

ACTES DE LES JORNADES SOBRE TERRASSES I PREVENCIÓ DE RISCS NATURALS

ACTAS DE LAS JORNADAS SOBRE TERRAZAS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS NATURALES

Mallorca, 14, 15 i 16 de setembre de 2006



ANÁLISE COMPARATIVA DO ESCOAMENTO EM TERRAÇOS DE ÁREAS GRANITÓIDES E METASSEDIMENTARES

S. Pereira; C. Bateira; C. Hermenegildo; A. Seixas

Departamento de Geografia de Faculdade de Letras da Universidade do Porto
Via Panorâmica s/n. 4150-564 - Porto Portugal
pereira.ss@gmail.com

RESUMEN

Apresentam-se os resultados da análise comparativa do escoamento superficial desenvolvido em terraços agrícolas de litologia distinta. A partir de um campo experimental numa área granítica (Baião) e outro numa área metassedimentar (Régua), situados em pequenas bacias hidrográficas, avaliou-se o efeito da litologia sobre o funcionamento hidrológico de vertentes com terraços agrícolas.

Os campos experimentais são compostos por parcelas de monitorização, localizadas em diferentes pontos das vertentes, com limnígrafos de balança e data logger, que registam o escoamento superficial em períodos de 10 minutos.

A precipitação registou-se numa estação meteorológica e o escoamento da bacia hidrográfica com um medidor de níveis de escoamento na sua secção terminal, o que permitiu uma análise pormenorizada das relações entre os tipos de episódios de precipitação e o escoamento superficial nas vertentes. Constataram-se diferenças importantes no tempo de resposta e quantidade mínima de precipitação necessárias ao início do escoamento nas vertentes. O escoamento superficial desenvolvido depende principalmente da localização das parcelas de monitorização nas vertentes, do total e duração da precipitação.

Concluiu-se que os processos de escoamento nas vertentes devem ser analisados de uma forma integrada e enquadrados na sequência de precipitações anteriores e que fornecem indicações importantes sobre o comportamento hidrológico das vertentes.

Palavras chave: hidrologia de vertentes, bacia hidrográfica, escoamento superficial, fluxo interno lento, fluxo interno rápido.

RESUMEN

En esta comunicación presentamos los resultados del análisis comparativo del drenaje superficial desarrollado en terrazas agrícolas de litología diferente. A partir de un campo experimental en un área granítica (Baião) y otro en un área de esquistos (Régua), inseridos en pequeñas cuencas hidrográficas, evaluamos el efecto de la litología sobre el funcionamiento hidrológico de vertientes con terrazas.

Los campos experimentales están compuestos por parcelas de erosión localizadas en puntos diferentes de las vertientes, con limnígrafos de balanza y datalogger que registran el drenaje superficial.

Se ha registrado la precipitación y el drenaje de la cuenca hidrográfica en su sección final. Los registros se obtuvieron con intervalos de 10 minutos, admitiendo un análisis detallado de las relaciones entre las diferentes clases de episodios de precipitación y la respuesta del drenaje superficial en las vertientes.

Se constataron diferencias importantes en el tiempo de respuesta y la cantidad mínima de precipitación necesaria para el comienzo del drenaje en las laderas. Las respuestas de la escorrentía superficial dependen de la ubicación morfológica de las porciones de las vertientes, y del total y la duración de la precipitación, principalmente.

Llegamos a la conclusión de que los procesos de drenaje en las vertientes debían ser analizados en una manera integrada y enmarcados en la secuencia de lluvias previas.

Palabras clave: hidrología de vertientes, cuenca hidrográfica, escorrentía superficial, flujo interno lento, flujo interno rápido.

INTRODUÇÃO

O comportamento de muitos movimentos de vertente está condicionado pelos processos hidrológicos (variação da quantidade de água armazenada nas zonas saturada e não saturada do solo, pela influência de macroporos, rede de fracturação e situações de obstrução da drenagem interna dos materiais) (Malet *et al.*, 2005; Van Asch, Buma & Van Beek, 1999).

Nestes casos, o desencadeamento dos movimentos de vertente é controlado por padrões de precipitação de diferentes características. A análise da precipitação e das ocorrências de movimentos de vertente permite estudar os limiares críticos de precipitação necessários ao seu desencadeamento. Estas investigações devem também ter em conta as características geomecânicas e hidrológicas dos movimentos de vertente (Van Asch, Buma & Van Beek, 1999).

Este trabalho pretende aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento hidrológico das vertentes em áreas de terraços agrícolas no Vale do Douro, localizadas em contextos litológicos diferentes. Compararam-se dados da precipitação e do escoamento superficial desenvolvido em terraços agrícolas de um campo experimental instalado numa área granítica (Campo Experimental de Baião) e noutra metassedimentar (Campo Experimental do Peso da Régua), para avaliar o efeito da litologia no comportamento hidrológico das vertentes e a sua importância para a análise da instabilidade (Fig. 1).

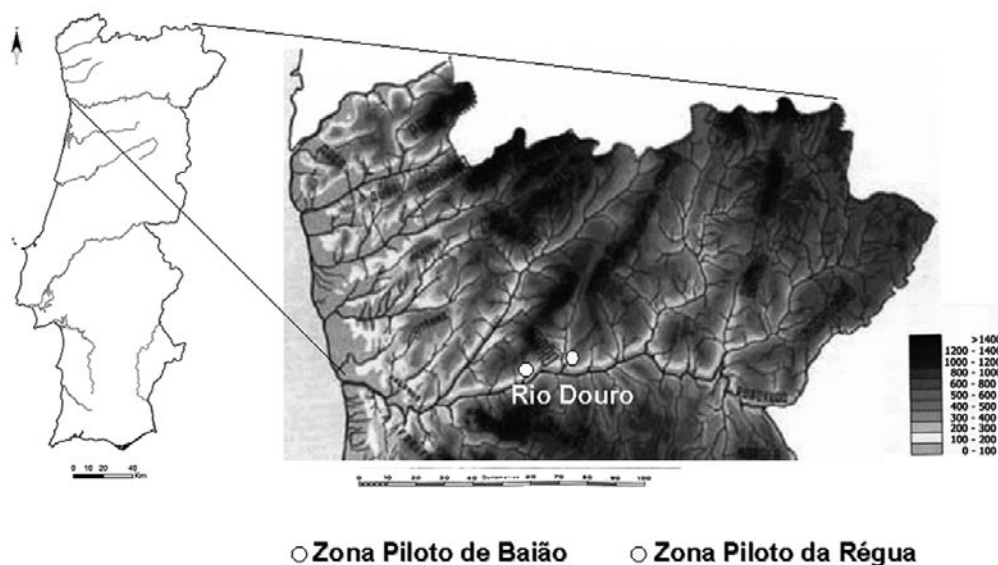


Figura 1. Localização dos campos experimentais de Baião e da Régua.

Nesse sentido, monitorizaram-se os processos hidrológicos das vertentes com terraços agrícolas que possuem os mesmos factores condicionantes verificados em situações de instabilidade já estudadas no N de Portugal (Bateira *et al.*, 2004; Bateira & Soares, 1997).

Para compreender a hidrologia à escala da vertente, partiu-se do princípio que a paisagem no seu conjunto pode ser dividida em pequenas unidades onde ocorrem processos hidrológicos, pedológicos e geomorfológicos semelhantes, que lhe confere uma identidade própria (Park & Van de Giesen, 2004; Park, McSweeney & Lowery, 2001; Martz, 1992; Mitchel, 1991).

O esquema experimental parte do pressuposto que os processos hidrológicos apresentam comportamentos distintos conforme a escala do sistema (Mendiondo & Tucci, 1997) por isso, os dados foram

recolhidos em diferentes locais das vertentes com terraços agrícolas, com as mesmas características morfológicas, de drenagem e de ocupação do solo, divergindo apenas no factor litológico.

Analisaram-se nos episódios de precipitação de diferentes tipologias, as características das precipitações antecedentes e do escoamento superficial desenvolvido nos terraços agrícolas. Desta forma, compreende-se a combinação dos processos de escoamento, infiltração e perdas de água e a sua influência na instabilidade de vertentes.

Por fim, compararam-se os resultados do escoamento superficial desenvolvido em parcelas de monitorização com características semelhantes a nível da localização na vertente, drenagem, ocupação do solo, exposição, declive e a tipologia de episódios de precipitação, apenas com litologia distinta.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cada campo experimental é composto por parcelas de monitorização do escoamento superficial abertas e fechadas com 20 m², localizadas em diferentes contextos geomorfológicos das vertentes (topo, meia vertente e base) e de drenagem (convergência e divergência), dotadas de limnígrafos de balança e data logger para registo do escoamento superficial, e possui uma estação meteorológica para o registo da precipitação. Em todos os equipamentos os dados foram registados com intervalos de 10 minutos, permitindo uma análise pormenorizada das relações entre os diferentes tipos de episódios de precipitação, a resposta do escoamento superficial nas vertentes (terraços agrícolas), tendo em conta as características dos episódios de precipitação.

Em todas as parcelas de monitorização caracterizou-se a capacidade de infiltração, circulação e armazenamento de água nos solos, como a textura dos materiais, a capacidade de infiltração de água no solo, a condutividade hidráulica e a resistência do solo.

A nível geral, as amostras dos materiais constituintes dos terraços agrícolas do campo experimental da Régua situam-se na área dos limos e argilas (lodo arenoso com raros seixos e lodo arenoso) e as do campo experimental de Baião na área das areias (areia lodosa e areia lodosa com raros seixos), segundo Folk (1954)¹.

A resistência do solo, registada com o penetrómetro de mão até um metro de profundidade (limite máximo de perfuração do equipamento), indicou que nos metassedimentos (Régua) foi mais difícil obter registos a profundidades superiores a 40 cm, uma vez que o solo é pedregoso e possui materiais muito compactados. Em Baião, obtiveram-se registos até 1 metro de profundidade em locais com maior espessura do manto de alteração granítico.

Os perfis de resistência do solo, indicam que nas parcelas de Baião há uma grande variação lateral da resistência das formações superficiais, típica de áreas de manto de alteração granítico. O perfil de resistência apresenta condições mais favoráveis à infiltração e circulação da água no perfil do solo em Baião do que na Régua. Neste último caso, o solo tem uma espessura pelicular que facilita o escoamento superficial. A resistência máxima do solo atinge valores mais elevados a menores profundidades e o solo é mais compacto do que em Baião.

As parcelas de monitorização em Baião possuem os valores mais elevados de infiltração de água no solo e uma maior duração do tempo de infiltração registado nas medições efectuadas com um infiltrómetro de duplo anel.

A condutividade hidráulica medida nas camadas superficiais do solo (45 cm) com um permeâmetro de Guelph permitiu a determinação da matriz do fluxo potencial, do parâmetro alfa e da saturação da condutividade hidráulica.

Por vezes, ocorrem resultados negativos na matriz do fluxo potencial relacionados com o facto do solo apresentar descontinuidades hidrológicas na sua estrutura que alteram a circulação da água no solo.

As parcelas de Baião apresentam uma saturação da condutividade hidráulica média mais elevada do que na Régua, o que corresponde a uma maior capacidade do solo conduzir água no seu interior. O mesmo comportamento repete-se nos valores médios da matriz de fluxo potencial, o que significa que em Baião há uma maior capacidade de absorção de água no solo, por efeito de capilaridade.

¹ Consultar Bateira, C. (coord.), 2006, p.21.

O parâmetro alfa apresenta valores médios mais variáveis em Baião, com valores mais extremos, o que significa que a velocidade de circulação de água no solo é mais variável em função da localização das parcelas de monitorização nas vertentes.

A recolha dos dados de precipitação e escoamento superficial realizou-se de Outubro de 2005 a Abril de 2006. O ano hídrico de 2005 foi extremamente seco, pelo que o início da leitura dos dados ocorreu após uma estação seca prolongada com uma duração de 4 meses (Junho a Setembro de 2005) sem qualquer registo de precipitação.

Durante o período em estudo identificaram-se as características da precipitação e do escoamento superficial desenvolvido nos terraços agrícolas, delimitando-se cada episódio chuvoso como um período de precipitação significativa² consecutiva, separada por um período seco mínimo de 2 horas.

A partir da adaptação da metodologia de Istok & Boersma (1986) para os objectivos deste trabalho, calcularam-se para cada episódio de precipitação as seguintes variáveis: precipitação total (mm), período seco anterior (horas), duração da precipitação (h), intensidade da precipitação (mm/h), pico de intensidade máxima da precipitação (mm/10 min), total de escoamento por campo experimental (ml), duração do escoamento (h), intensidade do escoamento por campo experimental (ml/h). Para cada episódio de precipitação foi ainda determinado o tempo de concentração do início do escoamento (h) e a precipitação mínima para haver desenvolvimento de escoamento (mm)³.

Na análise mais pormenorizada do desenvolvimento de escoamento de cada parcela de monitorização registamos o escoamento total por parcela (ml), a intensidade do escoamento por parcela (ml/h), o quociente de escoamento (ml/h/m²) e a infiltração e perdas de água por evaporação (l/m²).

Todas estas variáveis foram analisadas de acordo com a tipologia dos episódios de precipitação, definida a partir da duração e intensidade dos episódios de precipitação.

RESULTADOS

No campo experimental da Régua registou-se menos precipitação e escoamento superficial nos terraços agrícolas do que no Campo experimental de Baião. Em Baião, sempre que há precipitação, desenvolve-se escoamento superficial nos terraços agrícolas, enquanto que na Régua, com os mesmos totais de precipitação, a resposta é muito mais baixa. Ao contrário, na base dos muros registaram-se valores superiores (Fig. 2).

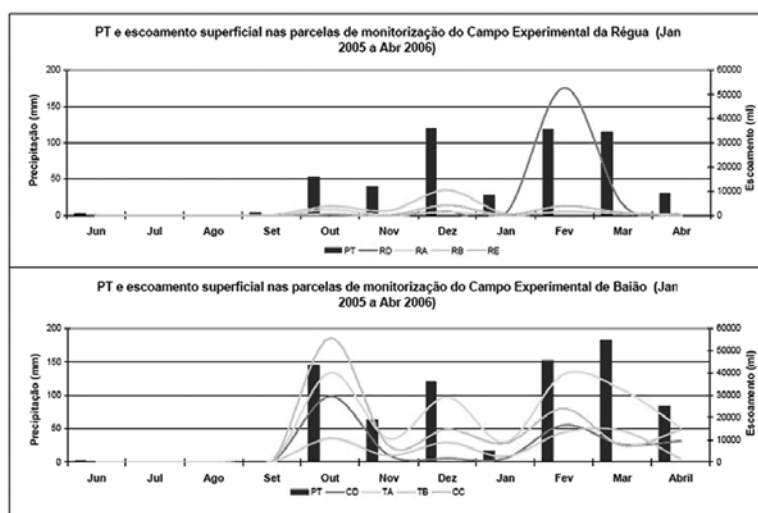


Figura 2. Totais mensais de precipitação e escoamento superficial total registado nas parcelas de monitorização nos Campos Experimentais da Régua e de Baião.

2 Entende-se por precipitação significativa as precipitações iniciais de um episódio com totais superiores a 0,5 mm/10 min.

3 O tempo de concentração para o início do desenvolvimento do escoamento e a precipitação mínima necessária para o seu desenvolvimento foram contabilizados a partir do início do episódio de precipitação.

O escoamento superficial nos terraços agrícolas teve uma maior duração média em Baião, onde, em média, a partir dos 2,6 mm de precipitação ocorre escoamento superficial. Na Régua, é necessária em média mais precipitação inicial⁴ (7,6 mm) para o início do desenvolvimento de escoamento superficial, que nem sempre se regista quando há precipitação.

Em Baião, o tempo necessário à ocorrência de escoamento superficial nas vertentes tem uma forte correlação com a duração da precipitação (0,87) e quanto maior for a duração da precipitação, maior é a duração do escoamento superficial.

A precipitação mínima para a ocorrência do escoamento superficial nas vertentes apresenta uma boa correlação com a intensidade da precipitação (0,81) no campo experimental de Baião. No entanto, na Régua não existe correlação entre estes indicadores.

Estes resultados devem-se ao facto do número de episódios de precipitação registados na Régua não serem suficientes para proceder a uma análise estatística⁵. Esta situação explica-se pela menor ocorrência de precipitações na área da Régua. Por esse motivo, é importante a continuação da recolha da informação neste campo experimental.

A generalidade dos episódios de precipitação registados possuem fracas intensidades (< 6 mm/h) em ambos os campos experimentais. Classificaram-se os episódios de precipitação em função da sua duração e intensidade (Fig. 3).

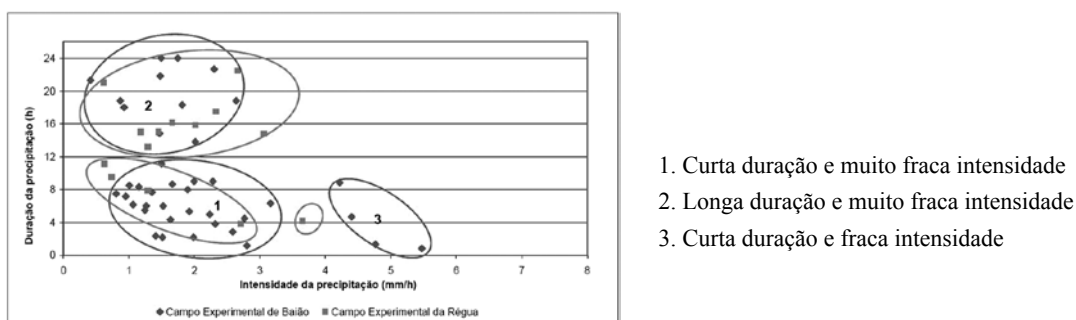


Figura 3. Tipologia de episódios de precipitação nos campos experimentais de Baião e da Régua.

No campo experimental de Baião 60% dos episódios de precipitação são de longa duração e muito fraca intensidade (tipo 2), 30% de curta duração e muito fraca intensidade (tipo 1) e apenas 10% de curta duração e fraca intensidade (tipo 3). No campo experimental da Régua, existem menos episódios em análise e verifica-se que predominam os episódios do tipo 2 (50%), seguidos pelos episódios do tipo 1 (40%).

Nos episódios de precipitação de longa duração e muito fraca intensidade (tipo 1), ambos os campos experimentais desenvolvem escoamento superficial de fraca intensidade (<2.000 ml/h), exceptuando-se as situações de episódios de precipitação ocorridos no início da estação húmida que desenvolveram escoamento superficial de maior intensidade (>8.000 ml/h) (Fig. 4). As primeiras precipitações encontraram um solo seco e compactado com menor capacidade de infiltração, promovendo o escoamento superficial. À medida que aumenta a capacidade de infiltração de água no solo, as intensidades de escoamento reduziram-se.

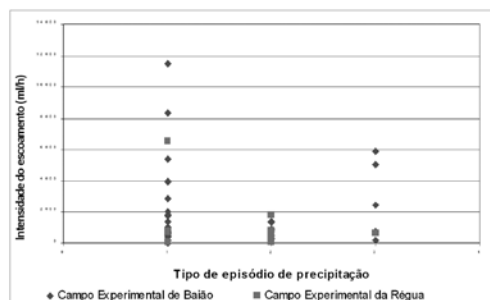


Figura 4. Intensidade de escoamento por tipologia de episódio.

4 O valor da precipitação inicial necessária para o desenvolvimento de escoamento foi medido desde o início da precipitação até ao início do registo do escoamento nas parcelas.

5 No campo experimental de Baião estudaram-se 40 episódios de precipitação e na Régua apenas 11.

Nos episódios de longa duração e muito fraca intensidade (tipo 2), a intensidade do escoamento é muito fraca nos dois campos experimentais (<2.000 ml/h), reflectindo um lento processo de infiltração ao longo de várias horas. Quando os episódios de precipitação são de curta duração e fraca intensidade (tipo 3), a média da intensidade do escoamento em Baião é 8 vezes maior do que na Régua (Fig. 5).

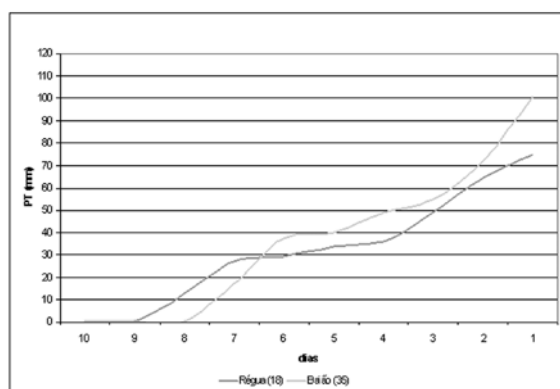


Figura 5. P. T. Acumuladas nos 10 dias anteriores a episódios de precipitação do Tipo 1 (Baião e Régua).

Avaliou-se a importância das características das precipitações antecedentes no desenvolvimento de escoamento superficial (De Alencar, Da Silva & Oliveira, 2006; Glade, Crozier & Smith, 2000; Istok & Boersma, 1986) com as características do episódio de precipitação em estudo.

Tal como Glade *et al* (2000) considerou-se que é importante analisar o período de 10 dias de precipitações antecedentes para o estudo dos limiares críticos de precipitação nos movimentos de vertente e dos processos.

TIPO DE EPISÓDIO	Tipo 1		Tipo 2				Tipo 3	
	Baião (35)	Régua (18)	Baião - B (28)	Régua - B (11)	Baião - A (27)	Régua - A (6)	Baião (32)	Régua (15)
Precipitação Total (mm)	14,42	10,39	49,73	40,82	21,79	26,88	20,5	15,21
Duração da Precipitação (h)	8,67	3,83	18,8	17,5	14,8	16,17	3,8	4,2
Intensidade da Precipitação (mm/h)	1,66	2,71	2,64	2,33	1,47	1,66	5,4	3,7
Total de escoamento (ml)	4.570	4.830	24.340	17.050	12.910	5.665	12.200	1.500
Duração do escoamento (h)	6	6	18,1	17,5	13,8	11,16	5	2,3
Intensidade do escoamento (ml/h)	762	805	1.340	974	933	508	2.440	644

Quadro 1 – Comparação das características dos episódios de precipitação e do escoamento superficial desenvolvido, por tipo de episódio de precipitação nos Campos Experimentais de Baião e da Régua.

Nos episódios de longa duração e muito fraca intensidade (tipo 2) compararam-se os episódios com fracas precipitações, 11 da Régua e 28 de Baião, com precipitações até ao 5º dia anterior ao episódio em estudo, antecedido por um período seco de 4 dias e os episódios com fortes precipitações, 6 da Régua e 27 de Baião, com valores de precipitação acumulada reduzidos até ao 3º dia anterior ao episódio em estudo (Fig. 6).

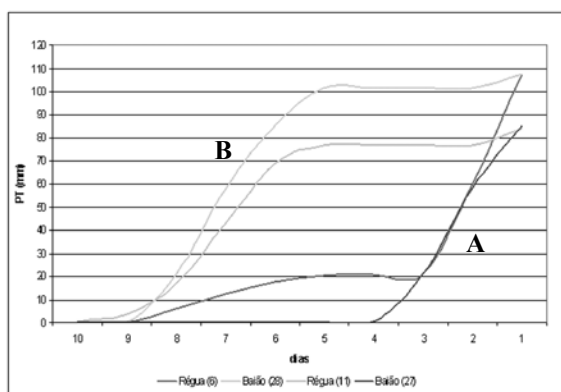


Figura 6. P. T. Acumuladas nos 10 dias anteriores a episódios de precipitação do Tipo 2 (Baião e Régua).

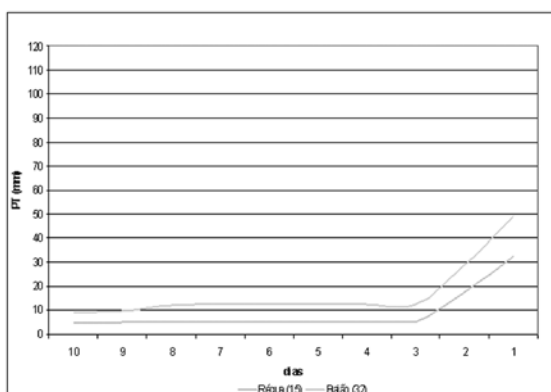


Figura 7. P. T. Acumuladas nos 10 dias anteriores a episódios de precipitação do Tipo 3 (Baião e Régua).

Apesar dos episódios de tipo 2 apresentarem totais de precipitações muito próximos, valores de duração e intensidade da precipitação semelhantes constata-se uma intensidade do escoamento maior em Baião do que na Régua (Quadro 2).

Nos episódios do tipo 3 (Fig. 7) compararam-se 2 episódios com uma sequência de precipitações com 7 dias de período seco anterior e precipitação no início da série inferior a 10 mm. Nos episódios registaram-se precipitações importantes nos 2 últimos dias.

Constata-se que não há tanta infiltração e a intensidade da precipitação é mais importante para desenvolver o escoamento superficial, principalmente em Baião. Aqui, choveram mais 5 mm do que na Régua e com uma maior intensidade da precipitação. No entanto, teve uma intensidade de escoamento quase 4 vezes maior do que na Régua.

Compararam-se os resultados do escoamento superficial das parcelas de monitorização fechadas CD (Baião) e RB (Régua), em situação de ligeira divergência de drenagem, com declives próximos dos 15° e ocupadas com vinha. Enquanto que a nível de textura a parcela CD é composta por areia lodosa e areia lodosa com raros seixos, a parcela RB tem uma composição mais fina (lodo arenoso e lodo arenoso com raros seixos).

Também se recorreu a 2 parcelas com convergência de drenagem: a parcela TB (Baião) com a RE (Régua), ambas fechadas, com declives de 18°, expostas a SW, localizadas próximo da base da vertente e com vinha. A parcela TB tem uma textura de areia lodosa e a RE de lodo arenoso e lodo arenoso com raros seixos.

A parcela RB apresenta em média a maior resposta do coeficiente de escoamento para todos os tipos de episódios, explicada pelo facto de ser uma parcela fechada, em situação de divergência de drenagem, com fraca capacidade de infiltração e localizada a meia vertente. Nas parcelas do campo experimental de Baião, a que possui maiores valores de coeficiente de escoamento é a CD, excepto nos episódios de precipitação de curta duração e fraca intensidade. Apesar de se localizar numa área com uma ligeira divergência de drenagem, tem um caminho a montante que desvia as águas da escorrência superficial para o terraço agrícola, onde está instalada (Fig. 9).

Nas parcelas de monitorização em situação de convergência de drenagem (Fig. 8), obtiveram-se baixos valores de coeficiente de escoamento, resultante da sua localização nas vertentes. A parcela TB localizada próximo da base da vertente teve uma resposta fraca do escoamento superficial, excepto nos episódios de precipitação do tipo 3, o qual resulta da integração do escoamento superficial com o fluxo translativo nos granitóides.

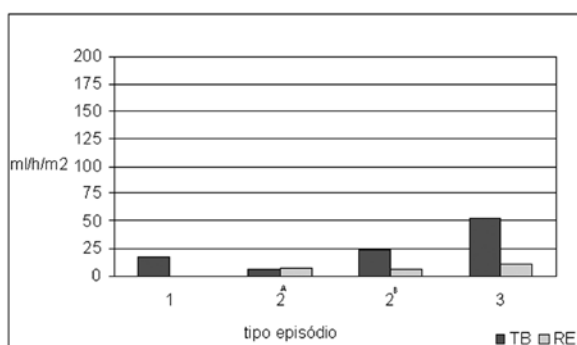


Figura 8. Coeficiente de escoamento (ml/h/m²) nas parcelas de monitorização com convergência de drenagem em Baião (TB) e na Régua (RE).

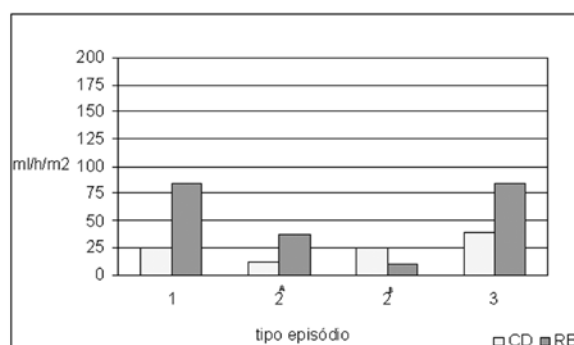


Figura 9. Coeficiente de escoamento (ml/h/m²) nas parcelas de monitorização com divergência de drenagem em Baião (CD) e na Régua (RB).

A parcela RE tem baixos valores de escoamento superficial, apesar de estar numa área de convergência de drenagem, porque nas áreas de xisto o escoamento desenvolve-se em grande parte através do fluxo interno rápido, por isso há baixos valores de coeficiente de escoamento superficial e elevados valores de escoamento na base do muro localizado a jusante desta parcela de monitorização.

Para cada parcela calculou-se a quantidade de água que foi infiltrada ou perdida por episódio de precipitação, subtraindo à precipitação total (em l/m²) o valor do escoamento superficial registado dentro da área da parcela (l/m²) (Figs. 10 e 11). Em média, as parcelas da Régua têm maiores valores de infiltração e perdas de água, independentemente da sua posição morfológica.

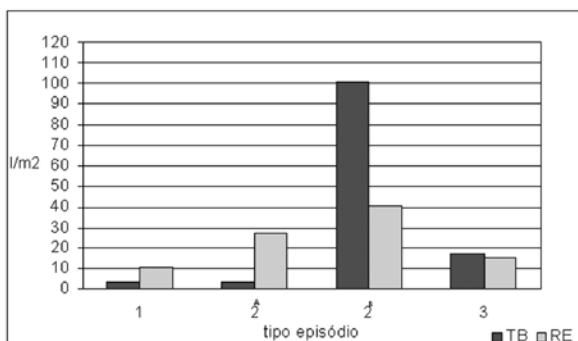


Figura 10. Infiltração e perdas de água (l/m²) nas parcelas de monitorização com convergência de drenagem em Baião (TB) e na Régua (RE).

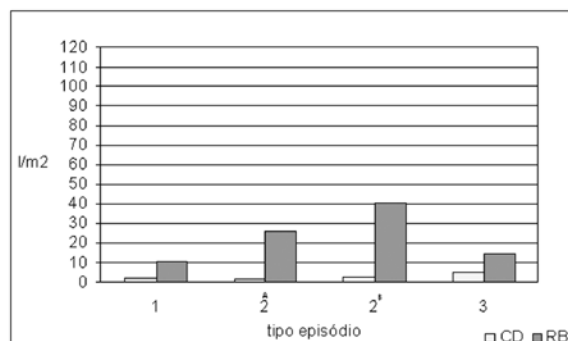


Figura 11. Infiltração e perdas de água (l/m²) nas parcelas de monitorização com divergência de drenagem em Baião (CD) e na Régua (RB).

Em Baião, a parcela com valores mais elevados de infiltração e perdas de água é a TB, que se situa numa área de convergência de drenagem. Excepcionalmente no tipo de episódio 2B (longa duração e fraca intensidade com precipitações acumuladas nos 5 dias anteriores, superiores a 70 mm) esta parcela tem um valor de infiltração e perdas de água de 100 l/m², muito superior ao da parcela RE também numa situação de convergência de drenagem.

DISCUSSÃO

Os dados deste trabalho dizem respeito apenas a episódios de precipitação de fraca ou muito fraca intensidade. As precipitações que antecedem os episódios de muito fraca intensidade têm uma maior influência no processo de infiltração, enquanto que as de fraca intensidade e curta duração desenvolvem mais escoamento superficial. Na análise das precipitações acumuladas constata-se que é mais importante o acréscimo na curva das precipitações nos 2 dias anteriores e as próprias características do episódio de precipitação para explicar o escoamento superficial desenvolvido.

Quanto maior for a intensidade e a quantidade de precipitação do episódio, maior é a intensidade do escoamento. Nos episódios do tipo 3, mesmo com precipitações totais próximo os 20 mm regista-se uma intensidade de escoamento maior do que nos outros tipos de episódios (sobretudo em Baião) e com precipitações acumuladas para os 10 dias antecedentes inferiores a 10 mm.

Perante episódios de fraca intensidade, com as mesmas características e sequências de precipitações anteriores, a área de granito desenvolveu mais escoamento superficial do que nos metassedimentos. Esta situação é contraditória, porque as formações superficiais de Baião têm uma maior capacidade de infiltração e circulação da água do que na Régua, conforme as medições efectuadas com o infiltrómetro e permeâmetro.

As formações superficiais dos metassedimentos têm uma textura com forte componente limo argilosa, apresentando uma reduzida capacidade de infiltração, que aumenta em função da regularidade da lavra. Por esse motivo, compreendem-se os bons valores de infiltração nas parcelas de monitorização na área de metassedimentos.

Contudo, deve-se continuar com a recolha de dados no sentido de analisar o escoamento superficial desenvolvido em episódios de precipitação com maiores intensidades. A partir do momento em que estas formações superficiais formam uma camada impermeável, o escoamento superficial poderá ter uma maior importância, comparativamente com os granitóides.

Apesar do reduzido número de episódios de precipitação em estudo nos metassedimentos, constatou-se que o escoamento superficial tem maior importância junto à base dos muros a partir da meia vertente. Nesta situação deduz-se que se está perante um caso de condução do escoamento superficial para caminhos preferenciais de drenagem no interior das formações superficiais, que conduzem a água rapidamente para locais a jusante da vertente. Se assim for, esta situação justifica a menor duração média do escoamento superficial nos metassedimentos, em episódios de tipologia e características muito próximas

das registadas nos granitóides. Assim, os metassedimentos não têm uma grande capacidade de retenção de água ao longo do tempo e os processos hidrológicos não dependem tanto das precipitações acumuladas.

Nos granitóides, quanto maiores forem as precipitações acumuladas antes do episódio de precipitação, maior será a resposta do escoamento superficial, comparativamente com os metassedimentos, devido à interacção de vários processos hidrológicos em simultâneo (fluxo interno saturado, fluxo translativo, escoamento superficial).

Mas como se podem explicar os bons valores de infiltração e escoamento superficial que ocorrem nos granitóides? Os mantos de alteração graníticos têm boas condições de infiltração e de circulação da água no solo, que vai aumentar a pressão sobre o fluxo interno nas áreas a montante de rupturas de declive, determinando o afluxo da água à superfície (fluxo interno translativo). Este afluxo de “águas velhas” à superfície é observável nas parcelas de monitorização próximas da base da vertente, onde há a libertação progressiva da água infiltrada para a superfície.

Nas parcelas fechadas o efeito da transferência do escoamento superficial de fora da parcela à partida é anulado, excepto se o fluxo interno translativo emergir junto à base da vertente, onde a parcela está instalada. Nos metassedimentos não se encontram evidências de transferências e o escoamento superficial desenvolvido na área da parcela é maior nas áreas com maior resistência do solo e divergência de drenagem.

As parcelas localizadas em situação de convergência de drenagem possuem valores mais elevados de infiltração e perdas de água, enquanto que as que estão em situação de divergência de drenagem têm mais escoamento superficial. Estes resultados explicam-se pela localização das parcelas nas vertentes e pela distinta litologia.

Por outro lado, pelo facto dos dados se referirem a terraços agrícolas, os bons valores de infiltração em granitos e metassedimentos podem também justificar-se por se tratarem de parcelas sujeitas a lavra, com cobertura herbácea e arbustiva (vinha). Para comprovar esta afirmação seria necessário comparar os resultados obtidos em parcelas de monitorização do escoamento superficial em áreas sem terraços agrícolas.

CONCLUSÕES

O escoamento superficial não pode ser explicado apenas pela variável da precipitação, mas pela interacção com outras variáveis como a intensidade e as precipitações antecedentes (De Alencar, Da Silva & Oliveira, 2006).

O quociente de escoamento aumenta perante intensidades de precipitação superiores a 5 mm. Quando existem sequências de episódios de fraca ou muito fraca intensidade são mais importantes as características de resistência e infiltração do solo em cada parcela para explicar diferenças entre as respostas nos granitos e nos xistos.

O funcionamento hidrológico dos terraços agrícolas em granitóides com espessos mantos de alteração sugere o desenvolvimento de vários processos de escoamento (superficial, interno lento e interno rápido), resultante da boa capacidade de infiltração e de circulação de água no interior dos materiais.

A nível de estabilidade de vertentes devem-se ter em atenção situações de obstruções da drenagem interna dos materiais (caixas de falha argilizadas, filões, muros e canalizações deficientes, caminhos que desviam a drenagem e terraços construídos), porque possuem condições para concentrar a drenagem e aumentar a pressão interna dos materiais. Por isso, os limiares críticos de precipitações acumuladas para o desenvolvimento de movimentos de vertente serão maiores do que nos metassedimentos.

Desta forma, os granitóides com espessos mantos de alteração possuem melhores condições para o desenvolvimento de movimentos de vertente profundos (movimentos complexos e deslizamentos) ou fluxos de detritos em situações de obstrução de drenagem, principalmente nas áreas de convergência de drenagem, onde há mais infiltração e logo maior pressão de água no solo.

Os terraços agrícolas em áreas de metassedimentos, com uma espessura pelicular e textura mais argilosa, não têm tanta capacidade de armazenamento de água no solo, pelo que tendem a desenvolver com mais frequência escoamento superficial e escoamento interno rápido ao longo de caminhos preferenciais. Desta forma, se o escoamento interno rápido for obstruído, originam-se com maior frequência movimentos de vertentes superficiais (fluxos de lama e fluxos de detritos).

Por todas estas razões, percebe-se porque na área de metassedimentos (Bacia Hidrográfica da Meia Léguas) se registaram cerca de 400 situações de instabilidade em terraços agrícolas com muro de suporte (principalmente desabamentos)⁶. Enquanto que na área de granitóides o número de ocorrências é muito menor, encontrando-se pequenos desabamentos, deslizamentos, cicatrizes e depósitos de antigos fluxos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bateira, C.; Soares, L. (1997) Movimentos em massa no Norte de Portugal: factores da sua ocorrência. *Territorium*, n.º 4, Coimbra, pp. 63-77.
- Bateira, C.; Seixas, A.; Pereira, S. (2004) Notícias de catástrofes do Douro: uma leitura geográfica na dinâmica do meio físico. *Douro, Estudos e Documentos*, n.º. 17, Actas do 2.º Encontro Internacional da História da Vinha e do Vinho no Vale do Douro, vol. 1, GEHVID, Porto.
- Bateira, C. (coord.) (2006) *Recuperação de Paisagens de Terraços e Prevenção de Riscos Naturais no Vale do Douro*. Projecto TERRISC, Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- De Alencar, D. B. S.; Da Silva, C. L.; Oliveira, C. A. S. (2006) Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia do distrito federal. *Eng. Agri. Jaboticabal*, 26 (1), pp. 103-112.
- Glade, T.; Crozier, M. J.; Smith, P. (2000) Applying Probability Determination to Refine Landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical “antecedent daily rainfall model”. *Pure and Applied Geophysics*, Birkhäuser Basel, 57 (6-8), pp. 1059-1079.
- Istok, J. D.; Boersma, L. (1986) Effect of antecedent rainfall on runoff during low intensity rainfall. *Journal of Hydrology*, Elsevier Science, Amsterdam, 88 (3-4), pp. 329-342.
- Malet, J. P.; Van Asch, T.; Van Beek, R.; Maquaire, O. (2005) Forecasting the behaviour of complex landslides with a spatially distributed hydrological model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, pp. 71-85.
- Martz, L. W. (1992) The variation of soil erodibility with slope position in a cultivated Canadian prairie landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*, Chichester, Wiley, 17 (6), pp. 543-556.
- Mendonça, E. M.; Tucci, C. E. M. (1997) Escalas Hidrológicas II. Diversidade de Processos na Bacia Vertente. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, 2 (1), pp. 59-112.
- Mitchell, C. (1991) *Terrain Evaluation*. Longman Scientific & Technical, New York.
- Park, S. J.; McSweeney, K.; Lowery, B. (2001) Identification of the spatial distribution of soils using a process-based terrain characterization. *Geoderma*, 103, pp. 209-272.
- Park, S. J.; Van de Giesen, N. (2004) Soil landscape delineation to define spatial sampling domains for hillslope hydrology. *Journal of Hydrology*, 295, pp. 28-46.
- Van Asch, T.; Buma, J.; Van Beek, L. P. H. (1999) A view on some hydrological triggering systems in landslides. *Geomorphology*, 30, pp. 25-32.

⁶ Levantamento de campo de Maio de 2005 efectuado por Seixas, A.; Pereira, S.; Hermenegildo, C. e Cancela, M.