura 29).

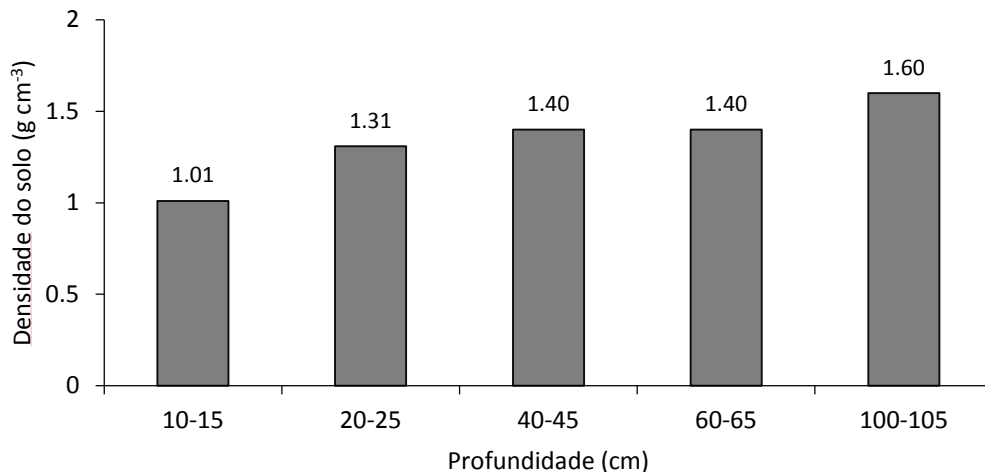


Figura 29- Densidade do solo em diferentes profundidades da parede da incisão rav1_B.

4.3.2 Área de drenagem.

Foi estimada a área de drenagem da ravina através da delineação das curvas de nível com orientação para a mesma. As ravinas estão ainda sob a influência de uma vala localizada a montante, pelo que a área de drenagem dessa vala também foi incluída, resultando numa área total de 4,23 ha (Figura 30)

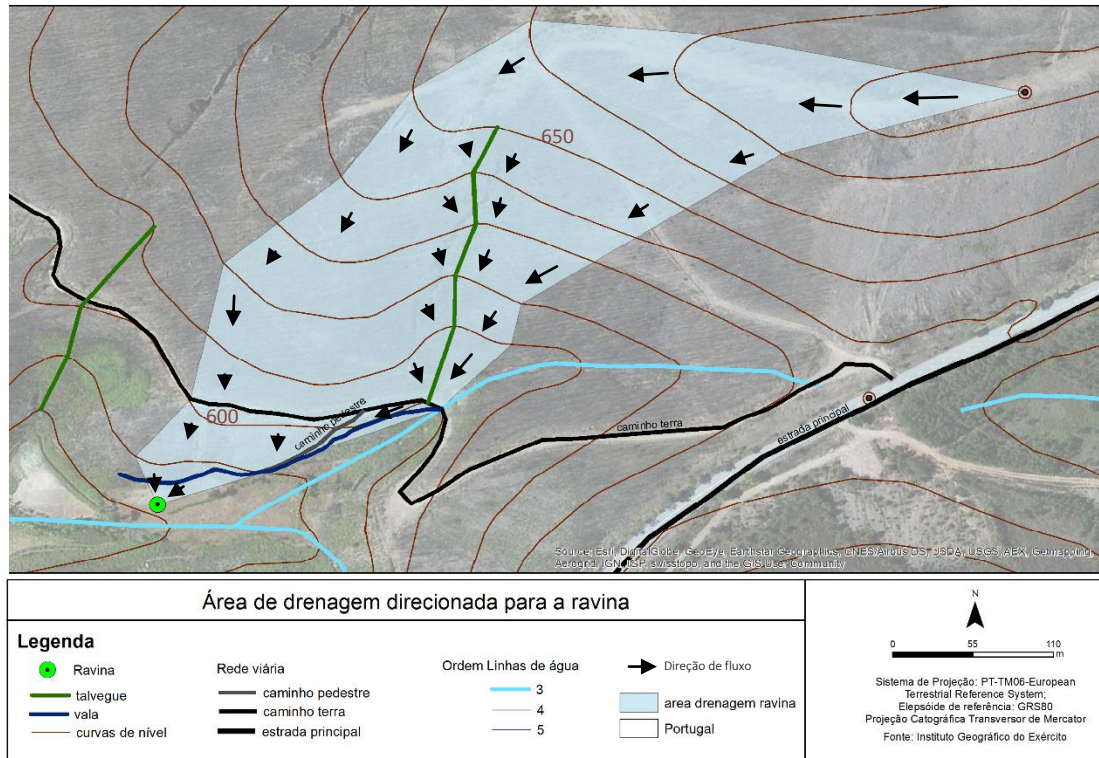


Figura 30- Área de drenagem direcionada para a ravina. Obtido com recurso ao ArcGis10.1

A Figura 31 apresenta o declive da área de influência direcionada para a ravina, e consegue-se perceber, pela sua observação que os declives variam entre os 0 e os 50%, estando os valores mais frequentes compreendidos entre os 20 e os 40%.

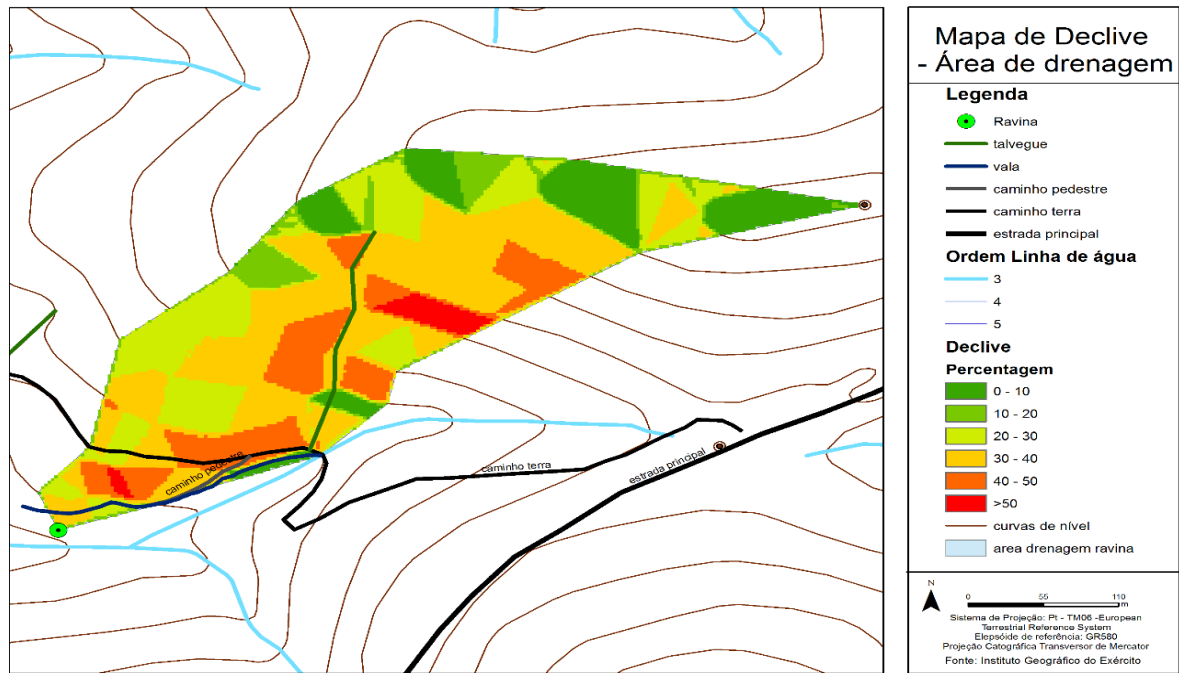


Figura 31 - Mapa de declives da área de drenagem da ravina. Obtido com recurso ao ArcGis10.1

4.3.3 Volume e quantidade de perda de solo

Como referido na secção Material e Métodos, a estimativa do volume de perda de solo foi realizada com base na estimativa do volume da ravina, esta por sua vez realizada com base em informação colhida no campo. A partir do conhecimento do volume de perda de solo (m^3), da densidade do solo ($t m^{-3}$) e da área de drenagem (ha) foi possível estimar a quantidade de perda de solo ($t ha^{-1}$). Por observação do Quadro 13, na área de estudo, a perda de solo por ravinamento atingiu as $19,0 t ha^{-1}$ (áreas de secção superior a $0,09 m^2$) e a perda total de solo foi de $19,3 t ha^{-1}$ (inclui todas as áreas). Assim, a perda de solo por ravinamento representa 98% do total. Esta percentagem é bastante superior à indicada por outros autores (Govers e Poesen 1988; Poesen *et al.*, 1996; Vandekerckhove *et al.*, 1998).

Quadro 13 – Solo perdido (t ha⁻¹)

	Volume perdido (m ³)	Volume perdido/área (m ³ ha ⁻¹)	Solo perdido (t ha ⁻¹)
Áreas de seção transversal superior a 0,09 cm ²	59,84	14,1	19
Áreas de seção transversal inferior a 0,09 cm ²	0,61	0,19	0,3
Total	60,45	14,3	19,3

Vandekerckhove *et al.* (1998) num trabalho realizado em áreas cultivadas do nordeste de Portugal (Bragança) obtiveram perdas de solo de 16 t ha⁻¹, a partir de ravinas efémeras, correspondendo a 47% do total. Govers e Poesen (1988) referem perdas de 22,3 t ha⁻¹ na parte central da Bélgica, que representam 10% do total. Num estudo realizado no Alentejo, Poesen *et al.* (1996) observaram uma perda reduzida de solo por ravinamento (3,2 t ha⁻¹, correspondendo a 80% do total), o que justificaram pela presença de declives baixos. Também Poesen *et al.* (1996) referem valores de 9,7 t ha⁻¹ (83% do total) no sudoeste de Espanha, numa área com elevado teor de elementos grosseiros. Valores muito elevados, 302 a 455 t ha⁻¹, foram obtidos por Martínez-Casasnovas (2003) no nordeste de Espanha.

Com base nos dados aqui apresentados constata-se que a perda de solo por ravinamento é muito variável de região para região. Vandekerckhove *et al.* (1998) referem que a formação de ravinas e a perda de solo associada, não é apenas devida à área de drenagem da bacia e da inclinação da mesma. Também as propriedades do solo a relação entre a área e a inclinação, bem como a topografia e o tipo de coberto vegetal têm influência.

5. Considerações finais

Existem diferentes perspectivas e pontos de vista, relativamente ao que se entende por “solo”, que vão desde conceitos muito sintéticos a análises muito detalhadas.

A erosão refere-se ao destacamento e movimentação de partículas de solo ou de rochas pela água, vento, ou gravidade, sendo ainda de realçar a interferência humana, que ao alterar a composição física terrestre, pode intensificar o processo de erosão e dos seus efeitos, causando problemas socioeconómicos, ecológicos, industriais e estruturais derivados do uso da terra. Na atualidade, são conhecidos diversos fatores que têm influência e interferem ao nível da erosão do solo, desde a precipitação, topografia, até às próprias propriedades físicas e químicas do mesmo.

Existem diversas definições de ravina que são apresentadas referindo-se a diferentes propriedades, desde o comportamento hidrológico, morfologia, posição topográfica e relação com as atividades humanas, estando invariavelmente associadas à erosão acelerada e portanto, à instabilidade da paisagem.

O caso de estudo incidiu sobre uma ravina localizada entre o vale do Rio Beça e do Rio Tâmega, a norte da população de Seirós, pertencente à freguesia de Canedo do concelho de Ribeira de Pena, a um altitude de 600 metros, e numa área onde são observáveis processos erosivos, tendo-se desenvolvido num depósito de vertente, abaixo dum caminho de terra batida (e uma vala) que dão acesso a campos de cultivo circundantes.

Por via da ferramenta computacional *Google Earth* determinou-se um período provável para a formação da ravina, de 12 anos (entre 2002 e 2013.)

Para a análise das características das ravinas procedeu-se à recolha de dados no campo e de informação de base cartográfica. A recolha de dados no campo teve como objetivo possibilitar uma visão direta dos processos de erosão que estão a ocorrer ou ocorreram na área em estudo, viabilizando a estimativa relativamente às taxas de perda de solo, que podem ser utilizadas para avaliar e, eventualmente classificar o estado de degradação do solo. Com a recolha desta informação, foi possível determinar a localização geográfica (numa carta de curvas de nível), a geometria e forma das seções transversais.

O processo de ravinamento conduziu à formação de uma ravina de apenas alguns centímetros de profundidade e, que ao longo da sua extensão se vai desenvolvendo em mais três ravinas.

De modo a conseguir identificar corretamente cada uma das ravinas, foram atribuídos os códigos de ravina 1, ravina 2 e ravina 3. Adicionalmente a cada uma das três divisões foi atribuída uma letra, que identifica a subdivisão das mesmas em mais ravinas.

Foram colhidas amostras de solo, perturbadas e não perturbadas, na parede de uma das ravinas, Rav1_B, nas profundidades 20, 40, 45, 60, 100 e 105 cm.

As amostras não perturbadas foram colhidas com o auxílio de um cilindro de 100 cm³, sendo colocadas posteriormente em estufa a 105°C durante 48h, com vista à determinação da densidade do solo. As amostras perturbadas foram colocadas em estufa a 55°C, também durante 48h e posteriormente foram submetidas a um processo de crivagem durante 10 minutos, induzido por um agitador a 70/80 vibrações por minuto.

No Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Bragança, as amostras foram separadas em elementos grosseiros e terra fina. No Laboratório de Geografia da Universidade de Coimbra procedeu-se à separação granulométrica das frações anteriores, em, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 e menores que 0,063 mm. Para a classificação das diferentes frações granulométricas foi utilizada a escala de Wentworth.

A área de drenagem direcionada para a ravina, foi determinada com recurso a ferramentas computacionais de análise de dados, Sistemas de Informação Geográfica.

A representação da ravina e da respetiva área de drenagem foi preconizada com o auxílio do programa *ArcMap*10.1. Com base nos resultados obtidos dá para constatar que a ravina se encontra numa linha de fecho, entre dois talvegues.

Ao longo de todas as ravinas, foram criados transetos, onde se mediu a largura e a profundidade e se fez uma avaliação da forma (semicircular, triangular ou retangular). O volume de cada incisão, que corresponde ao volume de perda de solo, foi estimado por integração das áreas da secção transversal com a distância entre transetos.

No caso de estudo apresentado, a formação da ravina num terreno com declive de 20°, parece estar muito mais relacionada com a presença de uma vala localizada a montante,

nas proximidades da sua origem, do que com a área da bacia de drenagem da ravina. A ravina em estudo apresenta profundidade e largura média de 0,77 m e 1,45 m, respetivamente. Em todas as incisões a largura é superior à profundidade

Através da análise dos perfis longitudinais das ravinas, e dos gráficos que relacionam a profundidade com a largura, pode-se concluir que não existe uma relação entre as variáveis profundidade e largura da ravina, atingindo estas as maiores profundidades e menores larguras (estreitamento), sensivelmente no troço médio, o que poderá estar relacionado com as características do depósito de vertente por onde evolui. A análise granulométrica do sedimento mostrou-nos que as areias finas predominam em relação às grosseiras e a fração limo-argila é consideravelmente inferior à fração areia quando considerada na sua totalidade. Podendo-se afirmar que a ravina ainda não atingiu um estado de equilíbrio, o que também poderá estar relacionado com o substrato sedimentar.

A partir dos valores da densidade do solo e da área de drenagem da ravina, estimou-se uma perda de solo de $19,3 \text{ t ha}^{-1}$, valor que se encontra dentro de intervalos apresentados por outros autores.

É de salientar o interesse em continuar a monitorização da ravina de modo a esclarecer algumas hipóteses justificativas que foram colocadas ao longo do presente trabalho.

Bibliografia

- Bergonse, R., Reis, E., 2011. Formas, processos e padrões na erosão por ravinamento: para um enquadramento teórico coerente. *Finisterra*, XLVI: 99-120.
- Bertoni, J., Neto, F.L., 1990. *Conservação do solo*. Ícone, São Paulo, 355 Pp.
- Boardman, J., Poesen, T., 2006. Soil erosion in Europe: Major processes, Causes and Consequences. In: Boardman, J., Poesen, J. (Eds.) *Soil Erosion in Europe*. pp. 479-487, Wiley.
- Bowyer-Bower e Bryan, 1986. Rill initiation: concept and experimental evaluation on badland slopes. *Z. Geomorph. N. F.*, 60: 161-175. Conclusões da Jornadas sobre Proteção do Solo 2009, disponível para consulta em <http://www.spcs.pt/index.php?/Temas/Solos-de-Portugal>
- COM, 2006 Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões - Estratégia temática de proteção do solo [SEC(2006)620] [SEC(2006)1165] Consultado em 21 de Setembro: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:52006DC0231>
- Dias, J.A., 2004. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Universidade do Algarve, Pp 29-42
- Desta, L., Adugna, B., 2012. A field guide on Gully Prevention and control. Eastern Nile Watershed Management Project, Nile Basin Initiative, 73 Pp.
- Evelpidou, N., Vassilopoulos, A., 2009. Types off water erosion. In: Evelpidou, N., de Figueiredo, T. (Eds.), *Soil Protection in sloping Mediterranean Agri-Environments: lectures and exercises*. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, Pp. 53-66.
- Figueiredo, T., 2009. Gully erosion in winter crops: a case of study from Bragança área, NE Portugal. In: Evelpidou, N., de Figueiredo, T. (Eds.) *Soil Protection in sloping Mediterranean Agri-Environments: lectures and exercises*. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, Pp. 243-250.
- Figueiredo, T., 2013. Measuring present runoff erosion. In Evelpidou, N., Cordier, S., Merino, A., Figueiredo, T., Centeri, C. (Eds.) *Runoff erosion*. University of Athens, Pp. 72-118.

- Foster, G., 1986. Soil Conservation: An Assessment of the National Resources Inventory. Committee on Conservation Needs and Opportunities, National Research Council, Vol. 2: 90-115.
- Guedes, I.C., Santoni, G.C., Etchebehere, M.L., Stevaux, J.C., Morales, N., Saad, A.R., 2006. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectónicas. *Revista UnG – Geociências*, 5 (1): 75-102.
- Guerra, A.J.T., 1997. Ravinas: processo de formação e desenvolvimento. *Anuário do Instituto de Geociências*, 20: 9-26.
- Guerra, A.J.T, Jorge, M.C., O., 2012. Geomorfologia do Cotidiano – a degradação dos solos. *Revista Geonorte*, 4 (4): 116-135.
- Gonçalves, J.L.M., 2002. Conservação do solo. In: Gonçalves, J.L.M., Stape, J.L. (Eds.) *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Piracicaba-SP, IPEF, Pp. 47-129.
- Hancock, G.R, Evans, K.G., 2006. Gully position, characteristics and geomorphic thresholds in an undisturbed catchment in northern Australia. *Hydrological Processes*, 20: 2935-2951.
- Karlen, K., Ditzler, G., Andrews, S., 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114: 145–156.
- Lynden, G., Mantel, S., Ostrum, A., 2004. Guiding principles for the quantitative assessment of soil degradation. With a focus on salinization, nutrient decline and soil pollution. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Luffman, I.E., Nandi, A., Spiegel, T., 2015. Gully morphology, hillslope erosion, and precipitation characteristics in the Appalachian Vally and Ridge province, Southeastern USA. *Catena*, 133: 221-231.
- Martínez-Casasnovas, 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. *Catena*, 50: 293–308.
- Martins, Bruno, 2009- A depressão de Régua-Chaves-Verin: contributo para a análise do risco de ravinamento. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra

Martins, B., Santos, P., Rebelo, F., 2014 - Conhecimento e cartografia da espessura das formações superficiais na área de Pensalvos (Serra do Alvão, norte de Portugal). *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*. Nº 21

Martins, B., Lourenço, L., Lima, H. (prelo) O risco de ravinamento após incêndios florestais, O exemplo da ravina do Corgo (Alva). *Territorium*, Coimbra, nº20.

Melo, A., Coutinho, R., Cruz, J.V., 2014. Caracterização geoquímica dos sedimentos de fundo e em suspensão dos principais cursos de água na ilha de São Miguel (Açores, Portugal). *Comunicações Geológicas*, 101: 687-691

Morgan, R.P.C., 2005. *Soil erosion and conservation*. 3rd ed. Blackwell, Oxford, UK.

Moore, I.D., Burch, G.J., Mackenzie, D.H., 1988. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 34: 1098-107.

Oliveira, M., 1988. *Física dos solos. Alguns aspectos de interesse agronómico*. Vila Real, 78 pp.

Oostwoud Wijdenes, D.J., Poesen, J., Vandekerckhove, L., Ghesquiere, M., 2000. Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an ephemeral channel in a Mediterranean environment. *Catena*, 39: 147–167.

Pedrosa, A.S., Martins, B., 2011. As formações superficiais no Norte de Portugal e as suas implicações nos processos erosivos atuais. *Geografia Ensino & Pesquisa*, V. 15, n.3, Pp 55 – 72.

Pinto Ricardo, R., 1969/70. *Génese e evolução dos solos*. Instituto Superior de Agronomia Pedologia e Conservação do Solo, 109 pp.

Poesen, J., 1993. Gully Typology and gully control measures in the European loess belt. In: Wicherek, S. (Ed.) *Farm Land Erosion in Temperate Plains Environment an Hills*. Elsevier, Amsterdam, Pp. 221-239.

Poesen, J., Vandaele, K., van Wesemael, B., 1996. Contribution of gully erosion to sediment production in cultivated lands and rangelands. *IAHS Publications*, 236: 251–266.

- Poesen, J., Vandaele, K., Wesemael, B., 1998. Gully Erosion: importance and model implications. In: Boardman, J, Favis-Mortlock, D. (Eds.) *Modelling Soil Erosion by Water*. Springer Berlin Heidelberg, Pp. 285-311.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentim, C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50: 91-133.
- Poesen, J., Vanwalleghem, T., de Vente, J., Knapen, A., Verstraeten, G. and Martínez-Casasnovas, J.A., 2006. Gully Erosion in Europe. In: J. Boardman and J. Poesen (Eds.) *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons, Chichester, UK., Pp.515-536.
- Rickson, R.J., 1995. Simulated vegetation and geotextiles. In: Morgan, R.P.C., Rickson, R.J. (Eds.) *Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach*. Granfield University, UK, pp. 95 pp.
- Sidorchuk, A., 1999. Dynamic and static models of gully erosion. *Catena* 37: 401–414.
- Soil Science of America, 2008. *Glossary of Soil Science terms*. Soil Science of America, Madison, WI. Pp. 93.
- Valcarcel, M., Taboada, M.T., Paz, A., Dafonte, J., 2002. Ephemeral gully erosion in Northwestern Spain. *Catena* 50: 199–216.
- Vandekerckhove, L., Poesen, N.J., Oostwold-Wijdenes, D., Figueiredo, T. de., 1998. Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas on the Mediterranean. *Catena*, 33: 271-292.
- Vanderkerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud-Widjenes, D., Nachtergaele, J., Kosmas, C., Roxo, M.J., Figueiredo, T., 2000. Thresholds for ephemeral gully initiation in Mediterranean Europe. *Earth Surface Processes and Landforms* 25: 1201-1220.
- Xanthakis, M., Pavlopoulos, K., 2009. Soil Erosion. In: Evelpidou, N., de Figueiredo, T. (Eds.), *Soil Protection in sloping Mediterranean Agri-Environments: lectures and exercises*. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, Pp. 45-52.
- Zachar, D. - *Soil erosion*. Elsevier, Amsterdam, 1982, Pp 547.