



Universidade de  
Aveiro  
2010

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Renata Liliana da  
Costa Marques**

**A influência da intensidade e da energia da chuva,  
natural e artificial, sobre a erosão do solo por  
salpicos**



Universidade de  
Aveiro  
2010

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Renata Liliana da  
Costa Marques**

**A influência da intensidade e da energia da chuva,  
natural e artificial, sobre a erosão do solo por  
salpicos**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energia e Gestão do ambiente, realizada sob a orientação científica de Jan Jacob Keizer, PhD, Investigador Auxiliar do CESAM, e da Professora Doutora Celeste O.A. Coelho, Professora Catedrática do Departamento do Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais pelo seu incansável apoio.

## **o júri**

presidente

Doutor António José Barbosa Samagaio, Professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Jan Jacob Keizer, PhD, Investigador Auxiliar do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro (Orientador)

Prof.<sup>a</sup> Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho, Professora Catedrática do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.(Co-Orientadora)

Prof. Doutor António José Dinis Ferreira, Professor Adjunto do Departamento de Ciências Exactas e do Ambiente da Escola Superior Agrária de Coimbra.

## agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Jacob Keizer, pela sua perseverança, liderança, dedicação, apoio, paciência, compreensão. Sem o qual esta tese não teria sido possível. Para além de mestre, um exemplo a seguir.

Agradeço o apoio institucional da Universidade de Aveiro e da FCT por possibilitar a execução dos projecto EROSFIRE e EROSFIRE II que, através dos seus fundos, me auxiliaram na monitorização dos dispositivos colocados no campo, assim como me forneceram os materiais utilizados no decorrer deste trabalho e ainda espaços disponíveis para a realização da análise de amostras e simulações.

Agradeço também:

À professora Doutora Celeste e Doutor António Samagaio por me ter apresentado este tema e proporcionado esta nova experiência de vida.

À Fátima pela fiel amizade e incondicional auxílio.

À Ana, Diana, Isabel, Joana que para além de me acudirem no trabalho, tanto de campo como laboratorial, trouxeram animo para as tarefas.

À Marifé, pela amizade e disponibilidade.

À Maruxa que com a sua extensa experiência, em trabalho de campo, me foi acompanhando e formando.

Ao Nuno (Técnico da Oficina do DAO), Isabel (Técnica de Laboratório do DAO) e Idalina pela companhia e felicidade que me transmitiram durante todo o processo da tese.

Ao Paulo Pinheiro, por me ter auxiliado a utilizar o auto-cad.

Ao professor Alexandre Macedo pelas nossas conversas sobre o clima e precipitação.

À minha nova irmã açoriana, Tatiana, e família por me terem auxiliado nos momentos de maior pressão.

Ao meu namorado, Luís Tavares, por toda a sua ternura e compreensão.

Às minhas amigas por compreenderem a minha ausência e pela força que me deram para continuar.

## palavras-chave

Erosão do solo por salpicos, Energia cinética da chuva

## Resumo

O presente trabalho propõe-se relacionar a energia associada à chuva com a erosão do solo por salpicos em áreas recentes ardidas.

Com esta finalidade, foi realizado um trabalho experimental, no qual se estudou a relação entre as características da chuva, como precipitação acumulada e energia, com as quantidades de solo movido por salpicos de terrenos florestais, recentemente ardidos e terraçados, situados no concelho de Sever do Vouga, no centro de Portugal.

Efectuou-se uma monitorização, aproximadamente semanal, entre Setembro de 2007 a Maio de 2008 de dois tipos de dispositivos de recolha do solo. Estes dispositivos foram instalados em três terrenos com plantações de eucalipto recentemente ardidos e lavrados em terraços. Num dos terrenos o terraceamento tinha sido feito antes de fogo, e nos outros dois o terraceamento foi feito após o incêndio florestal, diferindo no tempo desde o incêndio até ao início do estudo. Esta monitorização, no campo, envolveu, igualmente, a recolha de dados de chuva através de uma estação meteorológica.

Ao longo do período do estudo foram realizadas 16 leituras de precipitação e de recolha de solo movido por salpicos, obtendo um total de precipitação de aproximadamente 870 mm e um intervalo de valores de solo movido por salpicos entre 0,08 a 3 g/m<sup>2</sup>/mm (encontrando-se na ordem de grandeza dos valores obtidos por estudos anteriores elaborados por Terry(1996) e Shakesby et al.(1993)). Os valores entre a precipitação acumulada e energia cinética da chuva e as quantidades de solo movido por salpicos apresentam uma forte correlação.

**keywords**

Splash erosion, rainfall kinetic energy

**abstract**

The present work aims to relate kinetic energy of rain with splash erosion of recent burned areas.

With this purpose, an experimental work was carried through, in which had studied the relation between the characteristics of rain, as accumulated precipitation and energy, with the amounts of splash erosion of forest lands, recently burned and terraced areas, situated in district of Sever of the Vouga, in the center of Portugal.

The monitoring was made, approximately weekly, between September of 2007 the May of 2008. Two types of splash measurement devices were used, cups and "Terrys". These devices were installed in three eucalypt plantations in recently burned, all of which involved terraces. At one of the sites, the terraces had been made before fire, whereas at the other two sites the terraces were made after the fire but at different times in relation to the start of this study. Fieldwork further involved the collection of rainfall data from an automatic and various totaliser rain gauges..

During the study period, 16 measurements of precipitation and splash erosion were done., The total precipitation during this period amounted to about 870 mm, whereas the average splash erosion rates varied between 0,08 and 3 g/m<sup>2</sup>/mm. These values are (of the same order of magnitude of as those obtained by previous splash erosion studies in a rip-ploughed eucalypt stand by Terry (1996) and Shakesby et al. (1993). In the present study, both total rainfall amount and its kinetic energy revealed a strong relation with the average amounts of splash erosion.





## Índice

Agradecimentos.....	v
Resumo e palavras-chave.....	vii
Abstract and key words.....	ix
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. EROSIÃO DO SOLO POR SALPICOS .....	2
1.3. OBJECTIVOS .....	6
<b>CAPÍTULO 2 - ÁREA E LOCAIS DE ESTUDO.....</b>	<b>7</b>
2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA .....	7
2.2. CLIMA .....	8
2.3. GEOLOGIA E SOLOS .....	8
2.4. VEGETAÇÃO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	9
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
3.1. DETERMINAÇÃO DE EROSIÃO DO SOLO POR SALPICOS NO CAMPO .....	10
3.3. PROPRIEDADES DOS SOLOS .....	13
3.3. MEDIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO .....	15
<b>CAPÍTULO 4 -RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
4.1. QUANTIDADES TOTAIS DE SOLO MOVIDO POR SALPICOS .....	17
4.2. RELAÇÃO COM PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO .....	20
4.3. VARIAÇÃO TEMPORAL .....	24
4.4. DIFERENÇAS NAS QUANTIDADES DE SOLO SALPICADO ENTRE OS DOIS DISPOSITIVOS .....	27
4.5. RELAÇÃO ENTRE EROSIÃO POR SALPICOS E AS CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO .....	31
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1- Dispositivos de recolha de solo movido por salpicos. a) Esquema do dispositivo chamado Terry. b) Esquema do dispositivo chamado Cup.c) Fotografia no campo de um Cup e um Terry .....	5
Figura 2-1- Imagens de satélite da área de estudo. (Fonte: maps.google.com).....	7
Figura 3-1- Esquema da posição dos dispositivos no terreno P-POST .....	11
Figura 3-2-Esquema da posição dos dispositivos no terreno P-PRE .....	11
Figura 3-3-Esquema da posição dos dispositivos no terreno S-POST .....	12
Figura 3-4-Teste de repelência .....	13
Figura 3-5- Procedimento experimental seguido para determinação da Textura do solo. ..	14
Figura 3-6- Crivagem .....	15
Figura 3-7-Dispositivos de medição da precipitação. a) pluviómetro; b) Davis Weather Monitor II; c) Disdómetro (Thies laser precipitation monitor) .....	15
Figura 4-1- Comparação de quantidades de solo movidos por salpicos recolhidos noutros estudos .....	19
Figura 4-2- Percentagem de cada uma das fracções de agregados obtidas por crivagem dos solos, retirados em redor dos Cups (C) e Terrys(T), posicionados nos cinco terraços(A,B,C,D,E) dos três locais de estudo P-POST, P-PRE e P-POST.....	23
Figura 4-3- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, nos diferentes terrenos do estudo, medidos pelo dispositivo Cups.....	25
Figura 4-4- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, nos diferentes terrenos do estudo, medidos pelo dispositivo Terry .....	26
Figura 4-5- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, no local P-PRE, pelos dois dispositivos .....	26
Figura 4-6- Relação entre os valores das medianas de solo recolhido por Cups e Terrys, no terreno que estava lavrado antes do incêndio, Pessegueiro do Vouga. ....	28
Figura 4-7- Relação entre os valores das medianas de solo recolhido por Cups e Terrys, no terreno lavrado após fogo, Soutelo. ....	28
Figura 4-8- Relação entre os valores das medianas de solo recolhido por Cups e Terrys, no terreno lavrado após fogo, Pessegueiro do Vouga. ....	29
Figura 4-9- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, recolhido nos diferentes dispositivos do estudo, em P-PRE. ....	29
Figura 4-10- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, recolhido nos diferentes dispositivos do estudo, em S-POST. ....	30
Figura 4-11- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, recolhido nos diferentes dispositivos do estudo, em P-POST. ....	30
Figura 4-12- Valores de precipitação acumulada, coincidente com os períodos de recolha de solo movido por salpicos, ao longo do período de estudo, nos três terrenos.....	31
Figura 4-13-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno P-PRE. ....	32
Figura 4-14-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno ST.....	32
Figura 4-15-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno P-POST.....	33

Figura 4-16-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno P-PRE. .... 33

Figura 4-17-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno S-POST..... 34

Figura 4-18-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno P-POST..... 34

Figura 4-19- Energia cinética acumulada, por período de recolha, ao longo do período de estudo. (sem dados para o período de..... 35

Figura 4-20- Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e energia cinética acumulada. No terreno P-PRE..... 36

Figura 4-21-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e energia cinética acumulada. No terreno T. .... 36

Figura 4-22-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e energia cinética acumulada. No terreno P-POST. .... 37

Figura 4-23-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e energia cinética acumulada. No terreno P-PRE..... 37

Figura 4-24-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e energia cinética acumulada. No terreno S-POST. .... 38

Figura 4-25-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e energia cinética acumulada. No terreno P-POST. .... 38

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1-Classificação da Repelência do solo à água. (Dekker e Jungerius (1990)).**Erro! Marcador não definido.**

Tabela 4-1- Valores totais (em  $g/m^2 \cdot mm$ ), por local estudo e dispositivo utilizado das medianas de erosão por salpicos dos 16 períodos de recolha solo, por terreno e dispositivo utilizado ..... **Erro! Marcador não definido.**

Tabela 4-2- Valores mínimos e máximos, das medianas por milímetro de precipitação, de solo movido por salpicos consoante o dispositivo de recolha e terreno de estudo.....**Erro! Marcador não definido.**

Tabela 4-3-Composição granulométrica e classe textural dos solos, nos três terrenos de estudo..... **Erro! Marcador não definido.**

Tabela 4-4- Diâmetro médio ponderado(DMP), retirados em redor dos Cups (C) e Terrys(T), posicionados nos cinco terraços(A,B,C,D,E) dos três locais de estudo P-POST, P-PRE e P-POST. .... **Erro! Marcador não definido.**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

## **Renata Marques**

S-POST- Terreno em Soutelo onde o terraceamento foi feito, aproximadamente 10 meses, após o incêndio do verão de 2006.

P-PRE- Terreno em Pessegueiro do Vouga onde o terraceamento foi feito, aproximadamente um ano, antes do incêndio do verão de 2007

P-POST- Terreno em Pessegueiro do Vouga onde os terraços foram feitos, aproximadamente um mês, após incêndio do verão de 2007

## Capítulo 1 - Introdução

### 1.1. Enquadramento

O presente trabalho surgiu no seguimento do projecto Erosfire (POCTI/AGR/60354/2004), que tem como principal objectivo, a avaliação de modelos de erosão existentes para o prognóstico da erosão de solo em áreas florestais recentemente ardidadas. Por várias razões, o projecto EROSFIRE optou por realizar experiências de simulação da chuva (RSE) como o método principal para recolher dados da erosão, de entrada no MEFIDIS (Nunes et al, 2005), que foi seleccionado como o modelo principal a ser testado. Com o objectivo de comparar as taxas da erosão dos RSE com aquelas sob precipitação natural, foram instaladas no campo micro-parcelas com respectiva monitorização. As discrepâncias possíveis entre as taxas de erosão, simuladas e naturais, poderão ser explicadas, também, através de diferenças na erosão de solo por salpicos uma vez que é considerado um factor chave da erosão (Ellison, 1944) sobretudo no estudo à micro-escala.

O presente estudo tem, portanto, como objectivo contribuir não só para o projecto Erosfire, mas também para o projecto Erosfire II, uma vez que ambos intencionam prever cenários de erosão do solo em áreas florestais recentemente ardidadas e consequentemente identificar métodos de actuação em terrenos após o incêndio.

A erosão por salpicos em áreas ardidadas e a sua relação com as características da chuva, não é novidade em termos de investigação, no entanto, devido à sua especificidade, uma vez que não se pode ter em conta somente a energia da chuva de cada evento, mas também os diferentes tipos de solo e tamanho das partículas que o compõe (Sharma e tal, 1991) e as características da camada de água que se forma à superfície (Moss and Green,1983, Kinnell,1991, Lequédois et al.,2005), os estudos anteriores são fortemente específicos e difíceis de extrapolar a áreas maiores que não pertencem à área de estudo de onde a amostra foi recolhida (Van Dijk e tal, 2002).

Perto das áreas de estudo dos projectos, anteriormente mencionados, existem dois estudos realizados sobre erosão por salpicos em áreas florestais recentemente ardidadas, de Terry e Shakesby, apresentando algumas limitações, tais como poucas amostras e longos períodos entre recolhas e curtos períodos de estudo, respectivamente.

O facto de se ter escolhido terrenos terraçados deve-se, não só ao facto de evitar que houvesse uma intervenção no terreno após a instalação dos dispositivos de recolha, mas também ao facto da acção integrada entre a equipa do projecto Erosfire com a U. Complutense Madrid, no projecto intitulado “Acronym”( The importance of mechanical erosion in forest management following wildfires) cujo objectivo assenta num melhor conhecimento e entendimento dos processos e factores envolvidos na erosão mecânica da floresta, especialmente após fogos florestais.

## **1.2. Erosão do solo por salpicos**

A erosão do solo por salpicos – splash erosion – é um processo na erosão do solo, representando a primeira etapa de renovação de partículas do solo pela acção da água. (Ellison,1944). A erosão do solo por salpicos pode ser definida como a perda de material do solo causada unicamente pela acção das gotas de chuva que caem numa superfície.

A acção das gotas de chuva nas partículas do solo é mais fácil de entender se considerarmos o impulso de uma gota caindo na superfície do solo. A transferência do impulso às partículas do solo tem dois efeitos. Primeiro, fornece uma força de consolidação, compactando o solo, e segundo, produz uma força disruptiva. A segunda consiste na dispersão da água após o impacto no solo, a velocidade local destes jactos é aproximadamente o dobro da velocidade da gota de chuva de impacto (Huang et al.,1982), sendo a suficiente para imprimir velocidade a algumas partículas do solo, lançando-as para o ar. (Mutchler & Young, 1975) Portanto, as gotas de chuva são, por um lado agentes de consolidação e por outro de dispersão. O efeito da consolidação é observado na formação de uma crosta à superfície de geralmente somente alguns milímetros de densidade. Esta crosta superficial resulta da obstrução dos poros por compactação do solo e pelo preenchimento dos espaços dos poros da superfície pelas partículas finas depositadas após terem sido soltas dos agregados do solo, pelo impacto das gotas de chuva( Morgan, 2005).

A separação de solo por salpicos pode ser definida como a separação e a remoção de partículas do solo na superfície pelo impacto das gotas de chuva. Há distinção entre o solo movido por salpicos recolhido por uma única gota de chuva, como pode ser observado em experiências laboratoriais, e por várias gotas como na chuva natural. O solo movido por salpicos observado por uma única gota pode ser separado em três etapas distintas:

- a) O impacto de uma gota de chuva, em queda, no solo ou numa película fina de água que cobre a superfície do solo;
- b) A separação de pequenos grânulos do solo, de micro-agregados ou de partículas de solo primário, por transferência de energia da gota de chuva em queda ao solo ou à película de água.
- c) O movimento de partículas do solo para fora do ponto de impacto original da gota de chuva ( Terry, 1992).

A resposta de um solo a uma dada precipitação depende do seu índice de humidade e, conseqüentemente, da sua estrutura e da intensidade da chuva. Le Bissonnais(1990) descreve três possibilidades de resposta:

- Se o solo for seco e a precipitação de alta intensidade, os agregados do solo quebram-se rapidamente. Esta é uma quebra pela compressão do ar acima da parte onde se irá molhar. A capacidade da infiltração reduz-se rapidamente e em superfícies muito lisas gera-se escorrência após apenas alguns milímetros de chuva. Em superfícies mais ásperas, a escorrência demora mais para se formar.
- Se os agregados estiverem inicialmente parcialmente molhados ou a intensidade da chuva for baixa, ocorrem micro-fracturas e os agregados quebram em agregados mais pequenos. A aspereza superficial assim diminui mas a infiltração continua alta, devido aos grandes espaços intersticiais entre os micro-agregados.
- Se os agregados estão inicialmente saturados, a capacidade de infiltração depende da saturação da condutividade hidráulica do solo e a eventual selagem do solo.

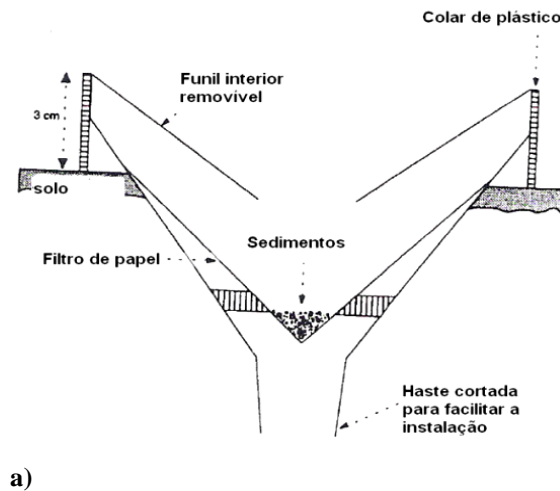
Para além das propriedades da chuva, as propriedades do solo e o coberto da superfície são factores importantes na determinação da erosão do solo por salpicos (kinnell, 1991; Sharma et al.,1991; Legout et al., 2005; Morgan 2005). Os fogos florestais podem alterar a erosão por salpicos através dos seus efeitos no solo e da sua parcial remoção de vegetação, especialmente durante um ou dois anos após o fogo (Shakesby and Doerr, 2006).

A erosão do solo por salpicos é medida nas mesmas unidades que os outros tipos de erosão do solo ( $\text{g/m}^2$  ou mm), dependendo se é registada como a perda de solo por unidade de área ou como medida da redução da superfície. As taxas de erosão do solo por Salpicos são medidas tanto por unidade de tempo ( $\text{g/m}^2/\text{yr}$  ou  $\text{mm}/\text{yr}$ ) ou por unidade de chuva ( $\text{g/m}^2/\text{mm}$ )(Terry,1992).

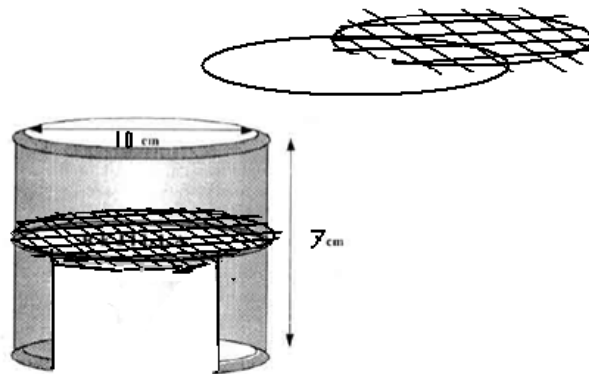
Relativamente aos dispositivos de recolha de solo movidos por salpicos existentes, foram escolhidos dois, aos quais que se deu o nome de Terrys e Cups (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.** c), o primeiro porque foi desenvolvido por Terry(1989) e Cups porque é o nome usado pelos seus autores, foram desenvolvidos por Poesen and Torri(1988) e modificados por Molina e Llinares(1996). Foram escolhidos os Cups, devido à sua simplicidade de construção e aplicação. Os dispositivos Terrys foram escolhidos devido a já terem sido utilizados em estudos anteriores na mesma região (Terry,1989) e foi construído com o objectivo de minimizar as perdas de solo do interior do dispositivo.

Este último modelo foi desenhado por Terry(1989), tem 11,5 centímetros de diâmetro interno e fica a uma altura de 3 cm acima do solo(Figura 1-1 a). O Cup tem, também, uma altura de 3 cm acima do solo e 10 centímetros de diâmetro(Figura 1-1 b).





a)



b)



c)

Figura 1-1- Dispositivos de recolha de solo movido por salpicos. a) Esquema do dispositivo chamado Terry. b) Esquema do dispositivo chamado Cup. c) Fotografia no campo de um Cup e um Terry

Os índices que dizem descrever a erosividade da chuva são, por exemplo, o EI30 (Wischmeier 1959), o  $KE > 25$  (Hudson 1965), mas segundo Terry (1992) os índices de erosividade da chuva continuam a ser um assunto discutível. Uma vez que a energia cinética, que tem uma definição matemática, foi considerada um bom substituto para a erosividade.

A erodibilidade é definida pela resistência de um solo para se desagregar e transportar (Morgan,2005). Apesar de esta depender, em parte, da sua posição topográfica, declive do terreno e da sua perturbação, como por exemplo do seu cultivo, o factor determinante é as propriedades do solo, razão pela qual procedi à análise dos solos em estudo. A textura do solo foi também considerada uma vez que é um factor importante que influencia a erodibilidade. Morgan(1995) referiu que as partículas maiores resistem ao transporte devido a requererem uma maior força para as arrastar e as partículas finas são resistentes de desagregar devido à coesividade. As partículas menos resistentes à desagregação e transporte são areias finas e silte.

### **1.3. Objectivos**

A presente tese pretende, como objectivo principal, dar um contributo ao estudo da erosão, em áreas recentemente ardidadas, e assim dar contribuir para os projectos Erosfire I (POCI/AGR/60354/2004) e Erosfire II (PTDC/AGR-CFL/70968/2006). Este contributo baseia-se no conhecimento da variação da erosão por salpicos, em diferentes sítios, lavrados em terraços, lavrados antes ou após o incêndio, e ainda a influência das características de precipitação nas quantidades de solo movido por salpicos.

Os objectivos específicos são:

- a) quantificar a erosão por salpicos em áreas recentemente ardidadas por chuva natural, usando dois tipos de dispositivos de recolha;
- b) verificar a influência das propriedades do solo na erosão por salpicos;
- c) avaliar a influência da intensidade e energia da precipitação na erosão por salpicos;
- d) quantificar a variação de solo movido por salpicos em dois dispositivos diferentes, construídos para esse fim, “splash cups” e “terry”;

## Capítulo 2 - Área e Locais de Estudo

### 2.1. Localização Geográfica

A área de estudo situa-se na região centro de Portugal, distrito de Aveiro (Figura 2-1), concelho de Sever do Vouga.

Neste estudo foram escolhidos três sítios, um localizado em Soutelo e dois em Pessegueiro do Vouga, atingidas por incêndios florestais durante os verões de 2006 e 2007, que foram objectos de estudo dos projectos Erosfire e Erosfire II, respectivamente.

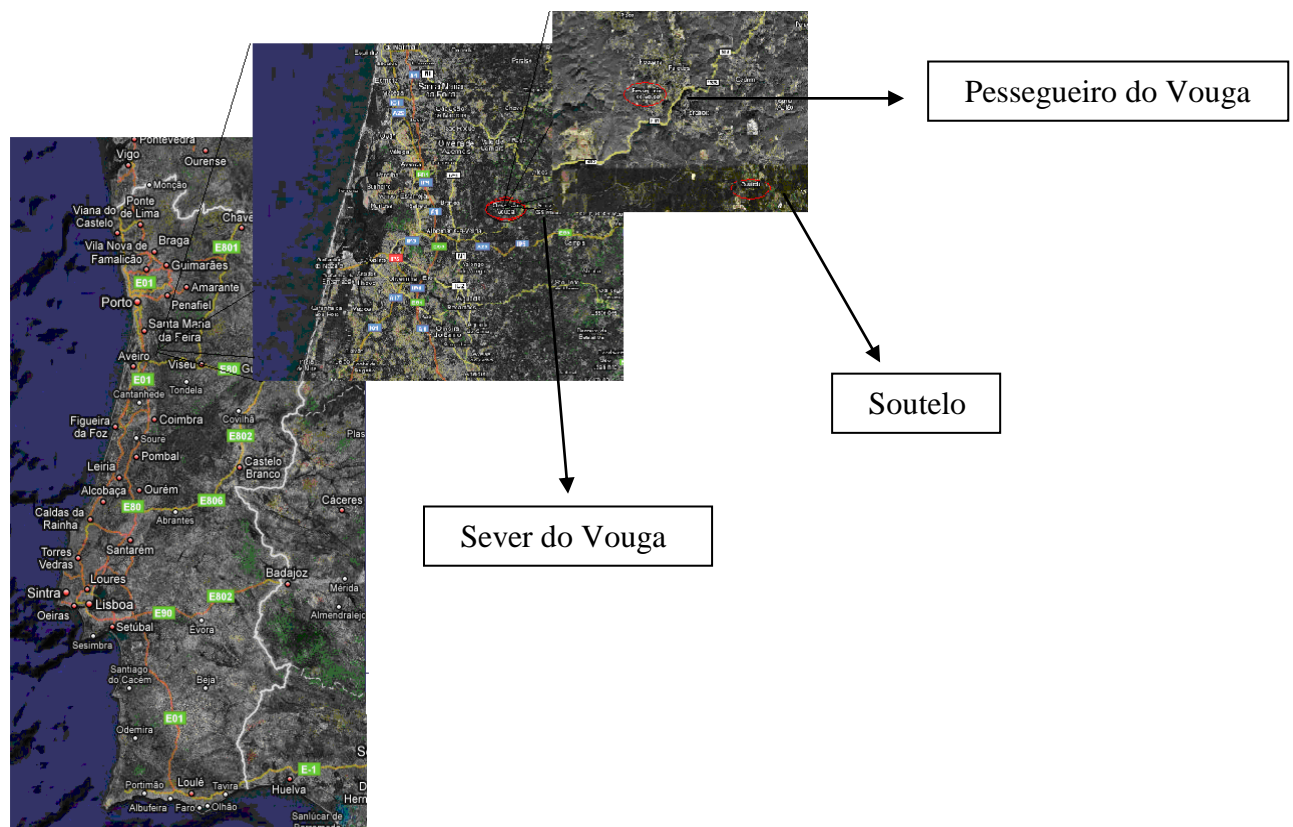


Figura 2-1- Imagens de satélite da área de estudo. (Fonte: maps.google.com)

Em vez do terreno florestal terraçado, em Pessegueiro do Vouga, cujo incêndio lavrou em 2007, tinha-se inicialmente escolhido um terreno, próximo deste, mas sem intervenção mecânica, que teve de ser abandonado, uma vez que o proprietário decidiu lavrá-lo. Assim, de maneira a evitar que o sucedido voltasse a acontecer e na medida em que existiam prazos a cumprir, foi decidido que seriam estudados apenas sítios terraçados, tendo em comum o facto de terem sido afectados por operações mecânicas intensas. Diferindo no intervalo de tempo entre o incêndio e a recolha de amostras no caso do terreno Soutelo (S-POST) (1ano) e Pessegueiro do Vouga (P-POST) (1 mês), e tendo o outro terreno em Pessegueiro do Vouga (P-PRE) sido terraçado antes do incêndio.

## **2.2. Clima**

O clima da região é classificado como mediterrânico de influência oceânica, com verões quentes e secos (Julho e Agosto) e invernos moderados (Classificação de Köppen - Clima Csb: C- Mesotérmico Temperado Húmido; s - Estação seca no verão; b – Verão pouco quente, mas extenso). Em termos de precipitação o clima pode ser classificado de moderadamente húmido, pois atinge um valor de quantidade total anual de 1200 a 2000 mm (valor médio), sendo grande parte desta precipitação pertencente aos meses de inverno.

A temperatura na região ronda os 15 °C médios anuais, sendo nos meses de Agosto e Julho respectivamente que se registam os valores mais elevados e os meses de Dezembro e Janeiro onde se registam valores de temperatura mais baixos.

Os valores de humidade relativa são mais elevados nos meses de Outubro e Dezembro e mais baixos no mês de Maio, em termos anuais a humidade média é de 82% (fonte: dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Metrologia e Geofísica de Sever do Vouga).

## **2.3. Geologia e Solos**

O solo da área de estudo é classificada como Leptosolo Úmbrico segundo a classificação de referência mundial para os recursos do solo, World Reference Base (WRB), uma vez que se trata de uma área onde predominam os xistos.

Os Leptosolos Úmbricos possuem perfis do tipo A – R, ou do tipo A C R. Horizonte A com 10/30cm de Profundidade, de cor pardo-escuro e textura areno-franco ou franco-arenoso, por vezes também pode ser arenoso ou franco-limoso, frequentemente húmico e/ou cascalhento. Horizonte C, constituído por material grosseiro resultante da desagregação da rocha subjacente com alguma terra e rocha contínua e dura (R), em transição abrupta a partir dos 25/30cm de profundidade.

### 2.4. Vegetação e Ocupação do Solo

A área em estudo foi afectada por um incêndio queimando maior parte da vegetação existente. Arderam sobretudo eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) com idades entre os 4-10 anos, que se encontravam na primeira e segunda rotação, também ardeu pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) e carvalhos, estes últimos com uma representatividade bastante baixa. As copas das árvores foram totalmente queimadas assim como a superfície do solo, que apresentava cinzas de cor preta. Também arderam na totalidade arbustos de várias espécies. Em termos de declive, este é sempre superior a 17°, declives médios a elevados que condicionam a operacionalização do terreno e orientação predominantemente de Nordeste.

Também é possível encontrar em muito menor escala regeneração natural de espécies lenhosas como o sobreiro (*Quercus suber*), alguns carvalhos (*Quercus Spp.*), medronheiros (*Arbutus unedo*) entre outras espécies. Também é possível encontrar espécies arbustivas como a erica (*Erica Spp.*), fetos (*Pteridium aquilinum*), murta (*Myrtus communis*), carqueja (*Pterospartum tridentatum*), tojo (*Ulex Spp.*) entre outras.

Após terraceamento dos terrenos em estudo, foram novamente plantados eucaliptos.

## Capítulo 3 - Materiais e Métodos

### 3.1. Determinação de Erosão do Solo por Salpicos no Campo

Foram instalados no solo dos terrenos da área de estudo dois dispositivos de recolha de solo movido por salpicos, Terrys e Cups (Figura 1-1).

A instalação do Cup é bastante simples, basta afixar no sítio desejado. Quanto ao Terry, a instalação é bastante mais complexa, este é introduzido no solo e por isso necessita de uma especial atenção à drenagem. Para este último dispositivo a tarefa de instalação é minuciosa uma vez que é necessário furar o solo de modo a não perturbar o solo envolvente, e, ainda, colocar um material que lhe permita uma melhor drenagem. Para tornar a drenagem mais eficiente utilizou-se areia, nem sempre se mostrou totalmente eficaz.

Em cada terreno escolheram-se cinco terraços, colocando em cada terraço dois dos dois dispositivos utilizados neste estudo (Figura 3-1;Figura 3-2;Figura 3-3). Foram colocados dois cups e dois Terrys em cada terraço, posicionados aleatoriamente, distanciados de aproximadamente dois metros.

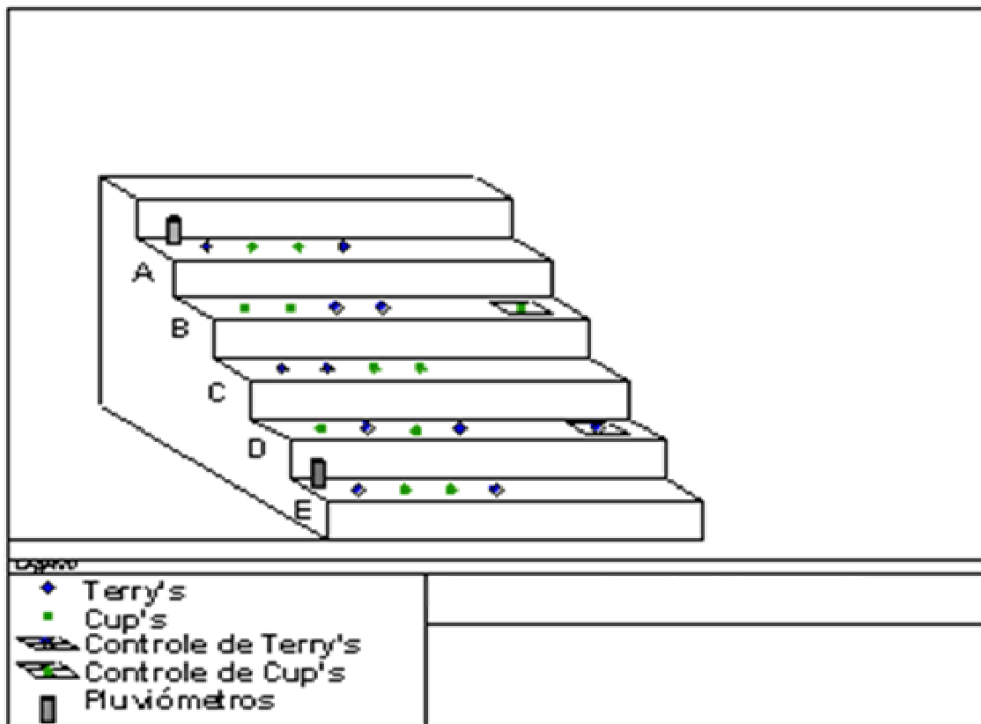


Figura 3-1- Esquema da posição dos dispositivos no terreno P-POST

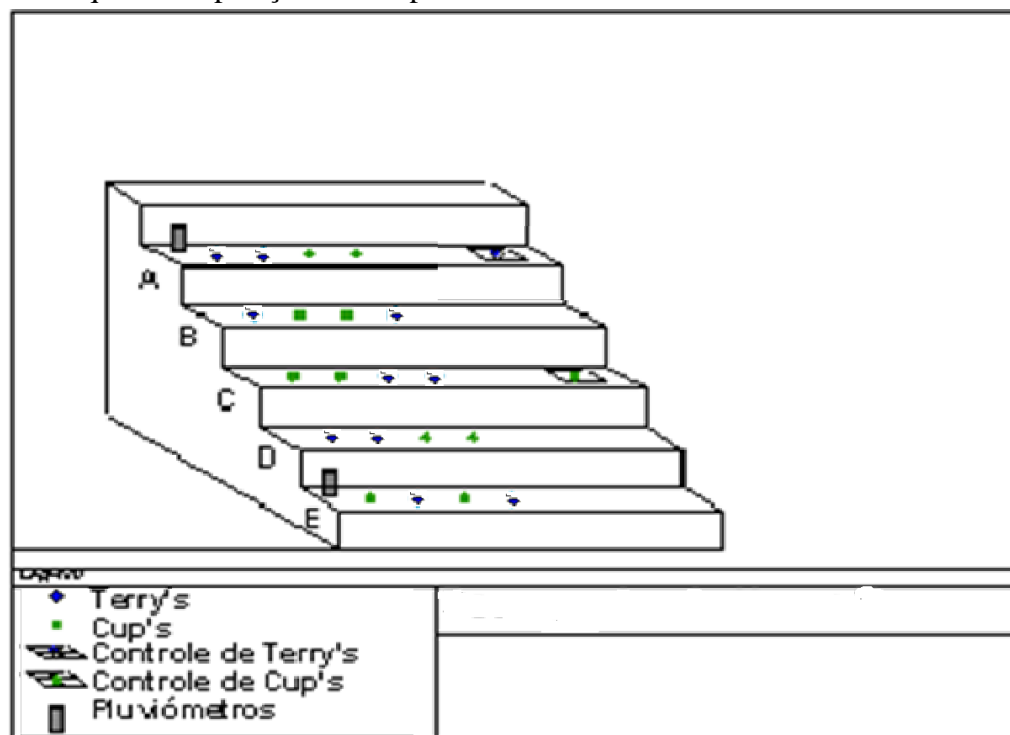


Figura 3-2- Esquema da posição dos dispositivos no terreno P-PRE

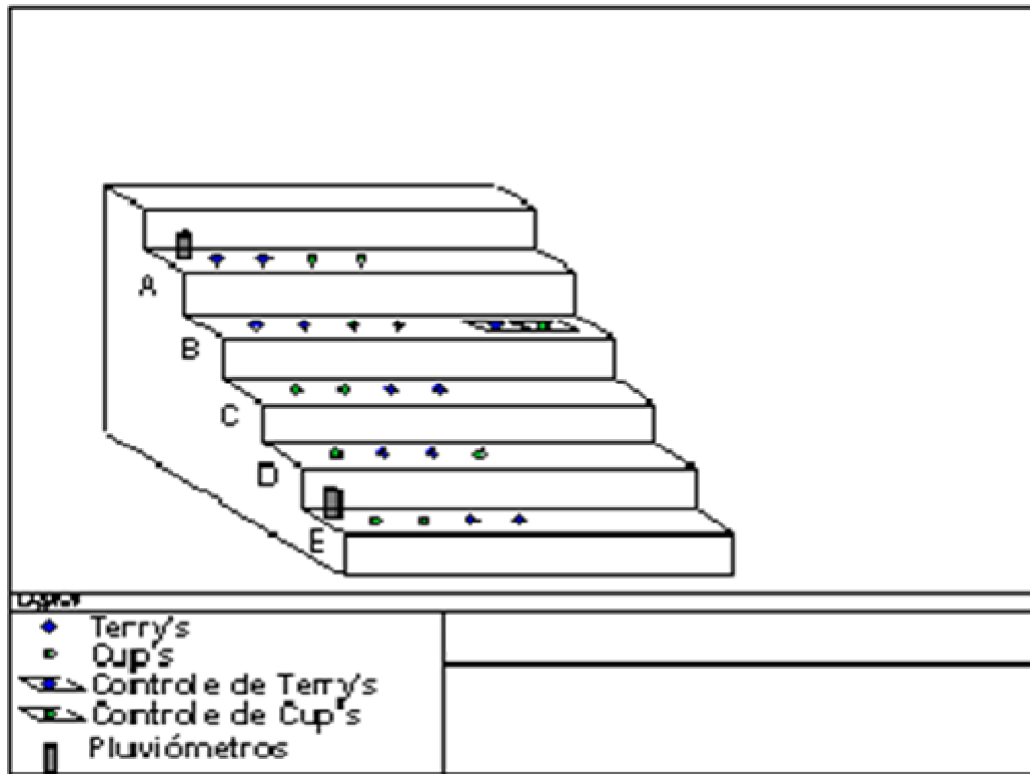


Figura 3-3-Esquema da posição dos dispositivos no terreno S-POST

Para a recolha do solo movido através de salpicos, foram colocados filtros nos dispositivos, que estiveram no campo, em média, uma semana, dependendo da precipitação ou ausência desta.

Os filtros utilizados foram filtros de café nº4, que se revelaram resistentes às condições do campo e temperaturas de estufa de 105°C. Para os dispositivos Terry's o filtro não sofreu qualquer adaptação, dado que o filtro tem formato em cone como o dispositivo. Quanto ao dispositivo Cup, os filtros foram recortados em formato circular com aproximadamente 10,8 cm de diâmetro.



### 3.3. Propriedades dos Solos

#### Repelência

De maneira a verificar a repelência das amostras de solo foi realizado o teste de “Water Drop Penetration Time” com a classificação de Dekker e Jungerius(1990). Não só por ser o mais escolhido (Letey 1969; Adams e tal. 1969; Savage et al., 1972; Savage 1974), mas também devido à sua simplicidade e também porque apenas envolve água e não água em conjunto com etanol como noutro teste (MED).



**Figura 3-4-Teste de repelência**

Colocaram-se, cinco, pequenas gotas sobre a superfície do solo e cronometrou-se o tempo que demora até à penetração completa. Se o tempo medido for muito curto revela que o solo é hidrófilo caso contrário revela hidrofobia. Utilizando para a sua classificação a escala de Dekker e Jungerius (1990) (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

Tabela 3-1-Classificação da Repelência do solo à água. (Dekker e Jungerius (1990))

Classe	Tempo de infiltração	Repelência à água
0	<5s	Não Repelente
1	5-60s	Ligeiramente Repelente
2	60-600s	Fortemente Repelente
3	600s-3600s	Severamente Repelente
4	1-3h	Extremamente Repelente
5	3-6h	Extremamente Repelente
6	>6h	Extremamente Repelente

#### Textura e Agregados

Uma vez que a textura assim como o diâmetro das partículas à superfície do solo, nos terrenos em estudo, pode interferir nas quantidades de solo movido por salpicos, fez-se uma análise de textura e agregados.

Recolheram-se 30 amostras, ao redor de cada dispositivo, num círculo de 2 cm de profundidade, aquando da desinstalação dos dispositivos, dia 24-6-2008. No entanto, foram analisadas apenas 15, devido a limitações de tempo. De maneira a análise ser significativa, analisou-se as amostras retiradas do redor de um Terry e um Cup em cada terraço. Primeiramente, as 15 amostras foram homogeneizadas e divididas em duas. Numa parte da amostra verificaram-se os agregados e noutra a textura do solo.

A determinação de textura realizou-se sobre a fracção menor de 2mm, de uma parte da amostra, utilizando o método internacional de análise mecânica que permite obter a distribuição em percentagem das partículas individuais do solo em função do seu tamanho. A matéria orgânica do solo foi oxidada com  $H_2O_2$ , eliminou-se os óxidos de ferro e alumínio com ácido clorídrico (HCl 1M) e adicionou-se uma solução de calgón (hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio) para dispersar as partículas minerais (Guitán e Carballas, 1976). Para separar a areia fina peneira-se a amostra com um crivo de orifícios de 0,05mm de diâmetro (que reteve as partículas de diâmetro entre 2 e 0,05mm) e pela diferente velocidade de sedimentação separa-se limo (0,05-0,002 mm) e argila (<0,002 mm).



Figura 3-5- Procedimento experimental seguido para determinação da Textura do solo.

A classificação da textura seguiu os critérios da USDA (SSS,1975), de acordo com o diagrama triangular.

A análise de agregados no solo realizou-se peneirando o solo seco com crivos de orifícios circulares, de 50, 25,10,5,2,1, 0.25, 0.05 mm. Tendo-se posteriormente determinado a percentagem em massa de cada fracção e o diâmetro médio ponderado (DMP), de acordo com a expressão proposta por Kemper e Rosenau (1986):

$$DMPs = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \cdot w_i$$

Onde  $\bar{x}_i$  é o diâmetro médio de cada fracção (mm) e  $w_i$  é a percentagem de agregados de cada crivo em relação ao solo total.



Figura 3-6- Crivagem

### 3.3. Medição de precipitação



a)



b)



c)

Figura 3-7-Dispositivos de medição da precipitação. a) pluviómetro; b) A Davis Weather Monitor II; c) Disdómetro (Thies laser precipitation monitor)

o longo de todo o período de amostragem recolheram-se dados de precipitação acumulada em cada local de estudo.

Foram colocados dois pluviómetros (Figura 3-7 a)), em cada um dos três sítios de estudo, um no terraço com maior altitude e outro no terraço de menor altitude (Figura 3-1;Figura 3-2;Figura 3-3).

Os pluviómetros têm boca circular de  $113 \text{ cm}^2$  área, contêm um funil que termina numa abertura inferior de pequena dimensão para evitar que a água de precipitação recolhida no reservatório se evapore. A instalação dos pluviómetros foi feita de maneira a estarem distanciados de qualquer obstáculo que pudesse influenciar a quantidade de precipitação recolhida e teve-se, também, o cuidado de residirem perpendiculares ao solo.

Os pluviómetros foram lidos, a par da recolha dos filtros onde se retinha o solo movido por salpicos, portanto em intervalos de aproximadamente uma semana.

Para além da precipitação total, mediu-se também a intensidade de chuva. Instalou-se uma estação meteorológica (Davis Weather Monitor II ) e um Disdrometro (Thies laser precipitation monitor), pertencente à Universidade de Leon, num terraço de um edifício com aproximadamente 5m de altura. Este edifício, situado a aproximadamente 250m do local de estudo S-POST. Esta localização deveu-se à necessidade do disdómetro de uma fonte de electricidade e de um computador para armazenar a informação, para além de se evitar possíveis actos de vandalismo. Os dados recolhidos do Disdrometro não foram incluídos neste trabalho, uma vez que durante o período de estudo houveram cortes de energia e assim como falhas de funcionamento do aparelho, resultando num pequeno conjunto de dados que, até à data, se encontram a ser processados pelos colegas da Universidade de Leon.

Através dos valores fornecidos pela estação meteorológica, situada no Roçario perto do terreno Soutelo, obtiveram-se dados de precipitação de cinco em cinco minutos ao longo de todo o período do estudo. Esses dados foram divididos por período de recolha do solo movido por salpicos. Através desses dados foi calculado a intensidade da chuva , que posteriormente foi inserida na fórmula, do calculo de energia cinética, de Wischmeier and Smith, 1978.  $K.E. = 11,87 + 8,73 \log_{10} I$ , onde K.E. representa a energia cinética ( $J/m^2/mm$ ) e I a intensidade da chuva expressa em mm/h.

A energia cinética total ( $J/m^2$ ), por período, é calculada pela soma das energias cinéticas da precipitação durante esse período.

## Capítulo 4 - Resultados e Discussão

### 4.1. Quantidades totais de solo movido por salpicos

Foram analisadas amostras de solo movido por salpicos, recolhidas no campo, desde 6 de Dezembro de 2007 a 30 de Maio de 2008. Durante este período obteve-se um total de precipitação de  $871,73 \pm 15,78$  mm que, atendendo às características do clima Atlântico chuvoso, no qual uma estação meteorológica, em Albergaria-a-Velha, perto da área de estudo registou em média 1540 mm por ano (do ano 1942 a 1991), em que o máximo corresponde a 2022 mm e o mínimo a 750mm, se considera um período pouco chuvoso, quase seco.

Dos 16 períodos de recolha, resultaram os valores totais de solo movido por salpicos, por terreno e por dispositivo de recolha, apresentados na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Estes valores totais correspondem à soma das medianas de solo movido por salpicos por período ( $\text{g/m}^2$ ), divididas por o total de chuva acumulada por milímetro de precipitação.

Os valores totais das medianas, durante o período da observação revelam que:

- o terreno em que o incêndio se deu após terraceamento (P-PRE) evidencia uma menor quantidade de solo movido que os terrenos cuja intervenção foi após incêndio. O que a priori parece indicar que a intervenção mecânica no solo após incêndio proporciona uma erosão do solo mais acentuada. Não descuidando o facto de que a intervenção mecânica no terreno em que o terraceamento foi feito antes do incêndio tenha sido feita há muito mais tempo, podendo já ter sido erodido o solo desprendido pela intervenção;
- contrariamente do que se esperava a quantidade de solo movido por salpicos, no terreno que foi lavrado com menor distância temporal do início do estudo, P-POST, foi menor do que em S-POST;

- não é evidente a diferença entre o solo movido por salpicos, nos dois terrenos em que a intervenção mecânica foi feita após o incêndio.
- o Terry, recolhe valores superiores de solo comparativamente ao dispositivo que tem o nome de Cup, tal como se previa, uma vez que foi construído de maneira a reter o solo, uma vez aí depositado ;

Tabela 4-1- Valores totais (em  $g/m^2 \cdot mm$ ), por local estudo e dispositivo utilizado das medianas de erosão por salpicos dos 16 períodos de recolha solo, por terreno e dispositivo utilizado

	P-PRE $g/m^2/mm$	S-POST $g/m^2/mm$	P-POST $g/m^2/mm$
Cups	0,08	0,9	0,8
Terrys	0,42	2,6	3,0

As diferenças entre a quantidade de solo movido por salpicos, nos três terrenos, poderão ser explicadas através das suas propriedades físicas uma vez que a erodibilidade de um solo é apontado como um factor físico significativo para a magnitude e/ou intensidade da erosão do solo que está descrita na secção seguinte.

Devido à sua natureza, as medições de solo movido por salpicos estão aliados a alguns erros aleatórios na sua recolha, tais como, perturbação do solo durante a instalação dos dispositivos, a altura a que os dispositivos estão do solo (no qual Terry 1992 propôs uma correcção) e a remoção dos filtros no campo especialmente na presença de vento. Evidenciando, portanto, uma variação acentuada dos valores de erosão por salpicos (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

Contudo, os valores obtidos pelos Terrys, são da mesma ordem de grandeza daqueles indicados por Terry (1996), 0,7 a 20  $g/m^2 \cdot mm$ , numa área lavrada, perto da montanha do Caramulo, onde, Shakesby e tal.(1993) apontou quantidades de solo salpicado menores ( com o intervalo de 1,2 a 1,7  $g/m^2/mm$ ) para uma área de eucaliptos que tinha sido queimada por um fogo florestal um ano antes. Não podendo ser totalmente comparado directamente, uma vez que o estudo supracitado não foi conduzido numa área com o mesmo declive, nem com características de precipitação semelhantes.

Tabela 4-2- Valores mínimos e máximos, das medianas por milímetro de precipitação, de solo movido por salpicos consoante o dispositivo de recolha e terreno de estudo.

		P-PRE g/m <sup>2</sup> /mm	S-POST g/m <sup>2</sup> /mm	P-POST g/m <sup>2</sup> /mm
<b>Cups</b>	Min	0,02	0,4	0,3
	Max	0,35	1,9	2,3
<b>Terrys</b>	Min	0,13	1,0	1,1
	Máx	1,09	5,4	6,5

No gráfico abaixo está representado as quantidades de solo movido por salpicos medidas, por Shakesby em terrenos florestais ardidos e sem intervenções mecânicas, ao longo do tempo, por Terry num terreno após incêndio florestal e intervencionado mecanicamente, os valores dos três terrenos do presente estudo, e os valores medidos por María no terreno S-Post (efectuada antes do presente estudo). Da observação do gráfico seguinte é clara a diminuição da erosão por salpicos ao longo do tempo após a distância temporal do incêndio, que se deverá entre outras ao esgotamento de solo disponível para o efeito. É igualmente observável que as quantidades de solo erodido aumentam exponencialmente quando se trata de um solo que foi intervencionado mecanicamente. Saliento ainda que os valores de solo movido por salpicos medidos por em S-Post pouco variaram ao longo do tempo, de acordo com os valores obtidos por María e os valores obtidos no presente estudo, o que indica que os valores de solo movidos por salpicos se mantêm elevados ao longo de pelo menos um ano.

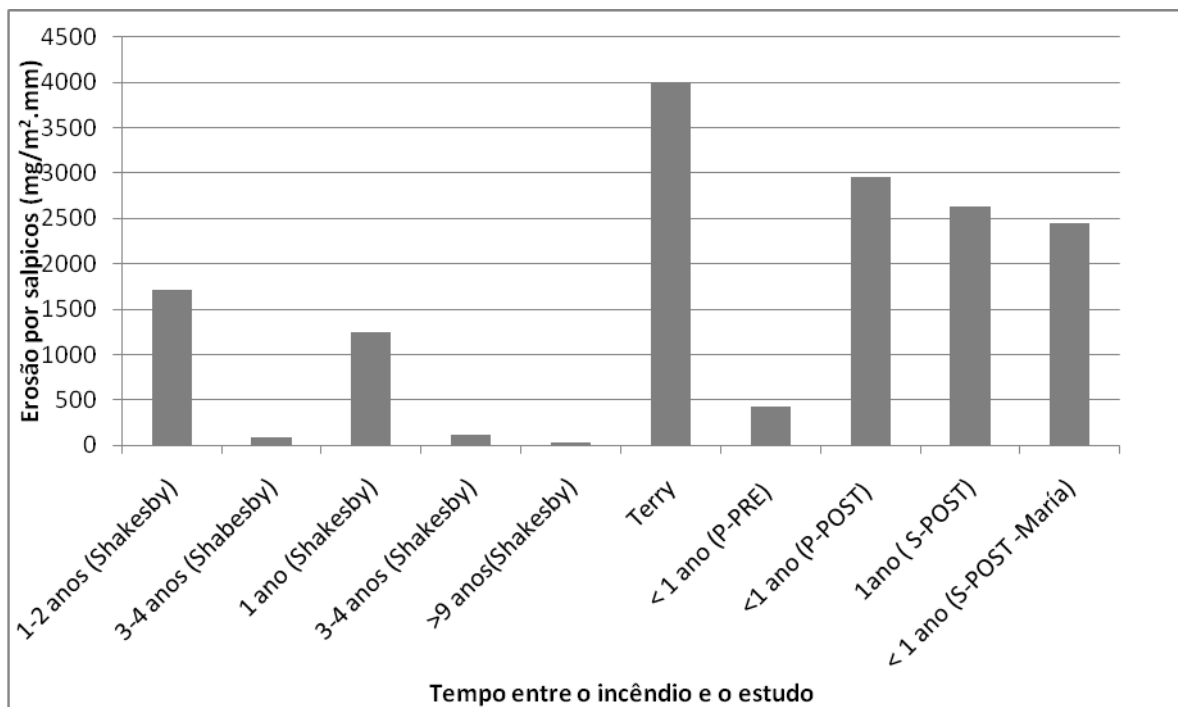


Figura 4-1- Comparação de quantidades de solo movidos por salpicos recolhidos noutros estudos

## 4.2. Relação com propriedades físicas do solo

### 4.2.1. Textura do solo dos diferentes terrenos da área de estudo

A análise dos dados, abaixo expostos, através da tabela, revelam que a textura dos solos dos três terrenos da área de estudo é franco arenoso. Os solos da área de estudo têm aproximadamente as mesmas percentagens de areia, limo e argila, mostrando grande percentagem em areia, valores superiores a 50%, depois limo e menor percentagem em argila rondando os 10%. Portanto, verifica-se que as diferenças de solo movidos por salpicos entre os três locais de estudo não podem ser explicadas através da textura do solo.

Tabela 4-3-Composição granulométrica e classe textural dos solos, nos três terrenos de estudo

<i>Terreno</i>	<i>Código da Amostra</i>	<i>% Areia (2-0,05mm)</i>	<i>%Limo (0,05-0,002 mm)</i>	<i>%Argila (&lt;0,002 mm)</i>	<i>Classe</i>
P-POST	C-P-POST A1	59,30	24,32	16,37	Franco arenoso
	T-P-POST A2	57,87	27,36	14,76	Franco arenoso
	C-P-POST B2	61,66	23,64	14,70	Franco arenoso
	T-P-POST B1	64,33	22,16	13,51	Franco arenoso
	T-P-POST C1	61,20	24,04	14,75	Franco arenoso
	C-P-POST C1	58,09	25,55	16,36	Franco arenoso
	T- P-POST D2	58,44	24,70	16,86	Franco arenoso
	C-P-POST D2	62,56	22,43	15,01	Franco arenoso
	T-P-POST E1	57,27	25,41	17,32	Franco arenoso
	C-P-POST E1	56,76	26,54	16,70	Franco arenoso
P-PRE	C-P-PRE A1	66,28	20,54	13,18	Franco arenoso



## Erosão do solo por salpicos

	T-P-PRE A2	70,18	17,78	12,04	Franco arenoso
	C-P-PRE B1	66,65	20,16	13,19	Franco arenoso
	T-P-PRE B1	67,25	20,04	12,71	Franco arenoso
	C-P-PRE C2	67,67	19,16	13,17	Franco arenoso
	T-P-PRE C1	63,37	22,10	14,52	Franco arenoso
	C-P-PRE E1	66,45	18,91	14,64	Franco arenoso
	T-P-PRE D1	66,87	21,03	12,10	Franco arenoso
	C-P-PRE D1	61,24	22,46	16,30	Franco arenoso
	T-P-PRE E2	62,08	21,47	16,45	Franco arenoso
S-POST	T-S-POST E1	62,54	24,50	12,96	Franco arenoso
	C-S-POST E2	60,21	29,23	10,57	Franco arenoso
	C- S-POST D2	62,29	26,22	11,49	Franco arenoso
	C-S-POST C1	59,48	28,06	12,46	Franco arenoso
	T-S-POST C1	54,13	31,92	13,95	Franco arenoso
	T-S-POST A2	62,88	26,02	11,10	Franco arenoso
	C-S-POST A2	59,66	29,27	11,07	Franco arenoso
	C-S-POST B1	57,31	29,06	13,63	Franco arenoso
	T-S-POST D2	62,12	25,44	12,44	Franco arenoso
	T- S-POST B2	57,31	30,10	12,58	Franco arenoso

#### 4.2.2. Agregados do solo

De acordo com Morgan(1995) a estabilidade dos agregados, assim como as dimensões das partículas constituintes do solo, influenciam a erodibilidade.

A Figura 4-2 mostra os resultados da análise de agregados das 10 amostras recolhidas em cada local de estudo, no final do período de estudo.

A distribuição dos agregados por crivagem a seco mostra que, em geral, os solos dos locais de estudo apresentam uma fraca agregação com valores de diâmetro médio ponderado entre 1,06 e 3,03mm (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). Ao analisar as fracções, verifica-se que as fracções mais abundantes são as compreendidas entre 1-0,25 e 0,25-0,05mm.

O terreno com o valor médio de diâmetro médio ponderado maior é o P-PRE, que se deverá provavelmente à compactação do terreno pelas gotas de chuva, uma vez que o terraceamento deste se deu antes do fogo, portanto há mais tempo que os outros terrenos da área de estudo. O facto do diâmetro médio ponderado ser superior exige que, sobre as partículas de solo, sejam aplicadas forças de maior intensidade (Energia da chuva superior) para serem captadas nos dispositivos. Esta é uma das explicações, para que as quantidades de solo salpicado pelo P-PRE sejam menores, mesmo tendo em conta o facto dos agregados do solo terem sido medidos no final do período do estudo e portanto não serem estes os diâmetros de solo existente aquando da recolha de solo movido por salpicos.

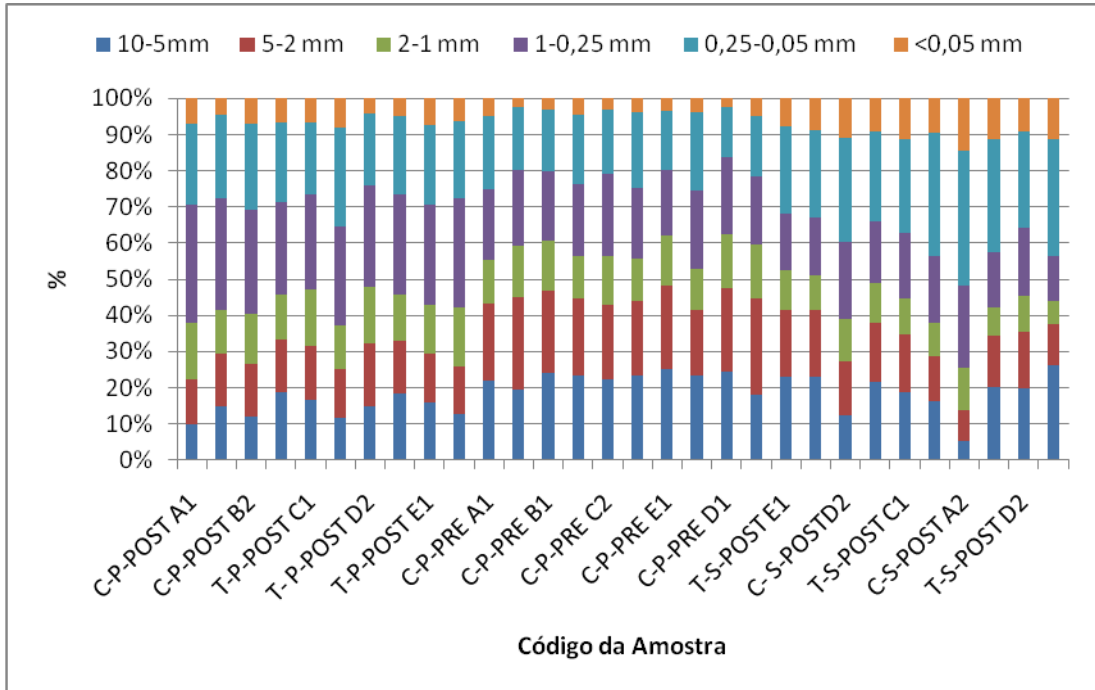


Figura 4-2- Percentagem de cada uma das fracções de agregados obtidas por crivagem dos solos, retirados em redor dos Cups (C) e Terrys(T), posicionados nos cinco terraços(A,B,C,D,E) dos três locais de estudo P-POST, P-PRE e P-POST.

Tabela 4-4- Diâmetro médio ponderado(DMP), retirados em redor dos Cups (C) e Terrys(T), posicionados nos cinco terraços(A,B,C,D,E) dos três locais de estudo P-POST, P-PRE e P-POST.

<i>Terreno</i>	<i>Código da Amostra</i>	<i>DMP (mm)</i>	<i>Média do DMP(mm)</i>
P-POST	C-P-POST A1	1,64	2,01
	T-P-POST A2	2,03	
	C-P-POST B2	1,83	
	T-P-POST B1	2,29	
	T-P-POST C1	2,20	
	C-P-POST C1	1,75	
	T- P-POST D2	2,16	
	C-P-POST D2	2,29	
	T-P-POST E1	2,08	
	C-P-POST E1	1,89	

P-PRE	C-P-PRE A1	2,73	2,82
	T-P-PRE A2	2,72	
	C-P-PRE B1	2,96	
	T-P-PRE B1	2,82	
	C-P-PRE C2	2,76	
	T-P-PRE C1	2,80	
	C-P-PRE E1	3,03	
	T-P-PRE D1	2,73	
	C-P-PRE D1	3,02	
	T-P-PRE E2	2,66	
S-POST	T-S-POST E1	2,67	2,21
	C-S-POST E2	2,65	
	C- S-POSTD2	1,80	
	C-S-POST C1	2,50	
	T-S-POST C1	2,27	
	T-S-POST A2	1,97	
	C-S-POST A2	1,06	
	C-S-POST B1	2,27	
	T-S-POST D2	2,34	
	T- S-POST B2	2,58	

### 4.3. Variação temporal

Apesar das variações anteriormente verificadas, da análise da variação temporal de quantidade de solo movido por salpicos, Figura 4-3, Figura 4-4 e Figura 4-5, verifica-se uma tendência idêntica nos três terrenos, revelando uma proximidade entre os valores dos terrenos em que o solo foi movido após incêndio.

Desta tendência temporal semelhante pode-se concluir que os factores que influenciam no solo movido por salpicos são os mesmos nos três terrenos, tal como a influência da vegetação e propriedades dos solos.

Os gráficos abaixo representados, Figura 4-3, Figura 4-4 e Figura 4-5, revelam que houve um aumento de erosão por salpicos de Dezembro para Janeiro, que foi baixando até

ao início de Abril, mês em que a erosão voltou a subir atingindo o maior valor de erosão por salpicos durante todo o período de estudo, onde se atinge também um pico de precipitação acumulada.

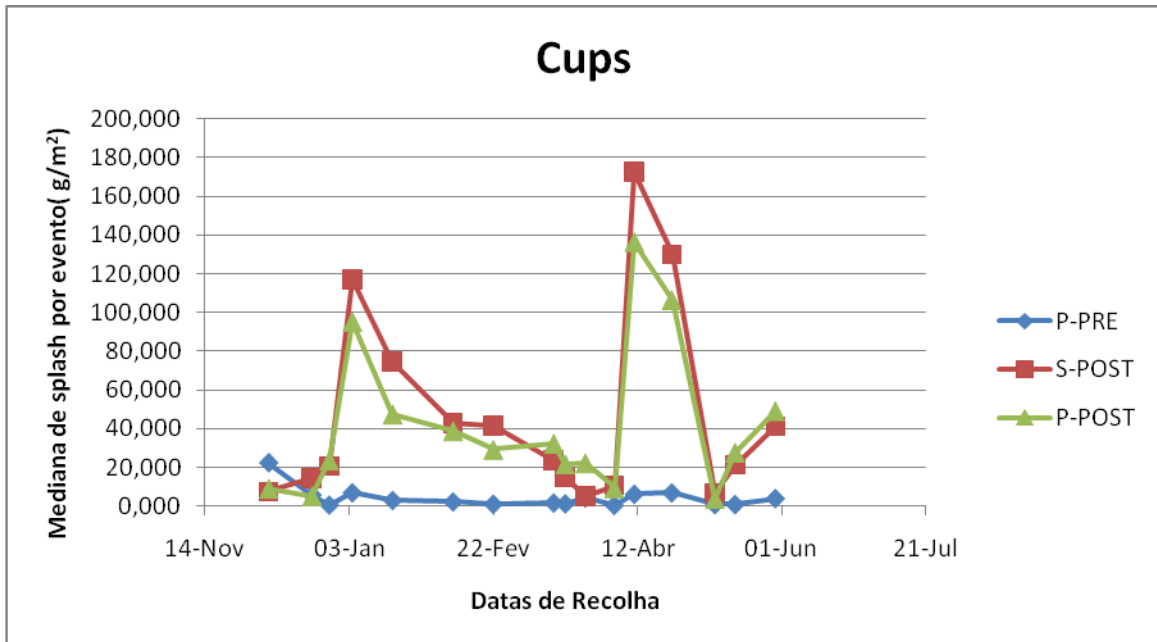


Figura 4-3- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, nos diferentes terrenos do estudo, medidos pelo dispositivo Cups.

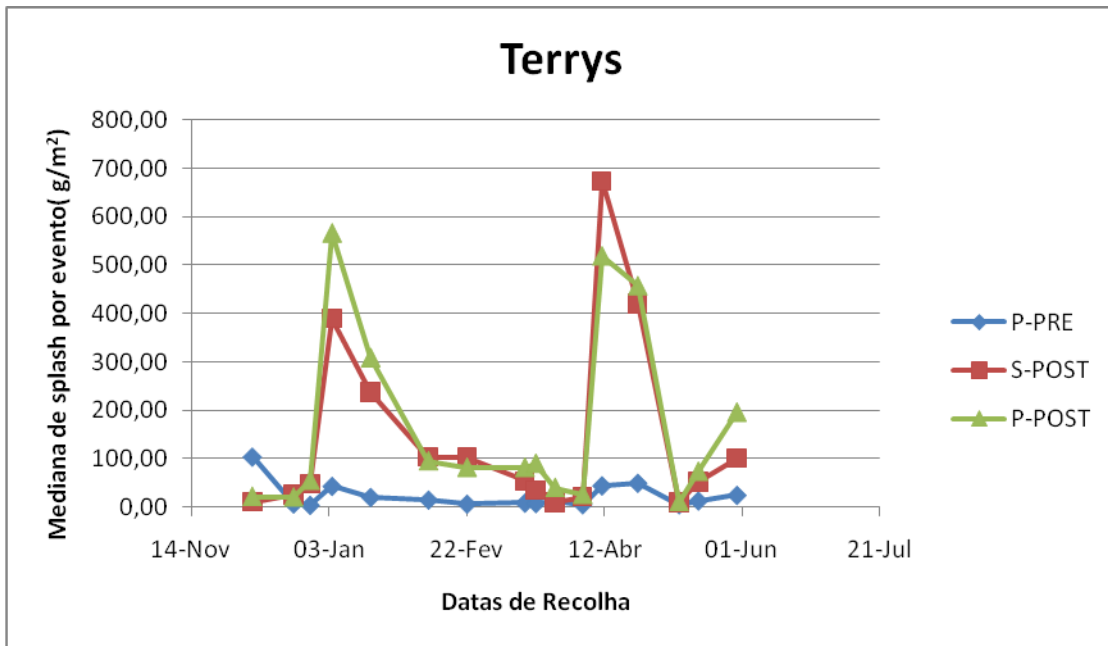


Figura 4-4- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, nos diferentes terrenos do estudo, medidos pelo dispositivo Terry

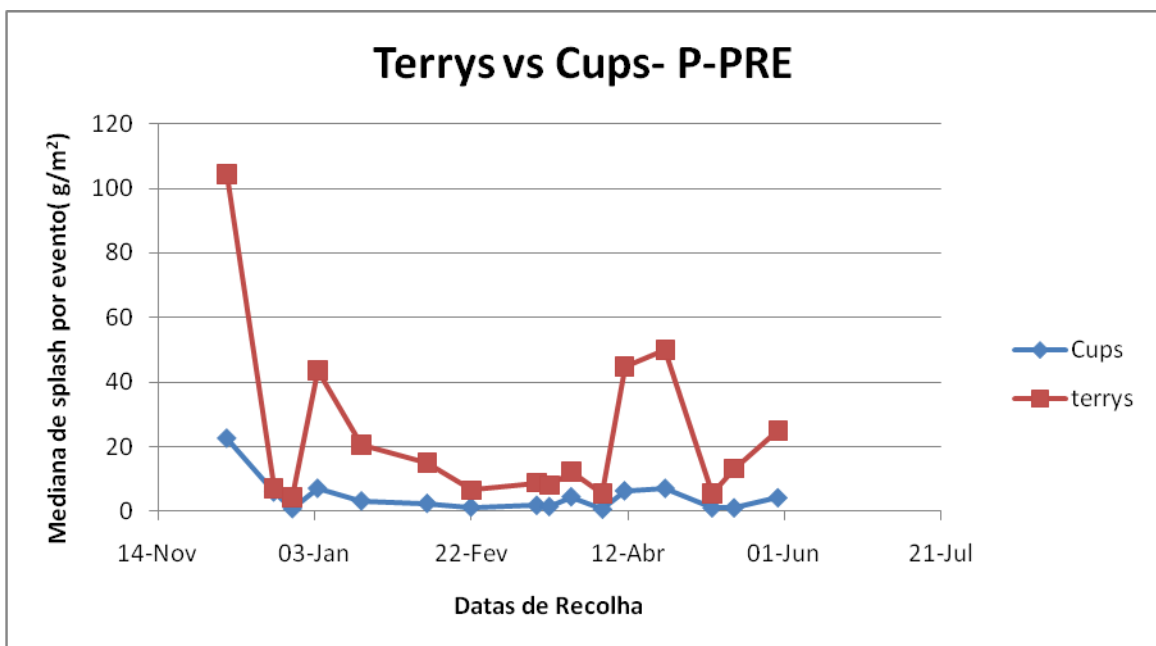


Figura 4-5- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, no local P-PRE, pelos dois dispositivos

#### 4.4. Diferenças nas quantidades de solo salpicado entre os dois dispositivos

De acordo com a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, é clara a diferença entre as quantidades de solo movidos por salpicos medida pelos dois dispositivos utilizados no estudo. Durante todo o período do estudo, os funis recolheram mais solo movido por salpicos do que os Cups. Por exemplo, no caso do terreno P-POST, a quantidade de solo recolhido varia de 0,8 nos Cups para 3,0g/m<sup>2</sup>/ mm nos Terrys.

Este resultado, já seria de prever uma vez que o dispositivo “Terry” foi construído com o intuito de minimizar a perda de solo recolhido, evitando que o solo recolhido voltasse a sair do dispositivo.

Esta diferença de valores pode prender-se também na dificuldade de retirar o filtro do dispositivo Cup, que pode conduzir à perda de solo. O manuseamento e tratamento do solo nestes filtros, em laboratório, é dificultado devido à sua forma plana. Para além disso, os filtros são tratados e pesados com o plástico, sendo-lhes depois subtraído o peso do saco.

A perturbação do solo na instalação dos dispositivos também é diferente, sendo a que mais perturba o solo a do Terry, exigindo a que os primeiros valores adquiridos após instalação tenham sido anulados da análise do presente estudo.

Por outro lado o dispositivo Cups, permite que a escorrência de água através dele seja facilitada uma vez que o seu centro está a alguns milímetros do solo, deixando passar a água, enquanto que o dispositivo Terry tem a escorrência agravada por ter que ser abaixo da superfície, tendo sido adoptadas medidas para a drenagem como brita e areia Por baixo do dispositivo, sendo a areia a mais eficiente.

Contudo, os valores de solo salpicado recolhido por Cups e Terrys apresentam coeficientes de correlação entre 0,886 e 0,985, dependendo com o sítio de recolha, tal como a seguir se indica.

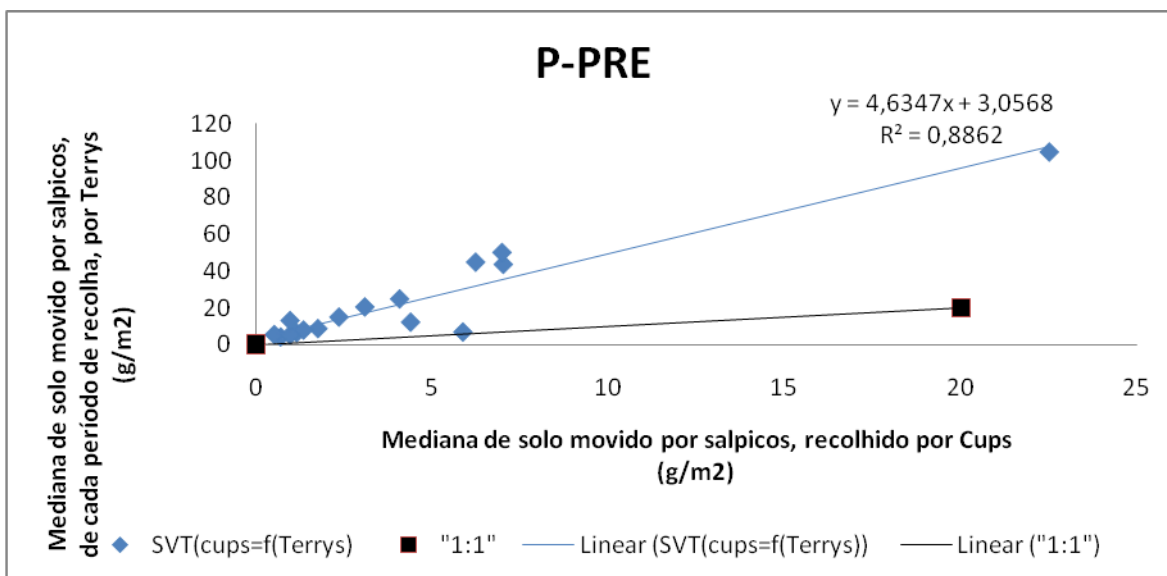


Figura 4-6- Relação entre os valores das medianas de solo recolhido por Cups e Terrys, no terreno que estava lavrado antes do incêndio, Pessegueiro do Vouga.

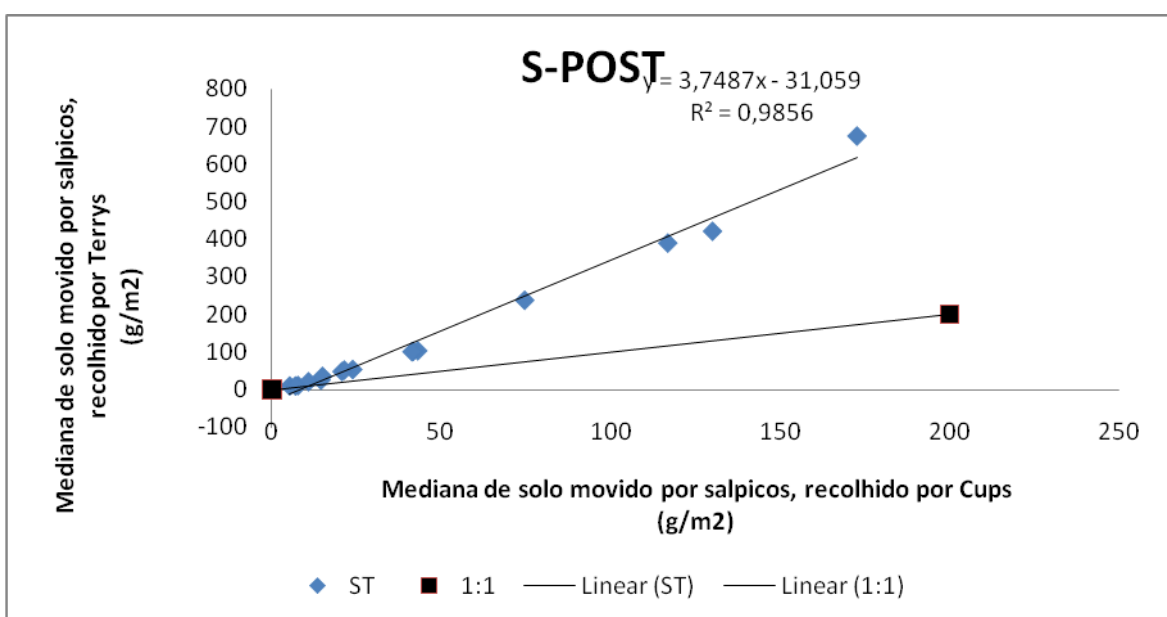


Figura 4-7- Relação entre os valores das medianas de solo recolhido por Cups e Terrys, no terreno lavrado após fogo, Soutelo.



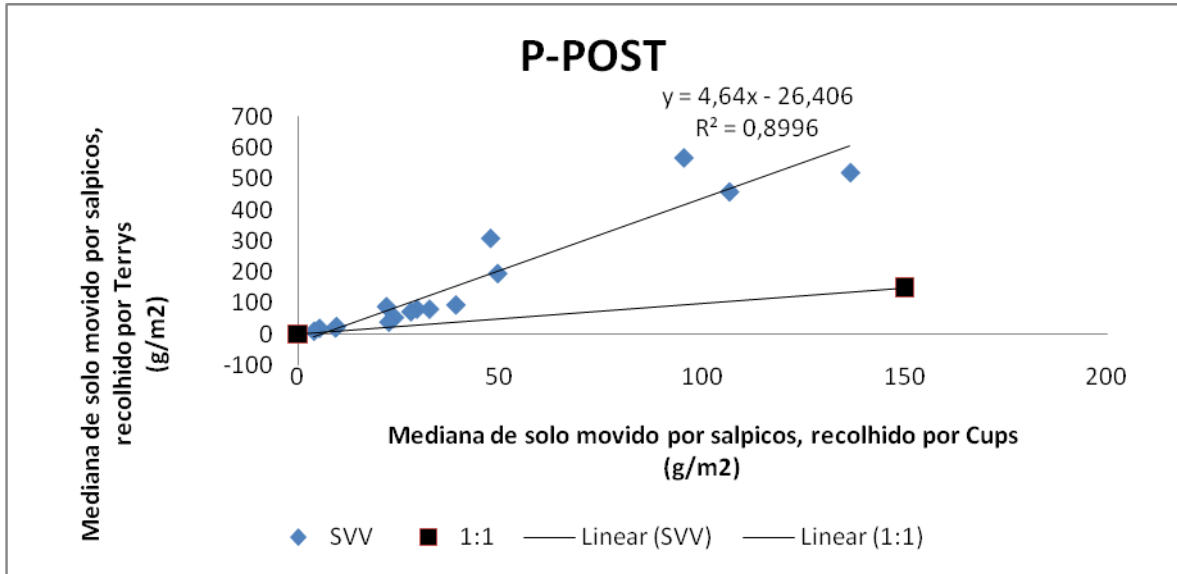


Figura 4-8- Relação entre os valores das medianas de solo recolhido por Cups e Terrys, no terreno lavrado após fogo, Pessegueiro do Vouga.

Apesar das diferenças entre os dois dispositivos, os factores que influenciaram a variação de solo movido por salpicos ao longo do período de estudo foram os mesmos. Assim como se pode visualizar e reafirmar pela análise da mediana de solo movido por salpicos, recolhido em cada período, ao longo do tempo. (Figura 4-9, Figura 4-10, Figura 4-11).

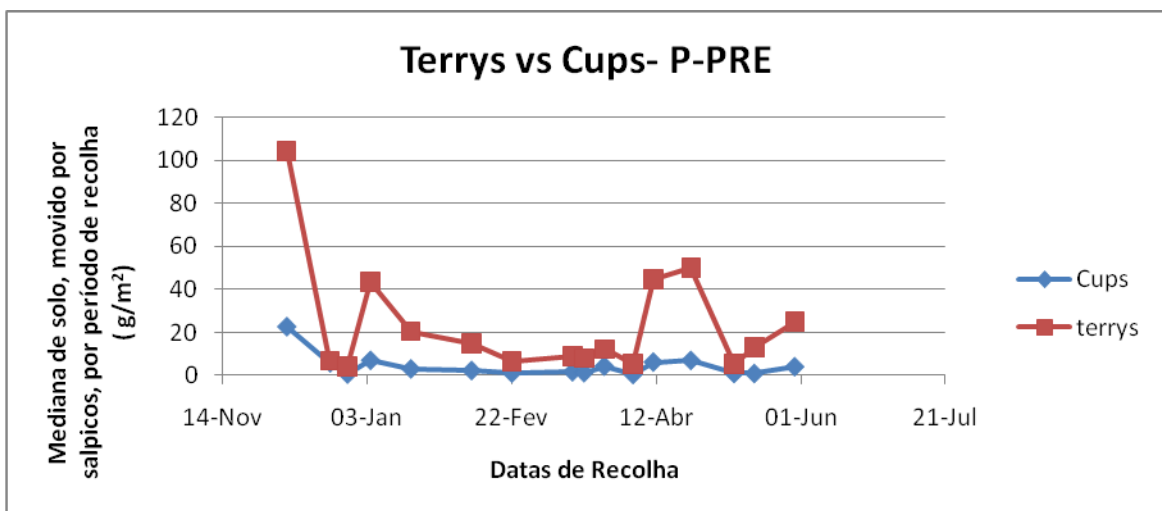


Figura 4-9- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, recolhido nos diferentes dispositivos do estudo, em P-PRE.

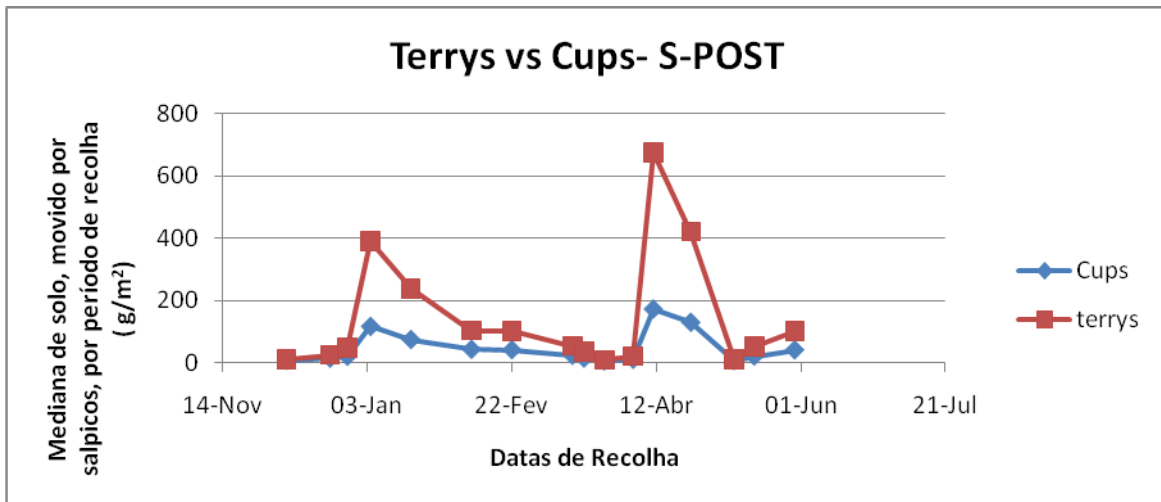


Figura 4-10- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, recolhido nos diferentes dispositivos do estudo, em S-POST.

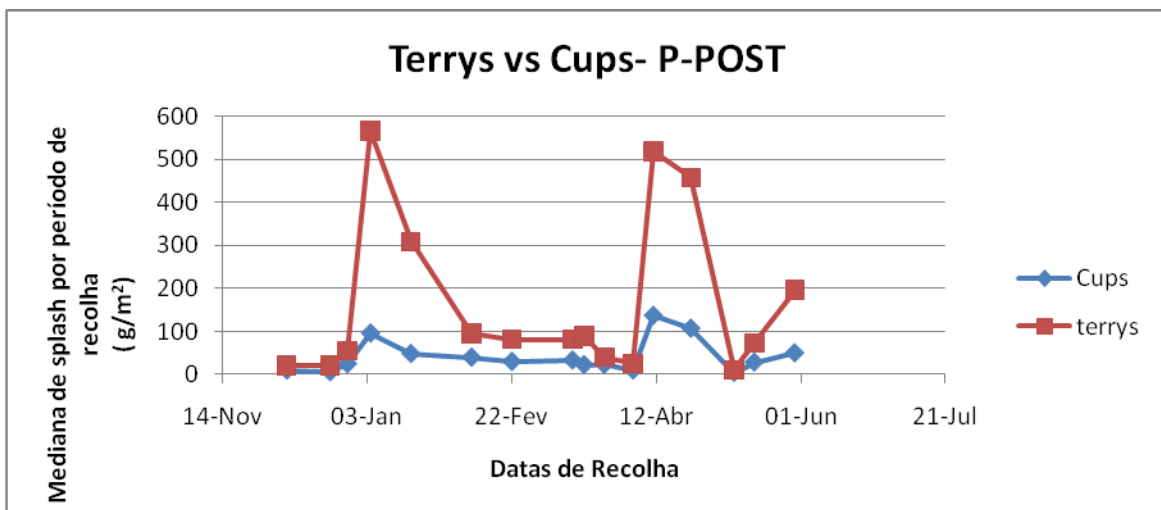


Figura 4-11- Variação temporal de solo movido por salpicos, por unidade de área, recolhido nos diferentes dispositivos do estudo, em P-POST.

#### 4.5. Relação entre erosão por salpicos e as características da precipitação

De acordo com a Figura 4-12, os valores de precipitação acumulada, durante o período do estudo, aumentaram nos meses de Dezembro e Janeiro, baixando até Abril onde teve um pico de precipitação. Verifica-se igualmente que os valores de precipitação acumulada nos três terrenos observados são semelhantes.



Figura 4-12- Valores de precipitação acumulada, coincidente com os períodos de recolha de solo movido por salpicos, ao longo do período de estudo, nos três terrenos.

A relação entre a quantidade de solo movido por salpicos e precipitação acumulada é superior no caso dos valores recolhidos pelo dispositivo Terrys, já que os coeficientes de correlação variam entre 0,715 a 0,741, de acordo com Figura 4-13, Figura 4-14 e Figura 4-15. ( Enquanto que nos valores de solo medido por Cups os coeficientes de correlação, entre quantidade de solo e precipitação acumulada varia entre 0,416 e 0,766), de acordo com Figura 4-16, Figura 4-17 e Figura 4-18.

Os dados revelem ainda que quanto menor for a quantidade de solo recolhido, menor é a sua relação com a quantidade de precipitação, caso do terreno P-PRE, especialmente nos Cups. O que nos leva à conclusão de que o dispositivo Terry é mais

eficiente, uma vez que o seu formato (funil no interior do dispositivo) permite aprisionar as quantidades de solo que entram no seu interior.

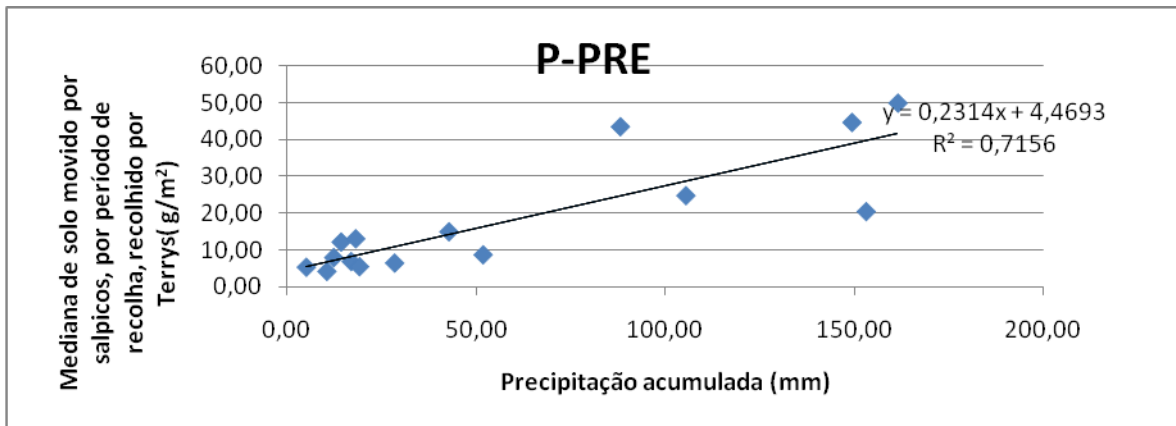


Figura 4-13-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno P-PRE.

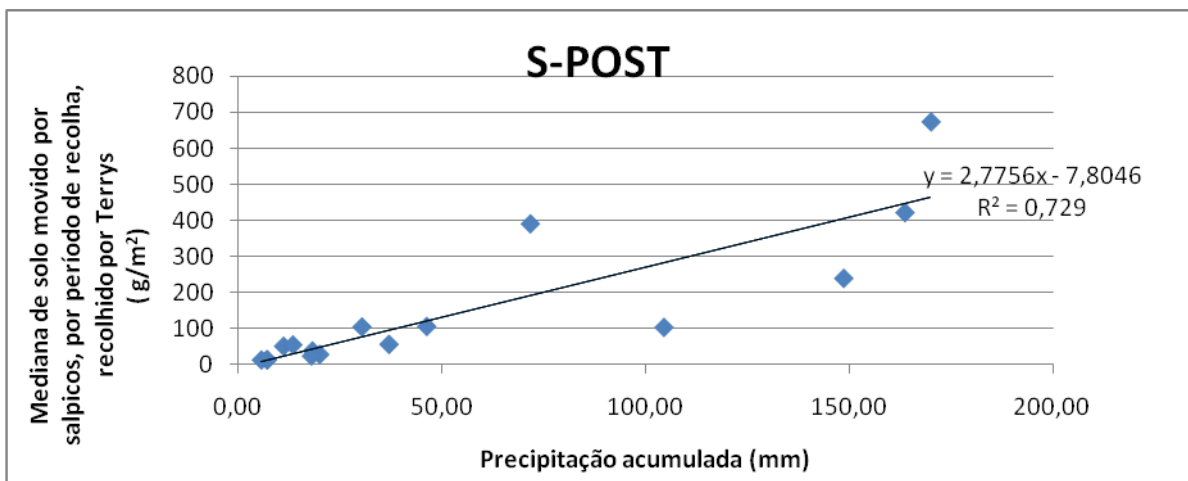


Figura 4-14-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno ST.

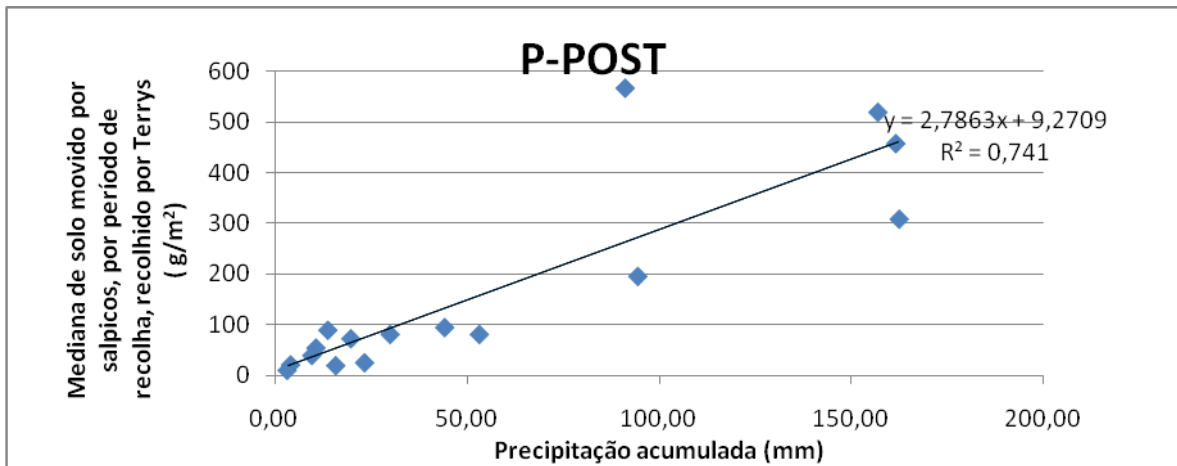


Figura 4-15-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno P-POST.

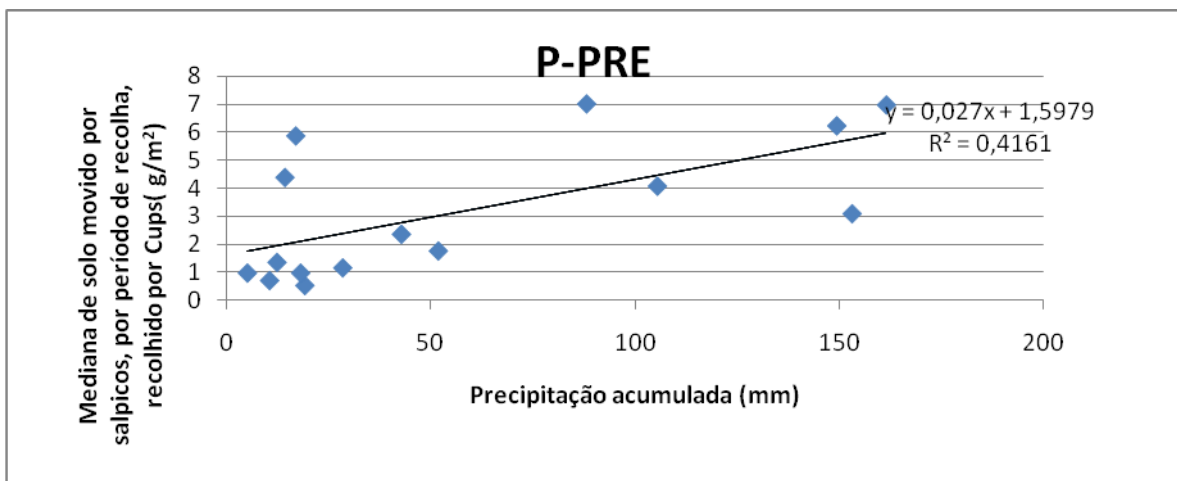


Figura 4-16-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno P-PRE.

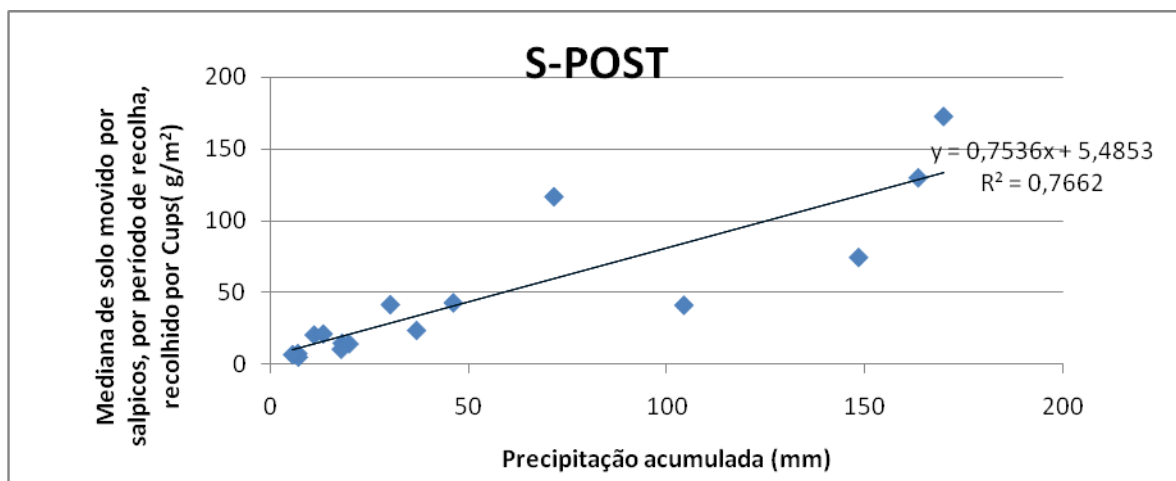


Figura 4-17-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno S-POST.

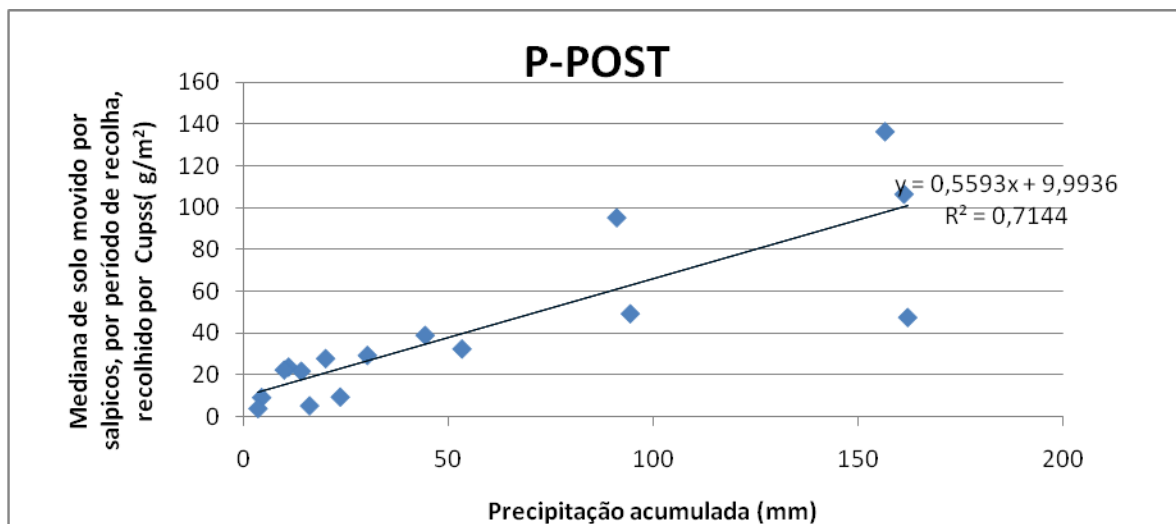


Figura 4-18-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e precipitação acumulada, medida pela média dos pluviómetros. No terreno P-POST.

Devido a problemas com a estação, correspondente à falta de corrente eléctrica, não está contemplada nesta análise o período de 27-12-2007 a 4-01-2008 e de 9-05-2008 a 30-5-2008, o que provavelmente terá um grande impacto na análise temporal da energia cinética uma vez que normalmente as falhas de corrente eléctrica ocorrem devido a chuvas e ventos intensos.

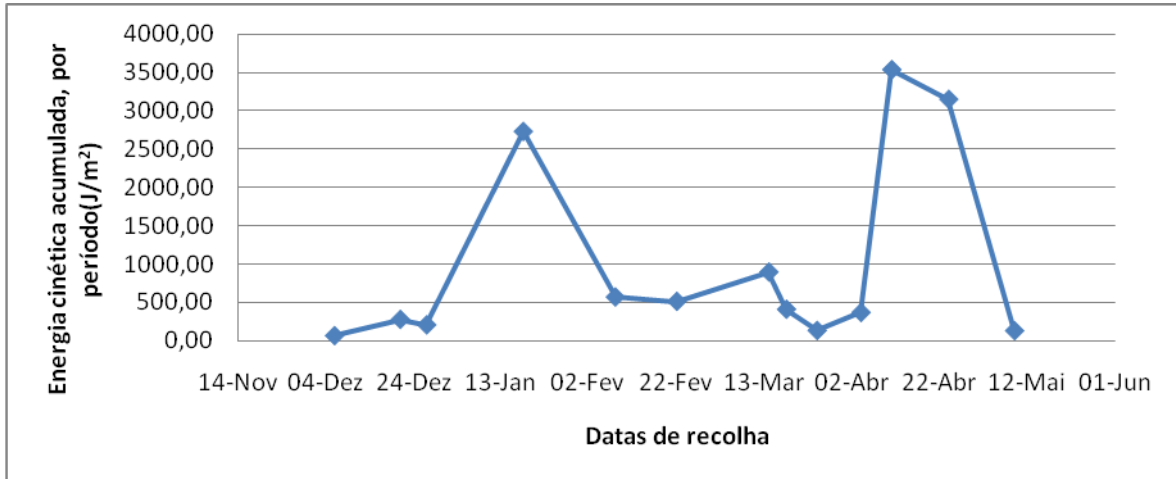


Figura 4-19- Energia cinética acumulada, por período de recolha, ao longo do período de estudo.

Assim como a precipitação acumulada, a energia cinética acumulada, por período de recolha de solo movido por salpicos, revela uma forte relação linear com a quantidade de solo movido por salpicos evidenciando valores de correlação entre 0,839 a 0,967 para solo recolhido por Terrys e entre 0,416 a 0,901 para solo recolhido por Cups.(Figura 4-20 a Figura 4-25).

Portanto, exceptuando o terreno em que as quantidades de erosão por salpicos são menores, P-PRE, as relações entre energia cinética e quantidades de solo erodido por salpicos são mais fortes do que as com precipitação acumulada. Não descuidado o facto de que factores como a vegetação que foi crescendo ao longo do estudo, protegendo o solo da erosão por salpicos, e propriedades dos solos, que implicam na quantidade de solo recolhido por salpicos.

As relações, entre energia cinética acumulada e quantidade de solo erodido por salpicos, são maiores as quantidades de solo recolhido por Terrys do que recolhidos por Cups. As relações também são mais fortes em terrenos em que a erosão de solo por salpicos é maior.

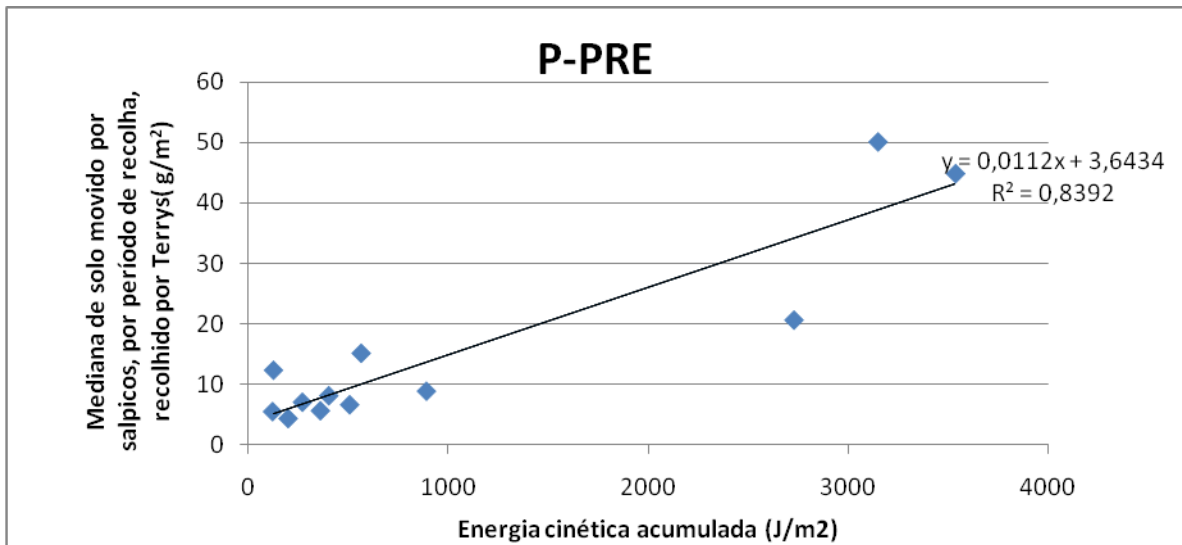


Figura 4-20- Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e energia cinética acumulada. No terreno P-PRE.

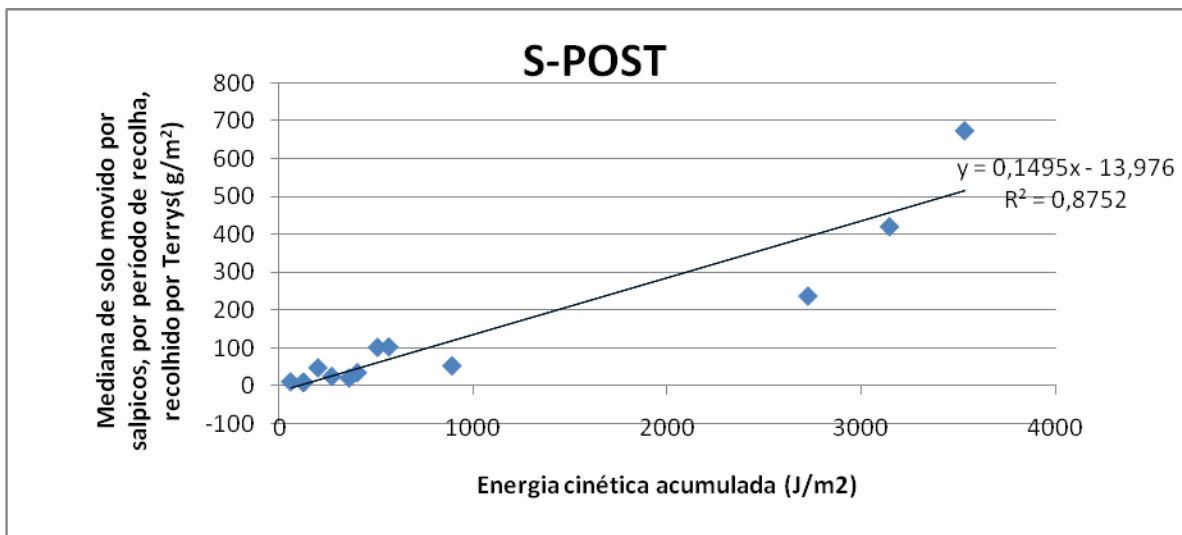


Figura 4-21-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e energia cinética acumulada. No terreno T.



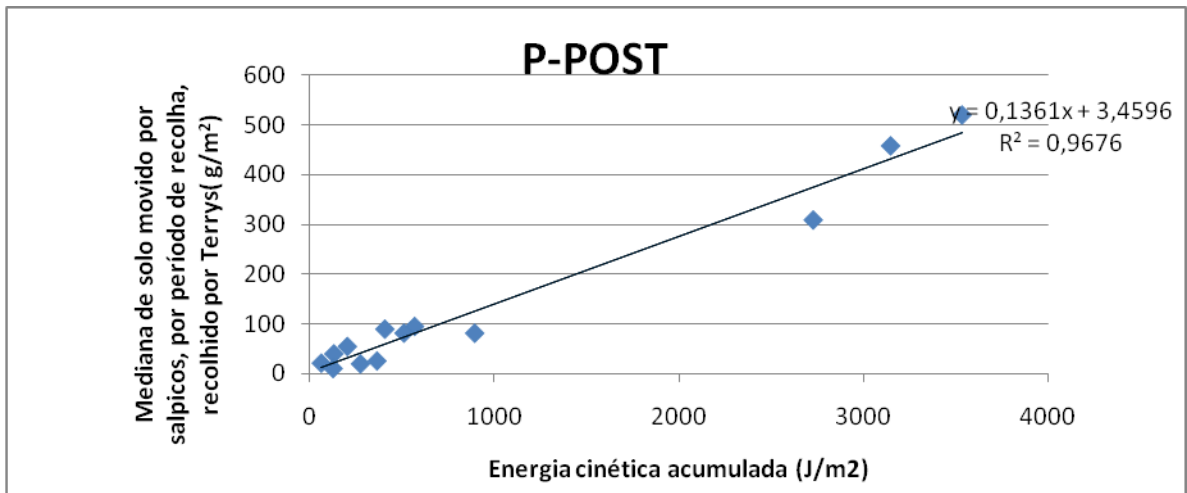


Figura 4-22-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Terrys, e energia cinética acumulada. No terreno P-POST.

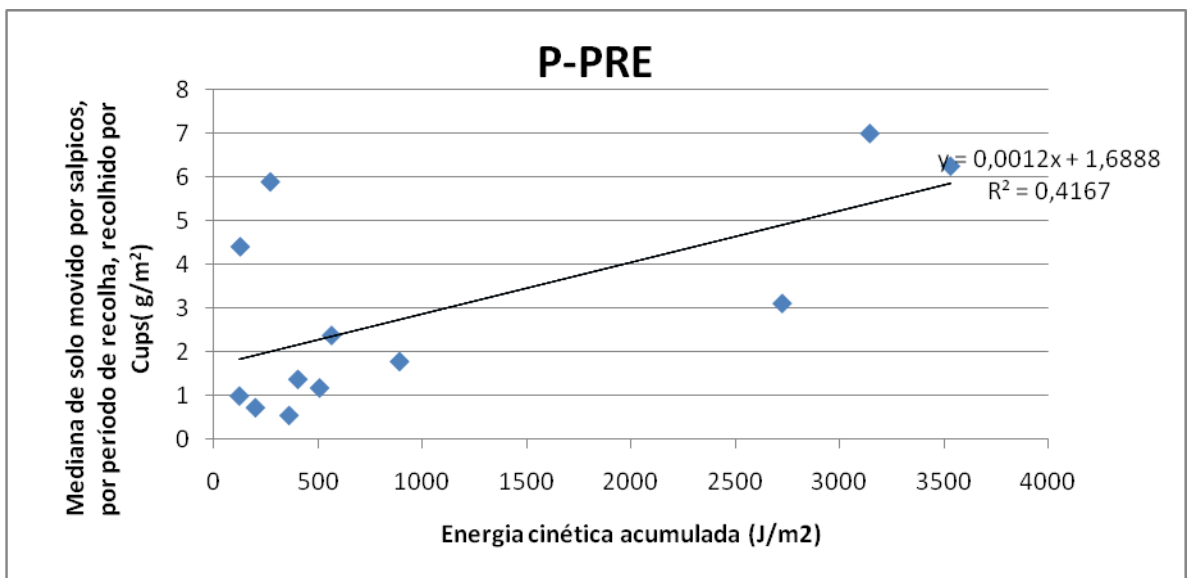


Figura 4-23-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e energia cinética acumulada. No terreno P-PRE.

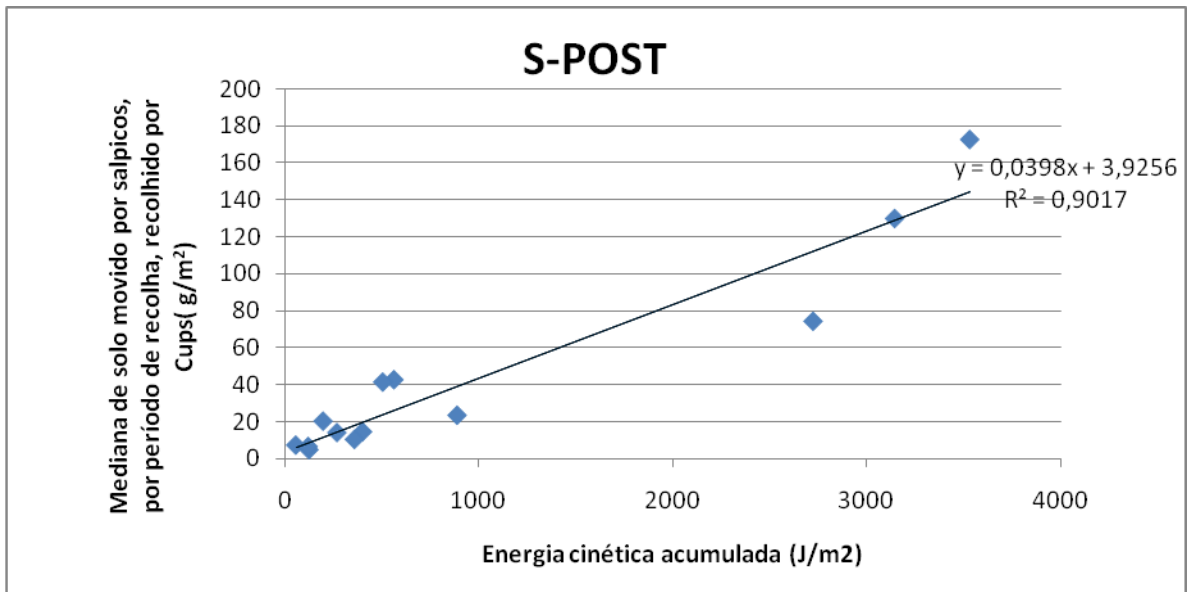


Figura 4-24-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e energia cinética acumulada. No terreno S-POST.

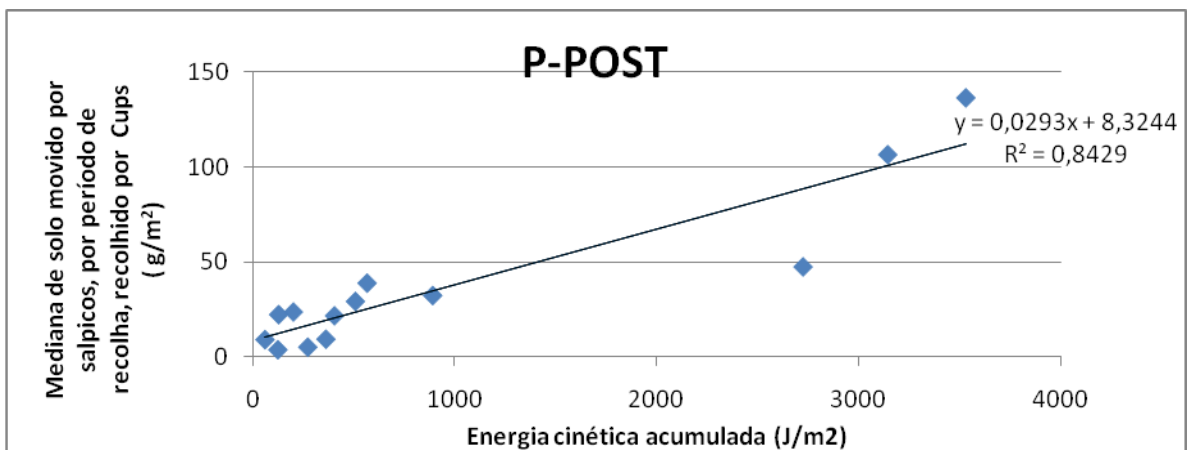


Figura 4-25-Relação entre as medianas de solo movido por salpico, recolhido por Cups, e energia cinética acumulada. No terreno P-POST.

## Capítulo 5 - Conclusões e Considerações Finais

A medição de solo movido por salpicos, sob chuva natural, está sujeita a várias fontes de erros aleatórios, tais como perturbação do solo na instalação dos dispositivos, recolha de solo erodida pelo vento, fraca drenagem por parte dos dispositivos, recolha de solo por escorrência (esta última é menos provável uma vez que os dispositivos têm uma altura de 3cm acima do solo), facto que também induz a erro subestimando o valor do solo movido por salpicos. Para além destes, todo o processo de instalação, remoção e transporte dos filtros dos dispositivos também pode estar sujeito a perdas e uma vez que as quantidades de solo recolhido são pequenas, o mínimo de solo perdido pode fazer grande diferença na medição.

Apesar de todos estes erros poderem estar associados aos valores aqui analisados, as tendências temporais das quantidades recolhidas são semelhantes o que indica que os factores que influenciaram o solo erodido por salpicos, nos três terrenos em estudo, são os mesmos. Contudo, a quantidade de solo movido por salpicos no terreno que foi terraçado há mais tempo, e que o incêndio se deu após terraceamento (P-PRE), apresenta quantidades inferiores, o que não se pode justificar pela textura do solo uma vez que todos os terrenos possuem textura franco arenosa, no entanto, neste terreno o diâmetro médio ponderado é superior ao dos outros exigindo mais energia da chuva para o salpico ter 3cm de altura mínima diminuindo assim as quantidades de solo recolhidas.

Dos dois dispositivos utilizados, o que se revelou ser mais eficiente, não só em termos de recolha como em tratamento foi o dispositivo Terry, que a única desvantagem prende-se com a maior perturbação do solo na instalação assim como a drenagem. Nestes as quantidades recolhidas de solo foram maiores, tal como esperado, uma vez que este dispositivo foi desenhado de maneira a diminuir as perdas de solo, não permitindo que o solo volte a sair do dispositivo).

O dispositivo Terry foi utilizado em estudos anteriores, na mesma região deste estudo e em zonas também lavradas, por Terry(1996) e Shakesby e tal (1993), onde obtiveram valores para solo erodido de 2,4 a 14,5 g/m<sup>2</sup>mm e 1,2 g/m<sup>2</sup> mm respectivamente, que são da mesma ordem de grandeza dos valores do intervalo 0,42 a 3 g/m<sup>2</sup>mm, determinados no presente estudo.

Os valores de solo movidos por salpicos apresentam uma forte correlação com as características de chuva como precipitação acumulada, intensidade máxima e energia cinética. Mostrando que quanto maior forem, maior é a primeira etapa de erosão do solo. Em concordância com Morgan (1993), a perda de solo está estritamente relacionada com a precipitação, onde destaca o poder do embate das gotas na superfície do solo.

Na visão de Bigarella e Mazuchowki (1985), as chuvas de alta intensidade têm mais sucesso no que se refere à ruptura da estabilidade dos agregados. As chuvas torrenciais possuem forte ligação com a erosão dos solos, pois prepara o material a ser transportado pelo escoamento superficial. Guerra (1995) acrescenta ainda, que a intensidade da chuva, tem papel importante nas taxas de infiltração, podendo exceder o limite da capacidade de infiltração do solo. Freire *et al* (1991) classificam a erosividade da chuva, como a responsável por 90% das variações de perda de solo num local. O que não foi demonstrado nas simulações de chuva, provavelmente a erros de elaboração tanto experimental, como de análise.

Os terrenos que cuja opção após incêndio seja a intervenção mecânica apresentam uma erosão por salpicos exponencialmente superior, pelo atendendo a este factor se considera esta opção um risco de perda de solo útil.

## Referências

- Adams, S., Strain, B.R. and Adams, M.S. 1969 Water-repellent soils and annual plant cover in a desert scrub community of south eastern Califórnia. Proc. Symp. Water-Repellent Soils. Univ. of California, Maio 1968, 289-295.
- Bigarella, j. j; Mazzuchowski, J. Z. *Visão integrada da problemática da erosão*. Livro Guia do III Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Maringá, 1985. p. 01-19; 93-121.
- Clarke, M.A.; Walsh,R.D., *A portable rainfall simulator for field assessment of splash and slopewash in remote locations*, Wiley InterScience, Junho 2007.
- Clarke, M.A., *Soil erosion in primary selectively logged rain forest, Danum Valley, Malaysia*, University of Wales Swansea, 2002.
- Dekker, L.W. and Jungerius, P.D.. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to The Netherlands. In: Th.W.M. Bakker, P.D. Jungerius and J.A. Klijn (Editors). Dunes of the European Coast. Geomorphology, Hydrology, Soils. Catena Suppl., 18: 173-183.
- Doerr, S.H. 1998. “ Short communications on standardizing the ‘Water drop penetration time’ and ‘molarity of an ethanol droplet’ techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 663-668.
- Ellison, W.D., 1944. Studies of raindrop erosion. *Agric.Eng*25, 131-136, 181-182.
- Freire, O.; Tommaselli; J. T. G.; Mizuzaki, M. Y; Barrios, N. A. Z; Sudo, H.; Pereira, V. P. Erosividade da chuva na região de Presidente Prudente-SP. *Anais: 3º Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente*. Londrina-PR, 1991. p. 407-414.
- Gutián, F. y Carballas, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- Huang C, J M Bradford, J H Cushman(1982), A numerical study of raindrop impact phenomena: the rigid case. *Soil Science Society of America Journal* 46: 14-19.
- Hudson, N. W. 1965 *The influence of rainfall on the mechanics of soil with particular reference to Southern Rhodesia*. Unpubl.MSc.Thesis, Univ. Of Cape Town.
- Kemper, W.D. e Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. En: *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. (A. Klute *et al.* eds.). American Society of Agronomy, Madison, WI, pp: 425-442.
- Kinnell, P.I.A. 1991. The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows. *Trans. ASAE*. 34: 161–168.

Le Bissonnais Y., 1990. Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. *Catena* Suppl. 17, 13-28.

Leguedois C., S., Malam-Issa O., Bissonnais Y. L.E. 2005. Splash distance and size distributions for various soils. *Geoderma* (In press).

Letey, J. 1969 Measurement of contact angle, water drop time penetration time, and critical surface tension. *Proc. Symp. Water-repellent Soils*, University of California, Riverside, Maio 1968, 43-47.

Molina, M.J., Llinares, J.V., 1996, Movilización del suelo por impacto de las gotas de lluvia: ensayo de un nuevo diseño de cápsulas para su determinación en pendientes, *Cuatern, Geomorfol*, 10, 21-31.

Morgan, R.P.C., , 2005, *Soil Erosion and conservation*, third edition, National soil resources Institute, Cranfield University.

Moss, A.J., and P. Green. 1983. Movement of solids in air and water- by raindrop impact. Effects of drop-size and waterdepth variations. *Austr. J. Soil Res.* 21:257-269.

Mutchler C. K., R A Young R.A. , 1975, Soil detachment by raindrops. In *Present and prospective technology for predicting sediments yield and sources*. USDA-ARS Publication ARS-S-40: 113-17.

Poesen J., Torri D., 1988, The effect of cup size on splash detachment and transport measurements. Part I: Field measurements. *Catena supplement* 12: 113-26.

Fernández-Raga, M., et al, The Kinetic energy of rain measured with an optical disdrometer: An application to splash erosion, *Atmos. Res* (2009).

Savage, S.M. 1974 Mechanism of fire-induced water repellency in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 652-657.

Savage, S.M., Letey, J. Osborn, J. and Heaton, C. 1972 Water repellency in soils induced by forest fires. *Soil Sci, Soc. Am. Proc.*, 26, 674-678.

Shakesby, R.A., Doerr, S.H., 2006. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Sci. Rev.* 74, 269-307.

Sharma, P.P., Gupta, S.C. and Rawls, W.J.. 1991. Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*

SSS (Soil Survey Staff). (1975). *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

Terry, J.P., 1989, The development of a new device for measuring rainsplash erosion, *Swansea Geogr*, 26, 54-63.

Terry, J.P., 1992. Rainsplash detachment and soil erosion in the Águeda Basin, Portugal: the effects of the forest fire and land management changes. PhD Thesis. University College of Swansea.

Terry, J.P., 1996, Erosion pavement formation and slope process interactions in commercial forest plantations, northern Portugal, *Z., Geomorphol*, 40, 97-115.

Van Dijk A.I.J.M., Meesters, A.G.C.A., Bruijnzeel, L.A. 2002 Exponential distribution theory applied to splash detachment and transports experiments. *Journal of Applied Meteorology* 18, 654-660.

Wischmeier, W.H. 1959 A rainfall erosion index for universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 23, 246-249.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses, USDA Agricultural Research Service Handbook 537.

URL 1 – Mapas Google, <http://maps.google.com/> ; consultado em Agosto de 2008;