

Erosividade das precipitações e erosão hídrica dos solos: exercícios de estimativa face a cenários de alteração climática

Tomás de Figueiredo^{1,2} & Dionísio Gonçalves²

¹Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança (ESAB/IPB)

²Centro de Investigação da Montanha (CIMO)

Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal

Tel + 351 273 303 200, Fax + 351 273 325 405, email tomasfig@ipb.pt, dionisio@ipb.pt

Abstract

Accelerated soil erosion is a problem affecting large areas worldwide, with severe consequences to natural resources quality, namely soil and water, as well as to the sustainability of soil and water dependent productive systems, such as the agrarian ones. Water erosion results primarily from precipitation water drops hitting surface ground, the susceptibility of which largely depends on vegetation cover. Rainfall erosivity assessment requires detailed pluviometric data to compute indexes which normally incorporate rainfall intensity and/or kinetic energy, estimated for rain periods selected according to certain rainfall amount, intensity and duration thresholds. Changes in vegetation cover along the year, crossed with the temporal distribution of rainfall erosivity, highlights those periods of higher soil loss risk, assessed also in frequency terms. Under climate change, extreme rainfalls are expected to increase in magnitude and frequency. Therefore, climate change scenarios apparently correspond to an increase in erosion risk, either due to higher rainfall erosivity, or to lower vegetation cover (as a consequence of longer droughts). In this paper a set of estimation exercises is carried out, based on Portuguese case study data, input in erosion models, whose results, stated in terms of erosion risk change, are discussed. Analysis and discussion of these results may contribute to better understand changes on erosion processes and soil loss rates in a climate change context. As well, they may allow better strategy design and technology application for soil and water conservation.

Resumo

A erosão acelerada dos solos é problema que afecta vastas áreas do globo, com graves consequências para a qualidade dos recursos naturais solo e água e para a sustentabilidade dos sistemas produtivos agrários que deles dependem. A erosão hídrica resulta da acção das precipitações sobre a superfície do terreno, cuja susceptibilidade é muito condicionada pela cobertura vegetal do solo. A evolução da cobertura vegetal ao longo do ano, quando cruzada com a distribuição temporal da erosividade das precipitações, permite identificar períodos de maior risco de erosão hídrica dos solos. Num contexto de alteração climática, o sentido genérico da mudança quanto às precipitações aponta para uma exacerbação dos fenómenos extremos em magnitude e em frequência. Deste modo, os cenários desenháveis têm, aparentemente, consequências no risco de erosão, seja pela maior erosividade, seja pela cobertura vegetal dos solos (expectavelmente menor face à ocorrência de períodos mais persistentes de seca). Este trabalho resulta numa pequena reflexão em torno da problemática enunciada, consequente dos exercícios de estimativa que se apresentam. Estes referem-se às alterações no risco de erosão face aos cenários de mudança no regime pluviométrico e tomam por base exemplos portugueses, aplicando modelos conhecidos de estimativa da erosão hídrica e seus factores. Os resultados destes exercícios podem contribuir para melhor compreender a evolução dos processos erosivos em contexto de mudança climática, bem como melhor delinear estratégias e aplicar tecnologias de conservação do solo e da água.

1. INTRODUÇÃO

A erosão acelerada dos solos, e em particular a erosão hídrica, é problema que afecta vastas áreas do globo, com graves consequências para a qualidade dos recursos naturais solo e água. A sustentabilidade dos sistemas produtivos agrários (agrícolas, florestais, agrossilvopastoris) que deles dependem é também e forçosamente diminuída. Nessas circunstâncias estarão pois em causa, para além dos recursos mencionados, a economia e a sobrevivência de importantes faixas da população, a nível global, e os equilíbrios económicos e demográficos, por vezes frágeis, nessas áreas (Hudson, 1981; Morgan, 2005; Roose, 1994).

A erosão hídrica resulta da acção das precipitações sobre a superfície do terreno, acção a que corresponde o factor erosividade das precipitações. Outros factores condicionam o processo e a taxa de perda de solo (Wischmeier & Smith, 1978). Todavia, a susceptibilidade dos terrenos à acção erosiva das precipitações é muito condicionada pela cobertura vegetal do solo, seu porte e densidade, sua distribuição temporal (Morgan, 2005; Roose, 1994).

A avaliação da erosividade das precipitações exige informação pluviométrica detalhada e passa pelo cálculo de índices que, em regra, integram a intensidade e a energia cinética estimada (Hudson, 1981). Ambos os parâmetros se referem a períodos de chuva seleccionados de acordo com limiares de duração, quantidade e intensidade (Tomás, 1992). Estes limiares genericamente derivam do conceito de chuvada erosiva (Wischmeier & Smith, 1978).

O padrão de evolução da cobertura vegetal ao longo do ano, quando cruzado com a distribuição temporal da erosividade das precipitações, permite identificar períodos de maior taxa de perda de solo (Wischmeier & Smith, 1978). O risco de erosão hídrica dos solos que assim se pode quantificar, é também avaliável em termos de frequência, uma vez que associado às frequências cruzadas do grau de cobertura vegetal do solo e de erosividade das precipitações (e.g., Tomás, 1997; Silva et al., 1995).

Num contexto de alteração climática, o sentido genérico da mudança quanto às precipitações aponta para uma exacerbação dos fenómenos extremos em magnitude e em frequência (eg Hanson et al., 2007). Deste modo, os cenários desenháveis têm, aparentemente, consequências no risco de erosão dos solos. Com efeito, a erosividade deverá, expectavelmente, ser maior do que a actual. Em acréscimo, a cobertura vegetal dos solos poderá ser menor, face à ocorrência de períodos mais persistentes de seca, expectáveis também no quadro das alterações climáticas.

Este trabalho, partindo de exemplos portugueses de avaliação da erosão hídrica dos solos e seus factores, tem por objectivo apresentar e discutir os resultados de exercícios de estimativa da perda de solo face a cenário de alteração climática.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Áreas de estudo

Foram seleccionados para análise neste trabalho dois casos estudo, situados em diferentes áreas em Portugal Continental, correspondentes a situações referenciadas em bibliografia da especialidade. Têm em comum tratarem informação pluviométrica detalhada e reportarem escoamento e perda de solo por erosão laminar, medidos em talhões do mesmo tipo e de dimensão comparável, em ensaios de longa duração. Porém, as condições regionais, e principalmente locais, diferem substancialmente (pedregosidade, declive, cultura). A descrição sumária de cada caso estudo é apresentada no **Quadro I**. Toda a informação a que se recorre neste trabalho se encontra nas referências bibliográficas citadas neste Quadro.

Quadro I – Casos estudo: descrição sumária

Caso estudo	Localização	Caracterização sumária	Referências
A) Talhões da Quinta de Santa Bárbara	Pinhão, Douro	Dispositivo: 5 talhões; Dimensão: 32mx5m (167m ²); Declive: 45%; Solo: franco-limoso, muito pedregoso; Cultura: vinha plantada segundo o maior declive; N° anos de registo: 10	Figueiredo (2001)
B) Talhões de Vale Formoso	Mértola, Alentejo	Dispositivo: 4 talhões; Dimensão: 20mx10m (200m ²); Declive: 11 e 16%; Solo: franco, pedregoso; Cultura: rotação trigo-alqueive; N° anos de registo: 30	Tomás (1992 e 1997)

2.2. Metodologia de abordagem

Seguiu-se o pressuposto de que, em contexto de mudança climática, poderá: (i) diminuir a precipitação anual, (ii) aumentar a frequência e magnitude dos eventos pluviométricos extremos. Nesta linha, assumiu-se que a condição representada pelo caso A (Talhões da Quinta de Santa Bárbara) evoluirá para a representada pelo caso B (Talhões de Vale Formoso). Trata-se portanto de, para as condições locais da Quinta de Santa Bárbara (os talhões com as suas características: solo, declive, cultura), estimar a resposta erosiva a precipitações como as que caracterizam o regime pluviométrico de Vale Formoso.

Esta abordagem é justificável pelas diferenças entre os casos quanto ao regime pluviométrico (**Figura 1**). Com efeito, ao menor total anual em Vale Formoso contrapõem-se elementos identificadores de maior concentração temporal das precipitações: um maior contributo das precipitações mais abundantes, maior intensidade para durações curtas sobretudo quando é maior o período de retorno. A erosividade das precipitações, estimada pelo índice EI30 (Wischmeier & Smith, 1978), apresenta uma média anual substancialmente maior em Vale Formoso do que na Quinta de Santa Bárbara.

A evolução de uma condição para a outra é assim concordante com os pressupostos enunciados, para além de que a magnitude das diferenças entre os dois casos quanto à precipitação anual é aceitável face à evolução já verificada no mesmo parâmetro nas últimas décadas no Pinhão (média anual de 658mm no período 1931-1960; SMN, 1970).

Para as estimativas da perda de solo na Quinta de Santa Bárbara em cenário de mudança climática, aplicaram-se as relações entre precipitação e aquele parâmetro, estabelecidas em Figueiredo (2001). Todavia, como no trabalho citado, distinguiram-se as situações comuns de resposta erosiva das que se traduzem em perdas excepcionais (os eventos estatisticamente aberrantes). Os modelos de estimativa aplicados no trabalho citado são adaptações da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS, Wischmeier & Smith, 1978) e do modelo de Rose & Freebairn (1995) para a primeira e segunda situações, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Erosão e erosividade das precipitações na Quinta de Santa Bárbara

A perda de solo média global calculada com base nos 10 anos de registos da Quinta de Santa Bárbara é de 361 kg ha⁻¹, sendo a série fortemente assimétrica, com uma mediana de 122 kg ha⁻¹. A precipitação média anual no período de registo foi de 573mm e o escoamento médio anual, calculado para o conjunto dos talhões, foi de 22mm. A distribuição relativa nos 10 anos de registo dos totais medidos de perda de solo, escoamento e precipitação apresenta-se na **Figura 2**. Mais de metade da perda total de solo ocorreu num só ano e o segundo ano de maior perda contribuiu com mais de 20% para esse total. Esta concentração não encontra paralelo no escoamento e menos ainda na precipitação.

Na base destes valores anuais está a série dos 167 eventos registados. Nos 10 anos de registos na Quinta de Santa Bárbara, 96 dos 100 eventos em que ocorreu perda de solo deram origem a cerca de 25% do total perdido. Quatro registos, que na verdade correspondem a 3 eventos erosivos (colunas

da mesma cor na **Figura 3**), no seu conjunto produziram os cerca de 75% complementares, sendo, por esta razão, considerados excepcionais ou aberrantes.

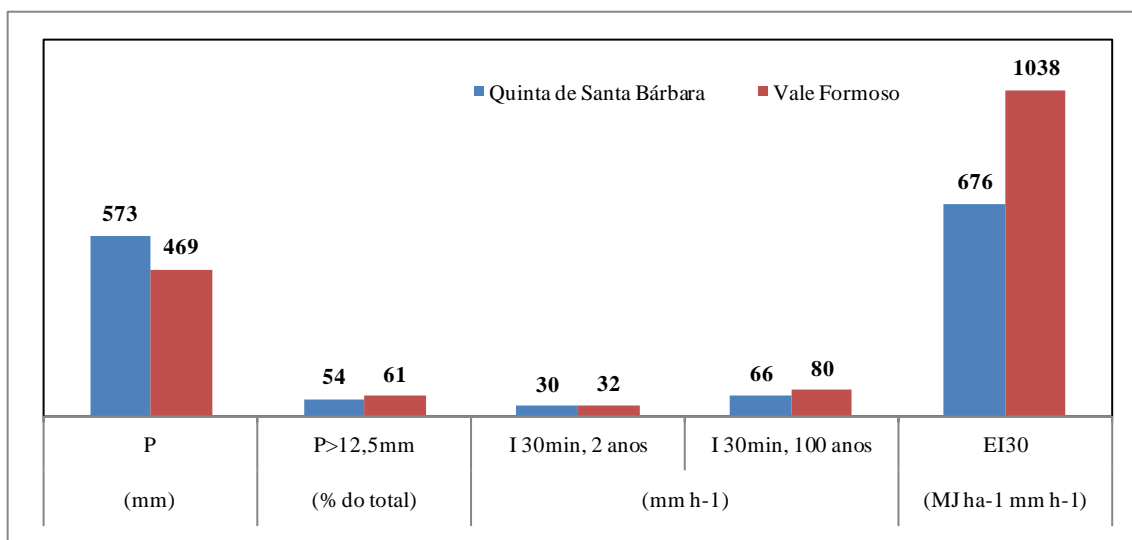


Figura 1 – Parâmetros de caracterização genérica das precipitações na Quinta de Santa Bárbara: comparação com cenário de alteração climática, representado por Vale Formoso (P, precipitação média anual; I, intensidade máxima anual com duração e período de retorno assinalados; EI30, índice de erosividade médio anual de Wischmeier & Smith, 1978).

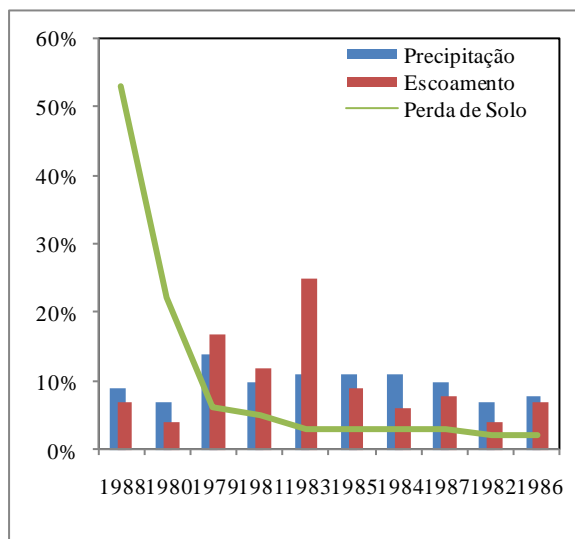


Figura 2 – Contribuição percentual de cada ano para os totais de precipitação, escoamento e perda de solo registados em 10 anos na Quinta de Santa Bárbara

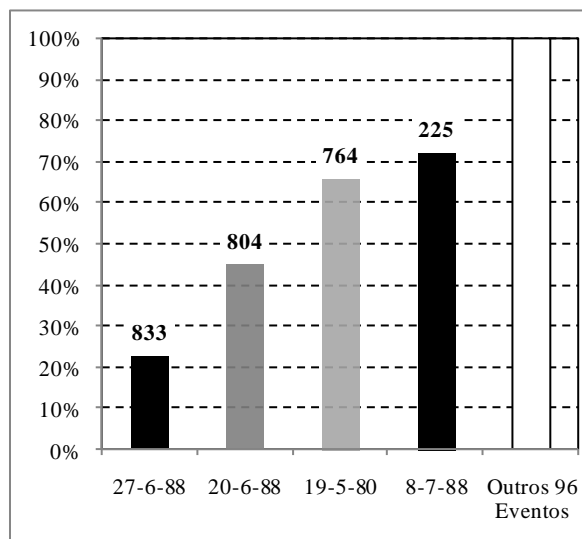


Figura 3 – Magnitude (em kg ha-1 no topo das colunas) e contribuição percentual acumulada dos eventos erosivos excepcionais para o total registado em 10 anos na Quinta de Santa Bárbara

Embora não tenha sido possível estabelecer limiares precisos de precipitação, ou dos índices que representam a sua erosividade, capazes de eficazmente discriminar as condições pluviométricas determinantes da resposta erosiva excepcional dos talhões, a verdade é que foi em resultado de chuvadas abundantes e intensas que tais eventos ocorreram (**Quadro II; Figura 4**).

Precipitações intensas, porquanto os períodos de retorno (estimados para séries de duração parcial sazonais, Primavera e Verão) são no máximo de quase 100 anos no evento mais erosivo (que agrega os registos 158 e 159, 27-6-1988 e 8-7-1988, respectivamente) e de mais de 20 anos nos dois outros (**Figura 4**). O máximo assinalado variou das 3h no primeiro para os 5min no segundo e para a 1h no terceiro, a significar acentuadas diferenças no padrão de variação da intensidade ao longo das chuvadas. O valor da intensidade, nestes eventos, variou entre os 6 e os 9,3 mm h-1, para uma

duração de 3h – aquela cujas intensidades máximas se revelaram melhor correlacionadas com a perda de solo (Figueiredo, 2001) (**Quadro II**). Nestes eventos, para além de intensas, as precipitações também foram abundantes já que, embora correspondendo a anos com precipitação total abaixo da média, por si sós representaram mais de 20% desse total. Já na erosividade das precipitações, seja avaliada pela energia cinética, seja pelo índice EI30, o contributo dos eventos excepcionais para os totais dos anos em que ocorreram situa-se acima de 50% (**Quadro II**). Com excepção do de maior magnitude, nos eventos erosivos aberrantes as condições de cobertura vegetal do solo não eram desfavoráveis, tanto em termos absolutos quanto relativos à época do ano em que ocorreram. Sublinha-se que se trata de cultura em linhas, dispostas segundo o maior declive (vinha ao alto), razão pela qual ressaltam, no **Quadro II**, as diferenças entre a cobertura global e a na projecção das copas.

Quadro II – Eventos erosivos excepcionais registados na Quinta de Santa Bárbara: caracterização sumária

Parâmetro	1988			1980			1988		
	19-5 (18)	20-6 (157)	8-7 (158,159)	Valor	Rácio Ano /Ano médio	Rácio Evtos / Ano	Valor	Rácio Ano /Ano médio	Rácio Evtos / Ano
P	82,3	63,5	80,3	402,8	0,70	0,20	513,2	0,90	0,28
EC	13,26	9,79	19,07	57,4	0,77	0,23	85,3	1,14	0,34
I3h	7,4	6,0	9,3		-	-	-	-	-
EI30	166,4	181,7	532,3	324	0,48	0,51	1127	1,67	0,63
CVegtotal	0,27	0,44	0,51	0,47	-	-	0,43	-	-
CVegcopas	0,43	0,71	0,83	0,29			0,64		
PS	764	804	1058	783	2,17	0,98	1907	5,28	0,98
E	2	3	4,6	9,3	0,42	0,22	16,2	0,74	0,47

P, precipitação (mm); EC, energia Cinética (MJ ha-1); I3h, intensidade máxima em 3h (mm h-1); EI30, índice de erosividade de Wischmeier & Smith (1978) (MJ ha-1 mm h-1); CVegtotal e copas, fracção de cobertura vegetal total e do terreno e na projecção das copas; PS, perda de solo (kg ha-1); E, escoamento (mm).

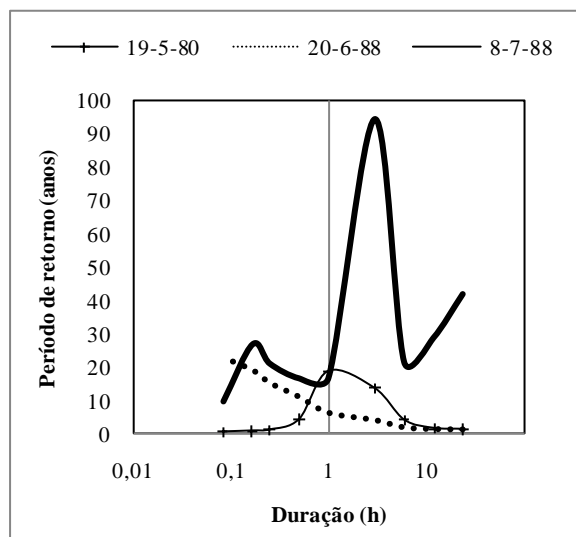


Figura 4 – Período de retorno (T) da intensidade das precipitações associadas aos eventos erosivos excepcionais na Quinta de Santa Bárbara (T sazonal, estimado para série de duração parcial)

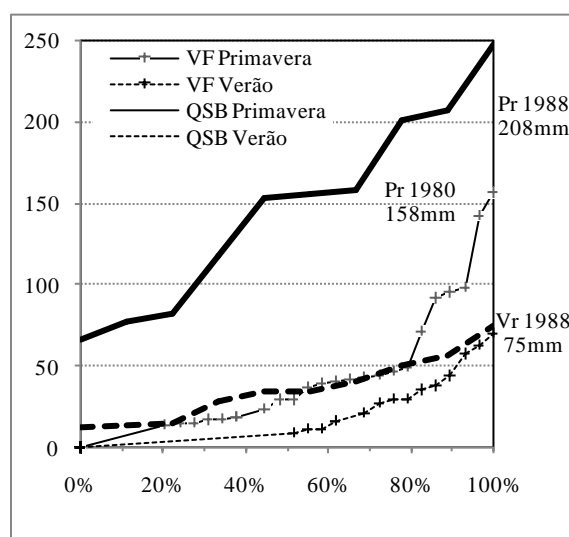


Figura 5 – Percentis da precipitação sazonal de Primavera e Verão na Quinta de Santa Bárbara (QSB) e em Vale Formoso (VF) (assinalados valores aquando dos eventos aberrantes)

3.2. Perdas de solo na Quinta de Santa Bárbara em cenário de alteração climática

O acréscimo na erosividade da precipitação que se assume em cenário de alteração climática traduz-se por um acréscimo na perda de solo de 53% na grande maioria dos eventos (**Figura 6**). Embora expressivo, este acréscimo não se reflecte em significativamente maior impacto sobre o recurso solo do que o que prevalece actualmente neste sistema cultural. Na verdade, os valores absolutos de

perda de solo são baixos e muito aquém da tolerância mais comumente referenciada (2,2 ton ha-1 ano-1 para solos delgados; Arnoldus, 1977).

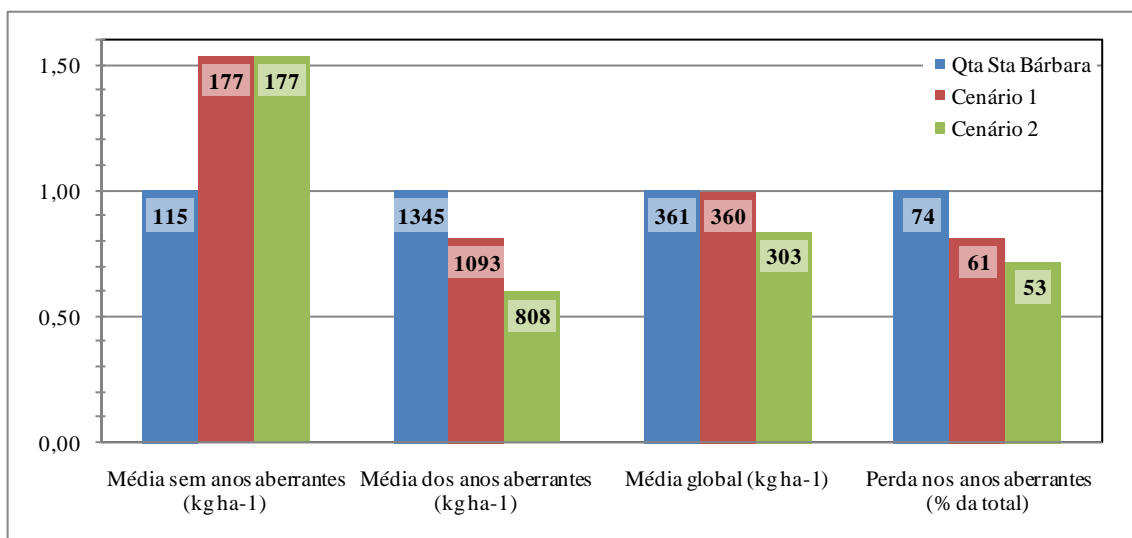


Figura 6 – Variação relativa e absoluta da perda de solo na Quinta de Santa Bárbara, distribuída por anos com eventos aberrantes e não aberrantes, face a dois cenários de alteração climática (ver texto).

No que diz respeito aos eventos excepcionais, a análise merece uma outra consideração. De facto, o modelo de estimativa de Rose & Freebairn (1985) adaptado, que melhor explicou a perda de solo nestes eventos, estima-a com base na precipitação total no evento:

$$PS = S \eta Cr (1320 P - 43657)$$

Sendo: PS, a perda de solo no evento (kg ha-1); S, declive; η , factor adimensional de eficiência no processo de transporte de sedimento; Cr, fracção de cobertura da superfície do solo; P, precipitação no evento, mm.

Com o cenário desenhado, a tendência é para que a precipitação a esta escala temporal se reduza. Na verdade, a duração dos períodos de precipitação que originaram os eventos erosivos aberrantes na Quinta de Santa Bárbara soma vários dias. Por outro lado, a frequência (de excedência) dessas precipitações é baixa, tendo sobretudo em atenção que se tratou de ocorrências nos meses pouco pluviosos de Primavera e Verão. A **Figura 5** mostra que na Primavera e no Verão de 1988, em que se registaram o segundo e o primeiro eventos mais erosivos, respectivamente, o total sazonal excedeu os 200mm, no primeiro caso e foi de 75mm no segundo. A estes valores correspondem os percentis 89 e 100 das respectivas séries. No terceiro caso, os quase 160mm correspondem ao percentil 67.

Idêntica frequência nas séries comparáveis de Vale Formoso corresponde a valores substancialmente menores de precipitação, sobretudo na Primavera (**Figura 5**). Em contrapartida, valores tão elevados de precipitação como os registados na Quinta de Santa Bárbara aquando dos eventos erosivos aberrantes, caem fora da gama observada em 30 anos em Vale Formoso (**Figura 5**). E para os processos em causa é fundamental considerar o efeito quantidade e não apenas o factor intensidade. Sublinha-se que, a correlação entre a maioria dos índices de erosividade e a precipitação na Quinta de Santa Bárbara, é forte e vinca o peso importante do efeito quantidade de precipitação nesses índices, em regra sobreposto ao efeito intensidade.

Deste modo admitiram-se dois cenários. O Cenário 1 corresponde a tomar os valores de precipitação em Vale Formoso mais próximos dos registados na Quinta de Santa Bárbara aquando dos eventos erosivos excepcionais. Embora menores, a sua adopção significa considerar acréscimo

na frequência das chuvadas respectivas (até ao percentil 100). No Cenário 2 a frequência das precipitações é mantida a nível do registado na Quinta de Santa Bárbara, significando decréscimo na magnitude das chuvadas respectivas. Assim, Cenário 1 e Cenário 2 tomam-se como extremos do intervalo de resultados produzidos por este exercício.

No estrito contexto deste exercício, verifica-se pois que o contributo dos eventos excepcionais diminui em cenários de alteração climática (**Figura 6**). Assim sendo, tais cenários não parecem implicar impacto significativo ao nível do recurso solo já que a soma dos contributos dos anos com eventos aberrantes e não aberrantes, em ambos os cenários, vem a redundar em valor idêntico ou inferior ao prevalecente na Quinta de Santa Bárbara.

4. CONCLUSÕES

Os resultados do exercício desenvolvido apontam para que a perda de solo expectável em cenário de alteração climática na Quinta de Santa Bárbara não aumente. Tal resultado deriva do grande peso dos eventos erosivos excepcionais na perda média e da redução da magnitude das precipitações determinantes destes eventos.

Este trabalho é um simples exercício, baseado em estudos de caso portugueses. Os seus resultados abrem algum espaço para reflexão acerca da evolução dos processos erosivos em contexto de mudança climática. Podem também contribuir para melhor delinear estratégias e aplicar tecnologias de conservação do solo e da água nesse contexto. A especial sensibilidade destes dois recursos na Região do Douro – objecto central do trabalho e onde se produz o vinho do Porto – mais o justifica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnoldus, H. M. J. (1977) Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. In: Assessing soil degradation. FAO Soils Bulletin N° 34. FAO, Rome.

Figueiredo, T. de (2001) Pedregosidade e erosão hídrica dos solos em Trás-os-Montes: contributo para a interpretação de registos em vinhas ao alto na Região do Douro. Tese de Doutoramento. UTAD, Vila Real.

Hanson C. E., Palutikof J. P., Livermore M. T. J., Barring L., Bindi M., Corte-Real J., Duaro R., Giannakopoulos C., Good P., Holt T., Kundzewicz Z., Leckebusch G., Moriondo M., Radziejewski M., Santos J., Schlyter P., Schwarb M., Stjernquist I., Ulbrich U. (2007) Modelling the Impact of Climate Extremes: An overview of the MICE Project. Climatic change 81: PRUDENCE Special Issue, Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining european climate change risks and effects: the PRUDENCE project. pp. 163-177 (abstract).

Hudson, Norman (1981) Soil Conservation, 2ª ed. Cornell University Press, New York.

Morgan, R. P. C. (2005) Soil Erosion and Conservation, 3ª ed.. Blackwell, Oxford, UK.

Roose, Eric (1994) Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. GCES (Bulletin Pédologique de la FAO). FAO, Rome.

Rose, C. & Freebairn, D. (1985) A mathematical model of soil erosion and deposition processes with application to field data. In: S. El-Swaify, W. Moldenhauer & A. Lo (eds.) Soil Erosion and Conservation. SCSA, Ankeny, Iowa. pp. 549-557.

Silva, J., Ferreira, A. G, & Tomás, P. (1995) Rainfall Characteristics and Soil Erosion on Alentejo. In: Proceedings of a Conference on Erosion and Land Degradation in the Mediterranean, IGU/MED, Universidade de Aveiro. pp. 193-202.

SMN (1970) Normais climatológicas do Continente, Açores e Madeira correspondentes a 1931-1960. Fascículo XIII de “O Clima de Portugal”, 2ª ed. Serviço Meteorológico Nacional, Lisboa.

Tomás, P. (1992) Estudo da erosão hídrica em solos agrícolas. Aplicação à região sul de Portugal. Dissertação de Mestrado. IST/UTL, Lisboa.

Tomás, P. (1997) Modelos de previsão da da erosão hídrica em solos agrícolas. Tese de Doutoramento. IST/UTL, Lisboa.

Wischmeier, W. e Smith, D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook no. 282. United States Departement of Agriculture, Washington, D.C..

AGRADECIMENTO

O primeiro autor agradece o suporte financeiro da Escola Superior Agrária de Bragança e a indicação para participar no CRA2008 por parte do seu Presidente, o que conduziu à apresentação deste trabalho nesse encontro científico.