

# **Efeitos de Condicionadores do Solo na Erosão Hídrica em Áreas Ardidas no Nordeste de Portugal**

**Amanda Leroy Ferreira Alves**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de  
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em  
Tecnologia Ambiental*

Orientada por

**Prof. Doutor Tomás de Aquino Rosa Figueiredo - IPB**

**Prof<sup>a</sup>. Doutora Felícia Fonseca - IPB**

**Prof. Doutor Marcelo de Ávila Chaves - FUMEC**

**Bragança  
2018**



# **EFEITOS DE CONDICIONADORES DO SOLO NA EROÇÃO HÍDRICA EM ÁREAS ARDIDAS NO NORDESTE DE PORTUGAL**

Trabalho apresentado ao  
Instituto Politécnico de Bragança,  
como requisito parcial para  
conclusão da dissertação do  
mestrado em Tecnologia Ambiental



## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Professor Doutor Tomás de Figueiredo e Professora Doutora Felícia Fonseca, da Escola Superior Agrária de Bragança, agradeço a definição das metodologias de estudo e o grande apoio prestado na aplicação destas no campo e no laboratório, ao auxílio na interpretação de resultados e contribuição para elaboração da dissertação. Enfatizo o esforço prestado e o tempo disponibilizado nas etapas em que ocorreram as simulações de chuva. Agradeço a dedicação, aconselhamento e esclarecimentos de todas as minhas dúvidas, além do companheirismo e palavras de incentivo durante toda a caminhada percorrida.

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Marcelo Ávila pelo tempo despendido, material de apoio nos estudos, além da grande ajuda e disponibilidade.

Agradeço ao Engenheiro Arsénio Araújo pela ajuda prestada.

Agradeço aos meus colegas Nicolas Rosin, Maria Clotilde, Adriana Xavier, Leonardo Morais e Eduardo Motta por toda ajuda e apoio prestado no decorrer da pesquisa.

Agradeço ao Professor Marco Lado da Universidade da Corunha – Espanha pela disponibilização da Poliacrilamida – PAM para realização dos ensaios.

Agradeço ao pesquisador doutor Marcus Manoel Fernandes da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais – SEDECTES pela análise e sugestões no texto.

Ao Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, pelo acolhimento e a todos os professores da instituição que de alguma forma me auxiliaram na busca de conhecimento.

À Universidade FUMEC por todo apoio prestado e grande oportunidade oferecida.

À minha família que sempre me apoiou, incentivou e torceu pelas minhas conquistas durante todos os momentos, além de todo suporte e carinho. Sem eles não teria realizado esta conquista. Muito obrigada.

Agradeço aos meus amigos Lays Belloni e Luiz Eduardo por todo companheirismo, conselhos e apoio durante este intercâmbio.

Agradeço ao Guilherme Alves por toda paciência, apoio, incentivo, conselhos e torcida em todos os momentos deste último ano. Muito obrigada!



## RESUMO

O solo apresenta uma elevada importância na manutenção da vida no ecossistema terrestre, e os seres humanos dependem diretamente deste recurso natural, porém o uso e manejo do solo de forma inadequada geram danos ao meio ambiente. A erosão é um dos impactos mais significativos sobre o recurso solo, afetando as capacidades básicas do mesmo no ecossistema, além de prejudicar a sua função enquanto suporte das atividades agrícolas e florestais. Dentre os tipos de erosão do solo, a erosão hídrica é a que mais contribui para a degradação do solo, especialmente na região NE de Portugal, devido às condições topográficas favoráveis e às propriedades físicas do solo. Este trabalho tem como objetivo principal o estudo dos processos hidrológicos associados à erosão hídrica de amostras de solo áridas através da simulação de chuva em laboratório. As amostras de solo foram colhidas em Quintela de Lampaças, no distrito de Bragança, em uma área árida de matos de 2017. Foram testados os efeitos da aplicação de condicionadores do solo na superfície das amostras de solo, neste caso foi utilizado a poliacrilamida (PAM). Escoamento, salpico, perda de solo e infiltração foram quantificados durante os ensaios de simulação de chuva. Os coeficientes de escoamento, salpico, perda de solo e infiltração foram quantificados para obtenção dos resultados. Com a realização deste estudo, pode-se concluir que a aplicação de poliacrilamida, com o objetivo de diminuir os impactos ao solo ocasionados pela erosão hídrica é eficaz, principalmente na diminuição de perda de solo e salpico.

**Palavras Chave:** Erosão hídrica; Áreas Áridas; Poliacrilamida - PAM; Simulador de Chuvas.

## ABSTRACT

The soil is very important in maintaining life in the ecosystem, and humans depend directly on this natural resource, but the misuse and mismanagement generate damage to the environment. Erosion is one of the most significant impacts on the soil resource, affecting its basic capabilities in the ecosystem, as well as impairing its function as a support for agricultural and forestry activities. Among the types of soil erosion, water erosion contributes most to soil degradation, especially in the northeast - NE region of Portugal, due to favorable topographic conditions and soil physical properties. The main objective of this work is the study of the hydrological processes associated to water erosion of soil samples by laboratory rainfall simulation. The soil samples were collected at Quintela de Lapaças, Bragança district, in a burned area of 2017. The effects of soil conditioners were tested, in this study using polyacrylamide – PAM. Runoff, splash, soil loss and infiltration were quantified after 30 min rainfall simulations at 74 mm h<sup>-1</sup> intensity. From the results of this study, it can be concluded that PAM application for reducing water erosion impacts on soils of burned areas is effective, mainly in what regards soil loss and splash.

**Keywords:** Water erosion; Burnt Areas; Polyacrylamide - PAM; Rainfall Simulator

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>3</b>
2.1 SOLO	3
2.1.1 PERFIL DO SOLO	3
2.1.2 QUALIDADE DO SOLO	5
2.1.3 ESTABILIDADE E AGREGADOS DO SOLO	7
2.2 EROSÃO DO SOLO	9
2.2.1 EROSÃO HÍDRICA	9
2.3 SIMULADORES DE CHUVA	13
2.4 ÁREAS ARDIDAS	14
2.4.1 CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS EM PORTUGAL	15
2.4.2 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO EM ÁREAS ARDIDAS	16
2.5 CONDICIONADORES DE SOLO	17
2.5.1 CONDICIONADORES SINTÉTICOS: POLIACRILAMIDA	18
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>21</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 SIMULADOR DE CHUVA	22
3.2.1 CALIBRAÇÃO DO SIMULADOR	24
3.3 DISPOSITIVO PARA SIMULAÇÃO DE CHUVA SOBRE AS AMOSTRAS DE SOLO	26
3.4 DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS A ENSAIAR	29
3.5 PARÂMETROS AMOSTRADOS NAS SIMULAÇÕES	31
3.5.1 SALPICO	31

<b>3.5.1.1 CONCENTRAÇÃO DE SALPICO</b>	<b>32</b>
<b>3.5.1.2 QUANTIDADE DE SALPICO</b>	<b>32</b>
<b>3.5.1.3 TAXA DE SALPICO</b>	<b>33</b>
<b>3.5.1.4 SALPICO ESPECÍFICO</b>	<b>33</b>
<b>3.5.1.5 ÁGUA DE SALPICO</b>	<b>33</b>
<b>3.5.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL</b>	<b>34</b>
<b>3.5.2.1 ESCOAMENTO</b>	<b>35</b>
<b>3.5.2.2 TAXA DE ESCOAMENTO</b>	<b>35</b>
<b>3.5.2.3 CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS</b>	<b>35</b>
<b>3.5.2.4 PERDA DE SOLO</b>	<b>35</b>
<b>3.5.2.5 TAXA DE PERDA DE SOLO</b>	<b>36</b>
<b>3.5.2.6 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO</b>	<b>36</b>
<b>3.5.3.1 INFILTRAÇÃO</b>	<b>36</b>
<b>3.5.3.2 TAXA DE INFILTRAÇÃO</b>	<b>37</b>
<b>3.5.4 INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO SIMULADA</b>	<b>37</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>39</b>
<hr/>	
<b>4.1 SALPICO</b>	<b>39</b>
<b>4.1.2 ANÁLISE DO PARÂMETRO SALPICO SOB INCLINAÇÃO DE 30%</b>	<b>42</b>
<b>4.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL</b>	<b>43</b>
<b>4.2.1 ANÁLISE DO PARÂMETRO ESCOAMENTO SUPERFICIAL SOB INCLINAÇÃO 30%</b>	<b>44</b>
<b>4.3 PERDA DE SOLO</b>	<b>45</b>
<b>4.3.1 ANÁLISE DO PARÂMETRO PERDA DE SOLO NA SEGUNDA CHUVADA</b>	<b>47</b>
<b>4.3.2 ANÁLISE DO PARÂMETRO PERDA DE SOLO SOB INCLINAÇÃO DE 30%</b>	<b>48</b>
<b>4.4 CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS NA ÁGUA DE ESCOAMENTO</b>	<b>49</b>
<b>4.4.1 ANÁLISE DO PARÂMETRO CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS NA SEGUNDA CHUVADA</b>	<b>51</b>
<b>4.4.2 – ANÁLISE DO PARÂMETRO CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SOB A INCLINAÇÃO DE 30%</b>	<b>52</b>
<b>4.5 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO E INFILTRAÇÃO</b>	<b>53</b>
<b>4.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS DA ANOVA 2 FATORES</b>	<b>55</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>57</b>
<hr/>	

<b>5.1 SALPICO E PERDA DE SOLO</b>	<b>57</b>
<b>5.2 CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS</b>	<b>58</b>
<b>5.3 INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO</b>	<b>58</b>
<b><u>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b><u>60</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Perfil do Solo. Adaptado de <a href="https://conceito.de/rocha-mae">https://conceito.de/rocha-mae</a> (2016) ...	4
<b>Figura 2</b> - Exemplo de Erosão Laminar. Unesp/IGCE (1999).....	11
<b>Figura 3</b> - Exemplo de Erosão em Sulcos. Peta Austrália (200-?).....	12
<b>Figura 4</b> - Exemplo de Voçorocas/Ravinas. IPT (2012).....	12
<b>Figura 5</b> - Poliacrilamida. Adaptado de Liquid Technologies (200-?) .....	19
<b>Figura 6</b> - Estrutura de Poliacrilamida. Sojka et al; (2005) .....	19
<b>Figura 7</b> - Distrito de Bragança e municípios pertencentes .....	21
<b>Figura 8</b> - Pontos de colheita das amostras de solo na área ardida.....	22
<b>Figura 9</b> - Simulador de Chuva.....	23
<b>Figura 10</b> - Bico do aspersor do simulador.....	25
<b>Figura 11</b> - Tabuleiro de suporte das amostras de solo perfurado .....	26
<b>Figura 12</b> - Dispositivo criado para a simulação de chuva nas amostras de solo .....	27
<b>Figura 13</b> - Placas metálicas de salpico e rampas de escoamento superficial	28
<b>Figura 14</b> - Amostras de salpico secas a 105° Celsius.....	32
<b>Figura 15</b> - Amostras secas de escoamento .....	34
<b>Figura 16</b> - Efeito da dose de PAM e do teor de humidade do solo nos valores médios do parâmetro salpico. ....	39
<b>Figura 17</b> – Efeito da segunda chuvada no parâmetro salpico (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S, PAM 5 S, PAM 5 S A 2 Ch .....	41
<b>Figura 18</b> – Efeito da inclinação no parâmetro salpico (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S e PAM 5 S .....	42
<b>Figura 19</b> - Efeito da dose e do teor de humidade do solo no escoamento superficial (valores médios).....	44

<b>Figura 20</b> - Efeito da inclinação no parâmetro escoamento superficial (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S e PAM 5 S.....	45
<b>Figura 21</b> - Efeito da dose de PAM e do teor de humidade do solo nos valores médios do parâmetro perda de solo.....	45
<b>Figura 22</b> - Efeito da segunda chuvada no parâmetro perda de solo (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S, PAM 5 S, PAM 5 S A .....	47
<b>Figura 23</b> - Efeito da inclinação no parâmetro perda de solo (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S e PAM 5 S .....	48
<b>Figura 24</b> - Efeito dose de PAM e do teor de humidade na concentração de sedimentos na água de escoamento (valores médios) .....	49
<b>Figura 25</b> - Efeito da segunda chuvada no parâmetro concentração de sedimentos (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S, PAM 5 S, PAM 5 S A.....	52
<b>Figura 26</b> - Efeito da inclinação no parâmetro concentração de sedimentos (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S e PAM 5 S.....	52
<b>Figura 27</b> - Efeito da dose de PAM e do teor de humidade do solo na infiltração (valores médios).....	54

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Principais indicadores da qualidade do solo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz -ESALQ- USP.....	7
<b>Tabela 2</b> - Resultados de calibração do caudal (L/s).....	26
<b>Tabela 3</b> – Tratamentos realizados nas amostras de solo.....	29
<b>Tabela 4</b> - Intensidades médias (mm/h) de precipitação por tratamento .....	37
<b>Tabela 5</b> - Efeito da dose de PAM (tratamento) na produção de salpico (g/m <sup>2</sup> ). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre doses (P < 0,05).....	40
<b>Tabela 6</b> - Valores de salpico (g/m <sup>2</sup> ) para o conjunto de tratamentos ensaiados (média e desvio padrão).....	40
<b>Tabela 7</b> – Valores de escoamento superficial (L/m <sup>2</sup> ) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão).....	43
<b>Tabela 8</b> - Efeito da dose de PAM (tratamento) na perda de solo (g/m <sup>2</sup> ). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre doses (P < 0,05)	46
<b>Tabela 9</b> - Valores de perda de solo (g/m <sup>2</sup> ) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão) .....	47
<b>Tabela 10</b> - Efeito da inclinação na perda de solo (g/m <sup>2</sup> ). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (P < 0,05)...	49
<b>Tabela 11</b> - Valores de concentração de sedimentos (g/L) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão).....	50
<b>Tabela 12</b> - Efeito entre tratamentos na concentração de sedimentos (g/L). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos (P < 0,05) .....	51

<b>Tabela 13</b> - Valores de coeficiente de escoamento (%) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão).....	53
<b>Tabela 14</b> - Efeito entre tratamentos na infiltração (L/m <sup>2</sup> ). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (P < 0,05) ...	54
<b>Tabela 15</b> - Valores do parâmetro infiltração (L/m <sup>2</sup> ) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão).....	55
<b>Tabela 16</b> - Síntese dos resultados ANOVA 2 fatores: Efeito Dose e estado de Humidade (gl = 3) e (P < 0,05) .....	55



## 1 INTRODUÇÃO

O solo apresenta uma elevada importância na manutenção da vida nos ecossistemas terrestres, sendo o mesmo essencial para a produção de alimentos, fornecimento de matéria prima para produção de medicamentos, vestuário e produção de energia. Os seres humanos dependem diretamente deste recurso natural, porém o uso e manejo do solo de forma inadequada geram danos ao meio ambiente (Figueiredo, 2012).

A erosão é um dos impactos mais significativos sobre o recurso solo, afetando as capacidades básicas do mesmo no ecossistema, além de prejudicar a sua função enquanto suporte das atividades agrícolas e florestais (Figueiredo, 2012).

Na Europa, e mais especificamente na região nordeste de Portugal, a erosão hídrica tem colocado extensas áreas em risco devido às condições topográficas favoráveis e às propriedades físicas do solo (Alexandre, 2015; Figueiredo, 2012). A erosão hídrica tem sido uma das principais causas de redução da produtividade das terras agrícolas, podendo resultar no abandono de áreas anteriormente produtivas (Bertoni & Neto 1990).

A ocorrência de incêndios florestais contribui para agravar os processos erosivos naturais. Os incêndios são reconhecidos como um fenómeno global (Bowman *et al*; 2009) que danificam a superfície terrestre. Estima-se que aproximadamente 30% da superfície do globo esteja sujeita a uma incidência frequente de incêndios (Chuvienco, 2008). Como consequência, ocorre a remoção da cobertura vegetal, além da perda de matéria orgânica e nutrientes do solo (Prats, 2016), afetando diretamente a capacidade de infiltração e o escoamento superficial do solo. Os impactos ambientais ocasionados pelos incêndios florestais, juntamente com a erosão hídrica acarretam danos na capacidade produtiva do solo, prejudicando a resistência e resiliência do mesmo, resultando em condições favoráveis à seca e à desertificação (Alexandre, 2015; Hudson, 1981; Morgan, 2005).

A suscetibilidade do solo à erosão está diretamente relacionada com a estabilidade da agregação, que é caracterizada por parâmetros de resistência do solo a ações físicas que o perturbam (Le Bissonnais, 1996). Por outras

palavras, a agregação indica a condição do solo ou capacidade do mesmo em relação ao arejamento, infiltração da água, retenção da água e dos nutrientes, e crescimento e expansão dos sistemas radiculares. Um solo que contém agregados pouco resistentes ao humedecimento rápido será facilmente erodido quando exposto à ação da chuva (Yoder, 1936, citado em Volk & Cogo, 2008).

Este trabalho tem como objetivo o estudo dos processos hidrológicos associados à erosão hídrica de amostras de solo não perturbadas sob simulação de chuva em laboratório. Testa-se o efeito da aplicação de condicionadores do solo, neste caso a poliacrilamida (PAM), na superfície de amostras de solo, colhidas numa área ardida de matos em 2017, localizada em Quintela de Lampaças, Distrito de Bragança, NE de Portugal.

Após este capítulo introdutório, em que são apresentados os objetivos do estudo, a proposta de dissertação desenvolve-se em quatro capítulos, iniciando por um referencial bibliográfico abrangendo os tópicos degradação do solo, erosão hídrica e condicionantes do solo. Em sequência apresentam-se os materiais e métodos utilizados, e em sequência os resultados e sua discussão, seguindo da conclusão, finalizando com a lista de referências bibliográficas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Solo

O solo pode ser definido como a camada superficial da crosta terrestre, composto por partículas minerais de diferente granulometria e composição química diversa, e por matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição. As diferentes proporções destes componentes e o modo como se distribuem refletem a sua formação. O solo é um recurso natural não renovável, portanto a sua conservação é indispensável para manutenção dos ecossistemas. O conhecimento dos solos de um território é um elemento essencial para a identificação de potencialidades, limitações e riscos associados ao uso atual ou futuro da terra (Figueiredo, 2013).

A estrutura do solo pode ser definida quanto à forma, dimensão e estabilidade das suas partículas primárias e agregadas (Kay, 1988). A estrutura do solo é uma característica física, formada pelas partículas sólidas e os espaços vazios que a elas se associam, e a estabilidade da estrutura pode ser definida como a capacidade desse arranjo se manter, quando exposto a diferentes ações perturbadoras, como é o caso em particular da ação de chuvadas erosivas (Angers & Carter, 1996).

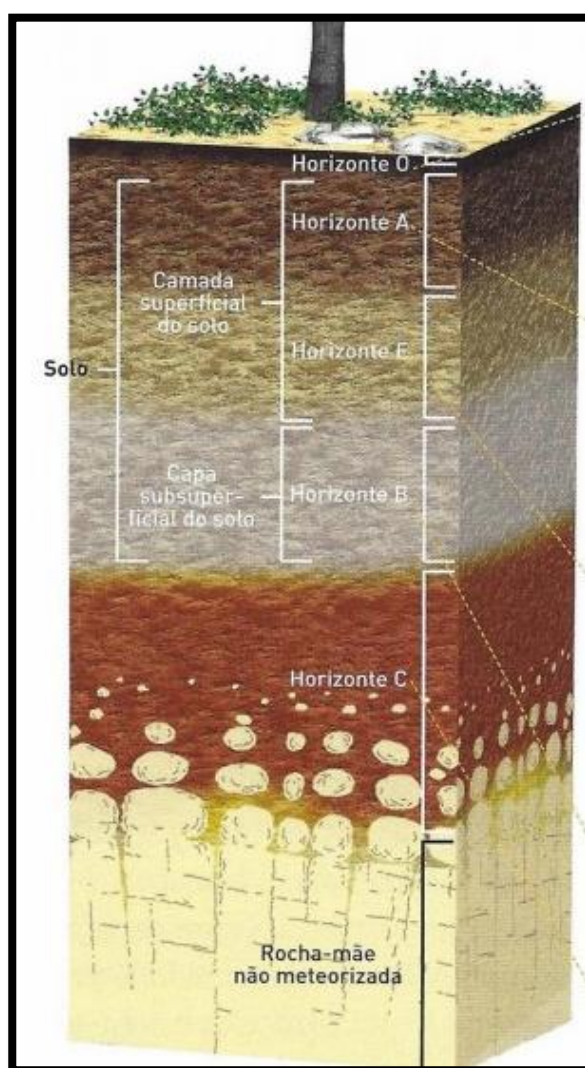
Embora estas ações se verifiquem maioritariamente na camada superficial, é importante notar que o solo não corresponde apenas a essa interface mas é um corpo natural de constituição e organização diferenciadas em profundidade.

#### 2.1.1 Perfil do Solo

À seção vertical, que abrange a superfície até ao material geológico, dá-se o nome de perfil do solo (Lepsch, 2010). Na observação e descrição de perfis do solo, percebe-se que as propriedades do solo não estão distribuídas aleatoriamente, mas sim de forma ordenada em camadas horizontais, designadas de horizontes do solo (Neary *et al*, 2005). Os horizontes do solo são constituídos por quatro componentes principais: partículas minerais, materiais

orgânicos, água e ar. Ao cortar-se um solo verticalmente, pode-se observar a sequência de horizontes.

De acordo com Lepsch (2010), o perfil de um solo completo possui cinco tipos de horizontes diferentes, que são identificados pelas letras maiúsculas O, A, E, B, C, além da rocha de origem (Rocha mãe), representada pela letra R como pode ser observado na Figura 1. Existe ainda a classificação do horizonte orgânico “H”, característico de áreas encharcadas, ou seja, de solos orgânicos.



**Figura 1** - Perfil do Solo. Adaptado de <https://conceito.de/rocha-mae> (2016)

O horizonte “O” é caracterizado pela presença de compostos orgânicos resultantes da acumulação de folhas e outros resíduos na superfície do solo, em diferentes estágios de decomposição. Esses resíduos orgânicos são comumente

denominados no Brasil de serapilheira ou manta morta em Portugal (Lepsch, 2010).

O horizonte "A" é composto por uma camada predominantemente mineral localizada próximo da superfície, tendo como característica principal a acumulação de matéria orgânica decomposta (húmus). Este horizonte, normalmente apresenta cor escura devido à presença de húmus, elemento importante para a formação de agregados que contribuem para a estrutura do solo (Lepsch, 2010).

O horizonte representado pela letra "E" está presente em alguns tipos de solo, localizado entre os horizontes A e B. Este é caracterizado por apresentar coloração clara, e representa a camada do solo na qual ocorreu a translocação de materiais para o horizonte B, como por exemplo, argila, húmus e óxidos de ferro. Esse processo de translocação de material coloidal é denominado de eluviação (Lepsch, 2010).

De acordo com Lepsch (2010), a letra "B" representa o horizonte, que se encontra abaixo dos horizontes A e E, desde que esses não tenham passado por processos erosivos. O horizonte B é caracterizado por apresentar coloração mais clara que o horizonte A, com estrutura desenvolvida e acumulação dos materiais coloidais transpostos dos horizontes superiores.

O horizonte C corresponde à rocha pouco alterada pelos processos de formação do solo, tendo características idênticas às do material originário a partir do qual o solo se formou.

Por fim, representado pela letra R encontra-se a rocha não alterada, conhecida também como rocha mãe ou rocha de origem. É definida como a matriz mineral de um solo, sendo composta por um material rochoso que não sofreu alteração física ou química relevantes.

### **2.1.2 Qualidade do Solo**

A qualidade do solo é definida como a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos seres humanos (Doran & Parkin, 1994). Por outras palavras, os parâmetros de qualidade do solo estão

diretamente relacionados com as funções que capacitam o solo em receber, armazenar e reciclar a água, nutrientes e energia (Carter, 2001). A avaliação da qualidade do solo leva em consideração diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos, como pode ser observado na Tabela 1, e depende diretamente da escala e do objetivo da avaliação (Wilson & Kordybach, 1997).

A qualidade física dos solos é um fator importante para a sustentabilidade do recurso, sendo uma área de estudo em contínua expansão (Lal, 2000; Reynolds *et al*; 2002). Os indicadores físicos são de grande relevância do ponto de vista das atividades agrícolas pois estabelecem relações diretas com os processos hidrológicos (EMBRAPA, 2006), tais como a taxa de infiltração, drenagem, erosão e escoamento superficial. Desempenham também papel importante no suprimento e armazenamento de água, nutrientes e oxigênio no solo (EMBRAPA, 2006). Os principais indicadores físicos da qualidade do solo são a textura, espessura, densidade, resistência à penetração, porosidade, capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica e estabilidade da agregação (Araújo *et al*; 2012).

Os indicadores químicos da qualidade do solo são também muito relevantes, pois dão informação sobre a capacidade de troca catiônica do solo e sobre a disponibilidade de nutrientes para as plantas (EMBRAPA, 2006). São normalmente, agrupados em variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, a acidez do solo, o conteúdo de nutrientes e determinadas relações como a saturação de bases (Araújo *et al*; 2012).

**Tabela 1** - Principais indicadores da qualidade do solo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz -ESALQ- USP

Indicadores da qualidade do solo		
Físicos	Químicos	Biológicos
Aeração	Porcentagem de saturação por bases (V%)	Carbono orgânico
Estabilidade estrutural	Capacidade de troca catiônica (CTC)	Biomassa microbiana C e N Biomassa total Bacteriana Fungos
Densidade do solo	Disponibilidade de contaminantes	
Mineralogia de argila	Concentração de contaminantes	
Cor	Mobilidade de contaminantes	
Consistência	Presença de contaminantes	
Profundidade de desenvolvimento do sistema radicular	Condutividade elétrica	Potencial de N minerazável
Condutividade hidráulica	Porcentagem de saturação por sódio	Respiração do solo
Taxa de difusão de oxigênio	Taxas de ciclagem de nutrientes	Enzimas Dehidrogenase Fosfatase Arlisulfatase
Granulometria	pH	
Resistência a penetração	Disponibilidade de nutrientes para as plantas	
Conectividade de poros	Teor de nutrientes para as plantas	
Distribuição do tamanho de poros	Relação de adsorção de sódio (RAS)	Biomassa C/carbono orgânico total
Friabilidade		Respiração/biomassa
Estrutura e agregação		Identificação da comunidade microbiana
Temperatura		Utilização de substrato
Porosidade total		Análise de ácidos graxos
Capacidade de retenção de água		Análise de ácidos nucleicos

Entre os principais indicadores biológicos da qualidade do solo destaca-se a matéria orgânica, a massa microbiológica e o nível de respiração do solo. A biomassa microbiana do solo é o componente vivo da matéria orgânica. A sua avaliação é importante para obtenção de informação sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, detectar variações causadas por cultivos ou por devastação de florestas, medir a regeneração dos solos após a remoção da camada superficial e avaliar os efeitos de poluentes como metais pesados e pesticidas (Frighetto, 2000).

### 2.1.3 Estabilidade e Agregados do Solo

Os agregados representam a organização ou arranjo das partículas sólidas constituintes do solo. A agregação é o resultado das forças de aproximação e cimentação das partículas orgânicas e minerais no solo (EMBRAPA, 2010). Essa indica a condição ou habilidade do solo em relação a aeração; infiltração; retenção de nutrientes e o desenvolvimento das raízes.

A estabilidade dos agregados é um dos fatores mais importantes ao se tratar da conservação e manutenção do solo e suas funções para com o meio ambiente. A agregação afeta a capacidade do solo em reter e armazenar a água e nutrientes, assim como o seu escoamento superficial (Scheer *et al*; 2011; Berhe & Kleber, 2013). A mesma é definida através de propriedades intrínsecas do solo. Em solos com baixo conteúdo de matéria orgânica, os principais agentes agregadores são os óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). O efeito desses minerais na estabilidade dos agregados foi atribuído na cimentação das estruturas (Goldberg *et al*; 1988). Entretanto, em solos com baixo teor de argilas e óxidos de ferro (Fe), a estabilidade dos agregados é relacionada a matéria orgânica do solo (Six *et al*; 2002).

A relação entre os parâmetros de estrutura e os conteúdos de água infiltrada é complexa por causa dos diferentes processos de interação e a intensidade em que os mesmos ocorrem ao longo do tempo. A estabilidade dos agregados é a função entre as forças interruptivas externas e a força das ligações internas dos agregados do solo (Gollany *et al*; 1991). Essa, influencia diversos aspectos em relação ao comportamento físico do solo. Em particular, a capacidade de infiltração da água e a erosão do solo dependem diretamente desse fator. Ao melhorar a estrutura do solo, melhora-se a resistência contra agentes erosivos e a compactação do mesmo (Berhe and Kleber, 2013).

Segundo Silva *et al*. (1993), a estabilidade de agregados é o parâmetro que melhor se correlaciona com a erodibilidade do solo. A agregação pode ser considerada um indicador fiel do estado global da saúde e da qualidade do solo, pois é um é um indicador da resistência do solo à erosão.

A avaliação da estabilidade dos agregados em solos depende das forças que ligam as partículas e da natureza e magnitude das forças desagregantes aplicadas (Beare & Bruce, 1993), existindo diferenças entre os métodos disponíveis para avaliação da estabilidade de agregados (EMBRAPA, 1997)

É de grande importância no controle da erosão hídrica pluvial a estabilidade dos agregados do solo, não somente diante das ações de impacto das gotas da chuva e cisalhante da enxurrada, mas, também, diante de seu rápido umedecimento (Yoder, 1936, citado em Volk & Cogo, 2008).

## 2.2 Erosão do Solo

A Erosão consiste na combinação de processos mecânicos sobre o solo, através da qual, as partículas de solo, subsolo e rocha são desagregadas, alteradas e transportadas (Morgan, 2005). É um processo de ocorrência natural que tem como agentes a água, o vento e o gelo, podendo ser agravado pela interferência humana como o desmatamento, mineração, práticas agrícolas e urbanização (Diyabalanage *et al*; 2017).

### 2.2.1 Erosão Hídrica

A classificação do tipo de erosão é realizada de acordo com o agente atuante, podendo ser a água, o vento ou o gelo. Segundo Zachar (1982), pode-se classificar a erosão do solo em hídrica, eólica ou glacial. Dentre os processos erosivos apresentados, este trabalho dará ênfase ao processo de erosão hídrica, pois de acordo com Morgan (2005) esta é a que apresenta maior influência nos processos de degradação do solo na maior parte do globo.

De acordo com Lepsch (2010), a água pode atuar como um agente desagregante ou como transportador das partículas do solo. O poder erosivo da água depende do volume e velocidade do escoamento superficial, da espessura da lâmina de água, da declividade e da presença de vegetação (Magalhães, 1995).

Quando a cobertura vegetal do solo é eliminada, deixando-o exposto, intensifica-se os impactos ocasionados pela erosão hídrica, que de acordo com a Lepsch (2010) possui três etapas: a desagregação, o transporte e a deposição. Quando a precipitação atinge a superfície do solo, acontece o humedecimento dos agregados, reduzindo as suas forças coesivas e os mesmos podem ser desintegrados em grânulos menores. Com o aumento da energia cinética da precipitação, aumenta-se também a quantidade de agregados desintegrados (Morgan, 2005).

A água da chuva ocasiona impactos diretos e indiretos no solo, podendo gerar diferentes processos: primeiro origina o salpico, em seguida a água infiltra-se e/ou gera escoamento superficial. A água também pode ficar armazenada nas

irregularidades da superfície do solo, formando poças, que uma vez saturadas podem dar início ao escoamento superficial, sendo este o principal responsável pelos processos erosivos da superfície (Guerra *et al*; 1999).

A erosão hídrica acontece pelo impacto causado pela água pluvial em forma de gotas de chuva, águas fluviais, subterrâneas ou qualquer outra forma de água em movimento (Zachar, 1982). A erosão hídrica engloba o processo de desprendimento e transporte das partículas do solo, constituindo a principal causa de degradação dos solos. O desprendimento das partículas de solo no decorrer do processo erosivo, está principalmente relacionado com a destruição dos agregados presentes na superfície do solo (erosão por salpico).

As partículas desprendidas podem ser transportadas pelo escoamento superficial ou podem permanecer próximas do agregado (Lepsch, 2010). O escoamento superficial do solo apresenta diferentes propriedades hidráulicas, de forma que podem ocorrer em toalha ou laminar, por sulcos e por ravinas. Nos solos ocorrem essencialmente três tipos de erosão hídrica:

- Laminar – ocasionada pelo fluxo hídrico não concentrado. Caracteriza-se por um desgaste delgado e uniforme em toda a extensão sujeita ao agente erosivo. Este tipo de erosão é de difícil visualização, uma vez que apenas uma camada fina da superfície do solo é removida pelo processo. A matéria orgânica e as partículas de argila são os primeiros constituintes do solo a se desprenderem, sendo as frações mais ricas e com maiores quantidades de nutrientes para as plantas, como pode ser observado na Figura 2 (Morgan, 2005; Blanco & Lal, 2008).



**Figura 2** - Exemplo de Erosão Laminar. Unesp/IGCE (1999)

- Sulcos – a erosão em sulcos resulta da concentração do escoamento superficial produzido pela chuva, ocasionando a formação de pequenos canais (Figura 3) (Morgan, 2005). Este tipo de erosão se inicia normalmente por irregularidades no terreno, sendo que a ação erosiva é decorrente da energia associada ao escoamento. Os mecanismos de impacto das gotas da chuva na superfície do solo e o escoamento superficial são, conjuntamente, os responsáveis pelo desprendimento e transporte de sedimentos. De acordo com Baccaro (1994), alguns fatores contribuem para a geração de sulcos erosivos, entre eles destacam-se os trilhos, especialmente os de gado, as estradas de acesso, a concentração de águas pluviais, as áreas submetidas ao manejo agrícola impróprio e a remoção da cobertura vegetal.



**Figura 3** - Exemplo de Erosão em Sulcos. Peta Austrália (200-?)

- Voçorocas (Brasil) ou Ravinas (Portugal) – corresponde ao estágio mais avançado de erosão. Consiste no desenvolvimento de canais nos quais o fluxo superficial de água se concentra (Figura 4). Os canais possuem dimensões relativamente grandes, podendo alcançar quilômetros de extensão e vários metros de profundidade, e atingir mesmo o nível do lençol freático (Blanco & Lal, 2008; Lepsch, 2010). Este tipo de erosão é de difícil recuperação, o que ocasiona danos económicos.



**Figura 4** - Exemplo de Voçorocas/Ravinas. IPT (2012)

### 2.3 Simuladores de Chuva

Os estudos que tem como objetivo avaliar o impacto ocasionado pela erosão hídrica no solo são difíceis de realizar em condições de precipitação natural devido à ausência de controle de importantes variáveis como a duração, intensidade e distribuição da precipitação. Uma alternativa a este problema são os simuladores de chuva, que são utilizados em estudos de manejo do solo desde 1930 (Hudson, 1993; Souza, 2004).

Os simuladores de chuva são utilizados nas pesquisas que pretendem replicar, de modo próximo ao real, as chuvas naturais. Os simuladores consistem na aplicação ou queda da água sobre o solo, sendo um instrumento utilizado para realizar estudos de erosão, infiltração, salpico e escoamento superficial da água sem depender das condições meteorológicas do local (Tomás, 1997). A simulação artificial de chuva permite obter resultados num período de tempo estimado, podendo contribuir para controlar a recolha de dados, o que aumenta a eficiência das análises do estudo em questão (Guerra *et al*; 1999). Em contrapartida, as desvantagens do simulador estão essencialmente relacionadas com o transporte e montagem do equipamento no campo, a distribuição das gotas produzidas pelos simuladores é diferente das gotas naturais, a ocorrência de ventos e de chuvas naturais durante as simulações, além do suprimento de água despendido na realização das simulações (Tomás,1997; Guerra *et al*; 1999).

Atualmente, a utilização de simuladores de chuva para a determinação da taxa de infiltração da água no solo, erosão e escoamento é considerada a que melhor representa a realidade local (Meyer, 1965; Meyer, 1979; Tomás, 1997; Morgan, 2005). Entretanto, certas características devem ser asseguradas na simulação, como por exemplo:

- Portabilidade e fácil manuseio do aparelho;
- Intensidade da precipitação simulada tendo em consideração a precipitação real do local de estudo;
- Distribuição uniforme da chuva, cobrindo toda a área de estudo;
- O diâmetro médio da gota e a velocidade média representando o mais próximo possível da chuva natural, de forma uniforme;

- Possibilidade de repetições dos ensaios simulados;
- Delimitação de uma área de estudo satisfatória, para representar as condições de erosão hídrica.

Existem diferentes tipos de simuladores, podendo ser pressurizados ou não, de diferentes tamanhos, e já existem também os simuladores automatizados. Os dois principais simuladores de chuva são (Meyer, 1979; Hudson, 1981; Tomás, 1997):

- Aspersores ou simuladores de bico pressurizado, – estes simuladores aplicam a chuva através de formadores de gotas com uma velocidade considerável. Por ser um simulador pressurizado, este possui maior probabilidade de atingir a velocidade final desejada quando comparado com os do tipo gotejadores (Bertoni, 1990). Para estudos que necessitam de elevadas intensidades de precipitação, os simuladores de bico sob pressão permitem uma precipitação mais próxima da realidade.
- Gotejadores ou gotas não pressurizadas: este tipo de simulador necessita de alturas de queda elevadas, entre 10 a 12 metros de altura, uma vez que a água goteja através das extremidades de fios de tecido pendurados ou de pontas de tubo, tendo uma velocidade inicial nula.

## 2.4 Áreas Ardidadas

Desde o período Neolítico, o fogo tem sido usado como uma fonte de energia e um mecanismo de defesa, criando-se terras agrícolas e pastos onde anteriormente predominavam florestas (Bird *et al*; 2008). O fogo é reconhecido como um fenômeno global que possui um impacto direto nas terras agricultáveis, maior que qualquer outro distúrbio natural (Lavorel *et al*; 2007). No passado os fogos florestais aconteciam naturalmente, sendo a ignição provocada por trovoadas secas. Posteriormente, com a descoberta do fogo pelo homem, novas causas de ignição aconteceram, e conseqüentemente uma maior ocorrência de incêndios (Fernandes *et al*; 2009). Os incêndios causam alterações significativas

na paisagem, acarretando consequências negativas a nível social, económico e ambiental.

#### **2.4.1 Causas e Consequências em Portugal**

Portugal está localizado no sul da Europa, e é frequentemente afetado pela ocorrência de incêndios florestais, contabilizando grandes áreas ardidas face à sua área territorial (Pereira *et al*; 2006). Entre 1980 e 2010 os incêndios florestais afetaram aproximadamente 110 000 hectares de terras por ano em Portugal (AFN, 2012).

O clima de Portugal possui características comuns aos países da Bacia Mediterrânea, coincidindo no período do verão as temperaturas mais altas com o período mais seco do ano. O verão seco e de baixa humidade relativa do ar influencia o clima, a vegetação e o solo, tornando as áreas verdes altamente inflamáveis, o que facilita a propagação dos incêndios florestais e intensifica os problemas associados aos mesmos (Molina & Sanroque, 1996).

De acordo com o Instituto de Estudos Geográficos de Coimbra (IEGC, 2004), entre os agentes ambientais e humanos que atuam diretamente na manifestação dos incêndios florestais, salientam-se o tipo e o estado da vegetação, a morfologia do terreno, as condições meteorológicas e as atividades económicas dominantes.

A ocorrência de incêndios em ambientes com vegetação de matos no NE Portugal, corresponde a cerca de 70% da extensão ardida ao longo dos últimos anos (Cavalli, 2017). De acordo com Figueiredo *et al*; (2013), os Leptossolos correspondem a principal unidade de solo (71,6%) do Distrito de Bragança – NE de Portugal, sendo que, 90% das áreas ardidas no distrito são constituídas pelo solo dominante na região (Cavalli, 2017).

A litologia majoritária das áreas ardidas no distrito é representada pelos xistos, correspondendo a 49%. Os xistos constituem solos de textura franco, franco arenoso e limoso, geralmente com o horizonte C formado pela rocha desagregada com ou sem terra fina (Cavalli, 2017). Os fogos florestais estão mais relacionados com o meio geográfico, onde o homem exerce influência direta, que com o meio ambiente natural.

O fogo afeta a flora e a fauna, e conseqüentemente destrói os organismos vivos do solo. As propriedades físicas e químicas do solo também são afetadas, modificando a agregação, porosidade, permeabilidade, infiltração, escoamento, temperatura e humidade (Fonseca *et al*; 2017).

#### **2.4.2 Erosão Hídrica do Solo em Áreas Áridas**

Os incêndios florestais causam impactos de ordem ambiental e socioeconômica. Estes impactos são subseqüentes aos incêndios, fazendo-se sentir por longos períodos de tempo. A transferência de calor para o solo no decorrer de um incêndio afeta as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo a matéria orgânica o principal parâmetro afetado (Moreira *et al*; 2010).

O calor transferido para o solo pelos fogos acarreta a destruição de componentes da matéria orgânica (Moreira *et. al*; 2010). É necessário, portanto, compreender a importância da matéria orgânica do solo no funcionamento do ecossistema. Segundo Cerda & Robichaud (2009) a matéria orgânica do solo possui um importante papel no desenvolvimento das propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo:

- Nas propriedades físicas, a matéria orgânica atua na criação e estabilização dos agregados do solo, na densidade, porosidade, arejamento, permeabilidade;
- Nas propriedades químicas a matéria orgânica atua na regulação dos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes;
- Biologicamente a matéria orgânica é a principal fonte de energia dos microrganismos existentes no solo.

Como normalmente os fogos acontecem durante a estação quente e seca (Pyne, 2006), a queima da vegetação existente deixa o solo desprotegido durante a época das chuvas que se segue a esta estação, o que pode originar

grandes perdas de solo. Na ausência de vegetação, o efeito do salpico causado pelas gotas da chuva (splash), contribui para desagregar as partículas do solo e, por conseguinte aumentar o poder erosivo da água de precipitação.

Os incêndios florestais podem modificar a estrutura do solo, reduzir o teor de matéria orgânica, aumentar o coeficiente de repelência à água, reduzir a taxa de infiltração e conseqüentemente agravar os processos erosivos do solo (Cerdá & Lasanta, 2005).

## **2.5 Condicionadores de Solo**

Um método comumente utilizado para proteger o solo contra os efeitos ocasionados pela erosão é a aplicação de condicionadores que modificam a estrutura e outras propriedades do solo, melhorando as condições do mesmo e prevenindo a sua perda (Morgan, 2005).

A adição de condicionadores ao solo envolve a aplicação de substâncias sintéticas ou orgânicas naturais, com o objetivo de alterar positivamente as propriedades físicas do solo. A natureza destes produtos é extensa, podendo englobar produtos de origem natural orgânica como o húmus, produtos de origem inorgânica como os sais de cálcio e produtos sintéticos como os polímeros (Schamp, Huylebroec & Sadones; 1975). Existem três classes principais de condicionadores do solo (Sojka, 2007):

- **Materiais orgânicos naturais:** normalmente utilizados para aumentar a infiltração e a capacidade de retenção de água no solo, promover a agregação, fornecer substrato para atividades micro e mesobiológicas, melhorar o arejamento e aumentar a resistência do solo à compactação;
- **Materiais inorgânicos ou minerais:** estes condicionadores podem modificar os processos químicos ou físicos do solo, aumentando por exemplo o pH do solo e a estabilização dos agregados;
- **Materiais sintéticos:** constituídos principalmente por polímeros químicos e surfactantes, destinam-se a produzir interações físicas e químicas

específicas no solo. As duas classes mais comuns de condicionadores sintéticos são os surfactantes e flocculantes. Os surfactantes afetam a tensão superficial da água e são normalmente utilizados para melhorar a taxa de infiltração do solo. Os Flocculantes são materiais que aumentam a força de coesão entre as partículas.

Alguns dos condicionadores mais eficazes para aperfeiçoar as características do solo são os polímeros sintéticos, cuja aplicação é utilizada com vista a melhorar as propriedades físicas do solo (Ben-Hur, 2006; Sojka *et al*; 2007). Neste trabalho utilizou-se um polímero sintético, a poliacrilamida.

### **2.5.1 Condicionadores Sintéticos: Poliacrilamida**

Os polímeros são compostos químicos de grande peso molecular, resultantes da reação química de polimerização, o que gera uma macromolécula, podendo ser de origem natural ou sintética. Os polímeros de origem sintética são usualmente os mais utilizados na agricultura (Shamp; Huylebroeck; Sadones; 1975).

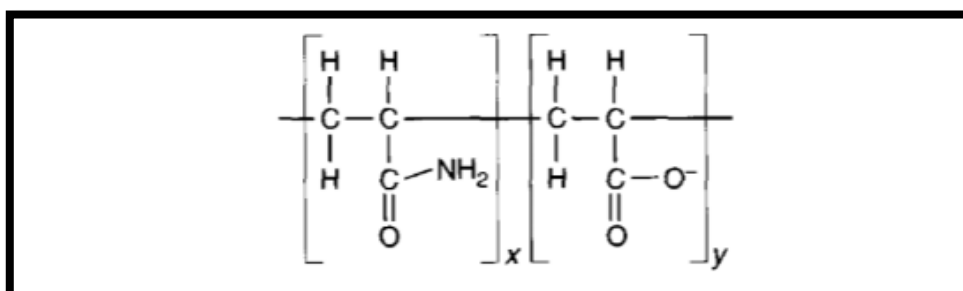
Os polímeros sintéticos podem ser classificados quanto ao tipo de carga, sendo então neutros, catiónicos e aniónicos. A sua classificação determina a sua capacidade de adsorção e eficácia como condicionador de solo. Os polímeros classificados com aniónicos são os mais eficientes na melhoria da estabilidade dos agregados, aumentando a resistência à erosão (Levy, 1992).

Como condicionador sintético aniónico, a Poliacrilamida (PAM) (Figura 5) é um polímero utilizado desde a década de 80 na agricultura com o objetivo de diminuir a erosão do solo, principalmente a erosão hídrica, e melhorar a capacidade de infiltração (Sojka, 2007). Suas propriedades estabilizadoras e flocculantes reduzem o escoamento da água e conseqüentemente o transporte de sedimentos. Os mecanismos pelos quais a flocculação dos sedimentos em suspensão ocorre na presença de polímeros foram estudados por Ruehrwein & Ward (1952), que associaram esse efeito à estabilização do solo e resistência à dispersão.



**Figura 5** - Poliacrilamida. Adaptado de Liquid Technologies (200-?)

A palavra poliacrilamida e o acrónimo PAM são nomenclaturas da química, e referem-se a uma ampla classe de compostos (Figura 6). Existem centenas de formulações PAM específicas. Elas variam no comprimento da cadeia do polímero e tipos de substituições dos grupos funcionais, bem como na sua formação molecular.



**Figura 6** - Estrutura de Poliacrilamida. Sojka *et al*; (2005)

Estes polímeros têm capacidade de adsorver e armazenar água (Moraes, 2001), embora não sejam solúveis em água. Todavia, são altamente hidrofílicos, formando um gel capaz de adsorver grandes quantidades de água (Sojka, 2005).

As propriedades moleculares, formulação e preparação do produto podem influenciar a facilidade com que as PAM são manipuladas e aplicadas, bem como o seu comportamento durante ou após a aplicação (Callebaut *et al*; 1979).

Um método alternativo para proteção do solo contra os agentes erosivos está na adição de poliacrilamida. A adição do condicionante (PAM) age na

estrutura do solo, reduzindo o escoamento superficial, o salpico e consequentemente a perda de solo (Inbar *et al*; 2015).

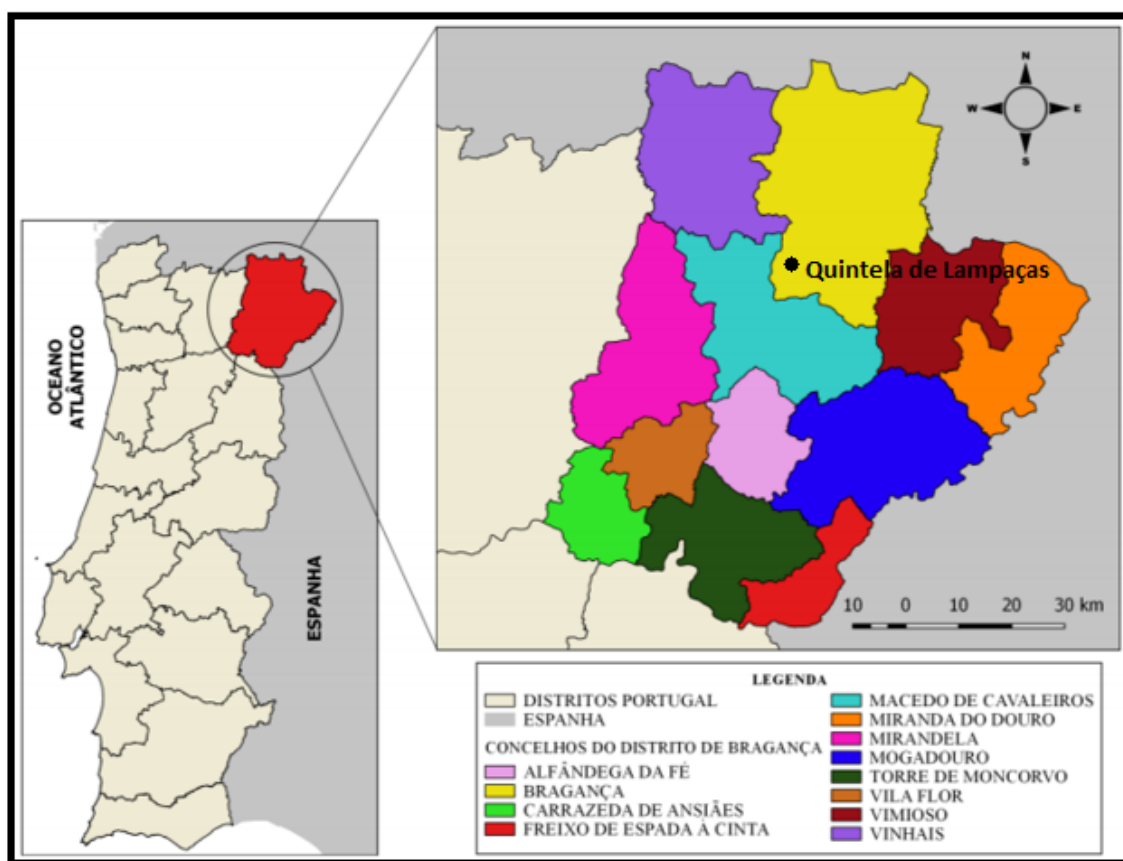
Apesar do potencial benéfico da PAM em melhorar a estrutura do solo e consequentemente reduzir a perda de solo, poucos estudos foram realizados sob a aplicação desta no controle erosivo em áreas pós fogo, e os resultados não foram conclusivos (Inbar *et al*; 2015).

Vale destacar que, de acordo com Azevedo *et al* (2002), as poliacrilamidas não são degradadas biologicamente. Entretanto, uma vez que estas são aplicadas ao solo, passam por um processo de dissociação por ação dos raios solares ultravioletas. Os produtos finais da dissociação da poliacrilamida aniônica não apresentam nenhuma toxicidade (Maccollister, 1964, citado em Aouada, 2009)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

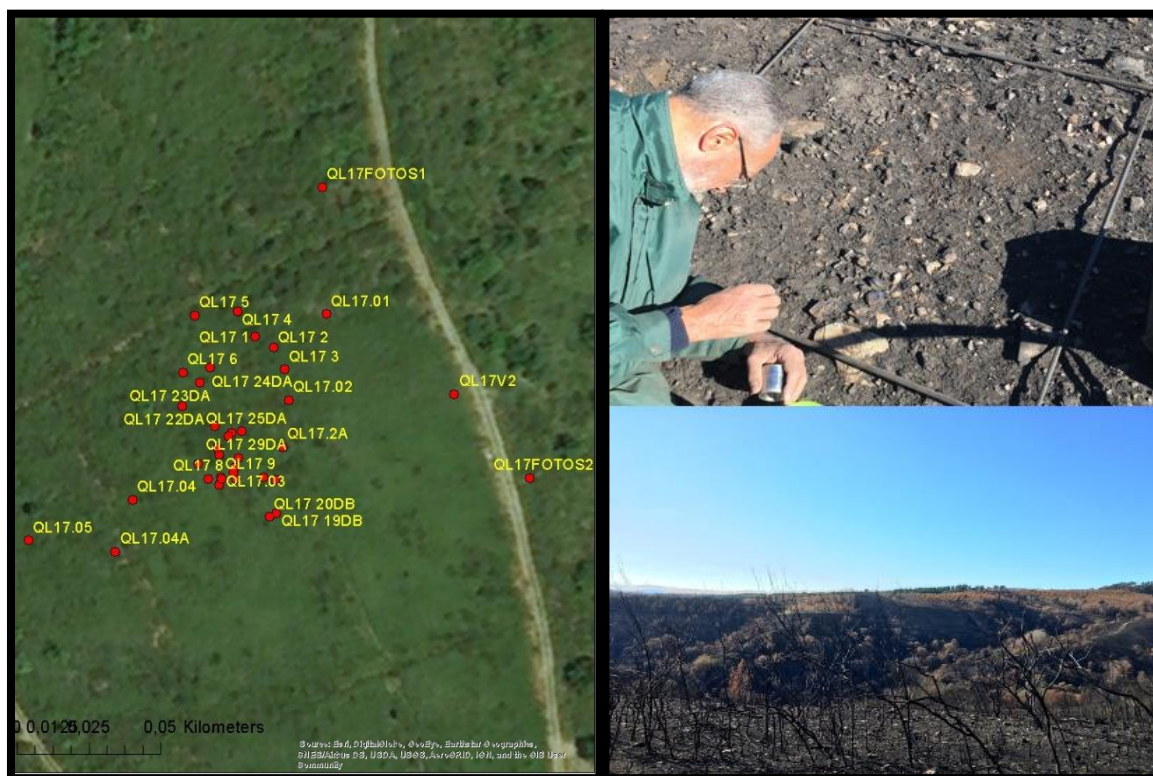
O estudo decorreu numa área ardida de matos no ano de 2017 na freguesia de Quintela de Lampaças localizada no distrito de Bragança, NE de Portugal (Figura 7). Quintela de Lampaças possui uma área de 20,338 km<sup>2</sup> e uma população residente de aproximadamente 300 pessoas (Câmara Municipal de Bragança, 2018).



**Figura 7** - Distrito de Bragança e municípios pertencentes

As características biofísicas de Quintela de Lampaças correspondem ao padrão dominante das áreas ardidas do distrito, possuindo uma vegetação de matos, declive relativamente acentuado, de 34%, e a unidade solo dominante são os Leptosolos derivados do xisto, caracterizados por apresentarem baixa espessura e elevada pedregosidade.

Na área de amostragem definida anteriormente, uma área ardida de matos em Quintela de Lampaças, foram selecionados 40 pontos para colheita de amostras de solo não perturbadas em tabuleiros de dimensões 6 cm (altura) x 21,5 cm (comprimento) x 12 cm (largura) (Figura 8).



**Figura 8** - Pontos de colheita das amostras de solo na área ardida

As amostras de solo foram transportadas para o Laboratório de Solos do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), onde foram submetidas a ensaios de erosão de simulação de chuva de intensidade homogénea, à escala da microparcela.

### 3.2 Simulador de Chuva

O simulador utilizado neste estudo foi um modelo proposto por Wilcox *et al.* (1986), construído nas oficinas do IPB, e já utilizado por alunos da Instituição em trabalhos anteriores. O simulador é do tipo aspersor, tendo como base de sustentação 4 pernas de tubo galvanizado extensíveis e articuladas para a projeção da altura desejável (Figura 9). Devido ao tipo de simulador utilizado, foi

necessário o bombeamento da água a partir de um bidão com o auxílio de uma bomba do tipo “Grunfos”.



**Figura 9** - Simulador de Chuva

Antes de se iniciar os ensaios com as amostras de solo, realizou-se a calibração do aparelho, de modo a garantir a intensidade da precipitação definida, de acordo com as características da precipitação da área de amostragem, e a sua distribuição de forma uniforme. Com a calibração pretende-se que as condições em que se realizam os ensaios se assemelhem às condições da área de estudo (Pinto, 1990; Tomás, 1997).

Para determinação das características da precipitação da área de estudo (Quintela de Lampaças), realizou-se uma pesquisa e tratamento de dados obtidos a partir de estações meteorológicas do distrito de Bragança. Reuniu-se a informação disponível de interesse para o estudo em causa. Posteriormente, corrigiu-se os períodos de precipitação e a sua duração, obtendo-se os valores de precipitação (mm) e sua duração em horas (h). A partir da compilação destes

dados, foi possível determinar um valor de intensidade de precipitação média de 74 mm h<sup>1</sup>.

Através da intensidade média adotada, foi possível constatar que as simulações de chuvas ocorreram com um período de retorno superior a 100 anos, o que é válido e aceitável no estudo em questão.

Os ensaios com o simulador de chuva permitiram estudar a taxa de infiltração de água no solo, o escoamento superficial, a perda de solo e o salpico nas amostras de solo ardidadas com diferentes doses e métodos de aplicação de um condicionador de solo, a poliacrilamida (PAM).

### **3.2.1 Calibração do Simulador**

A calibração do simulador foi realizada na área externa ao Laboratório de Solos. Por ser um local aberto e suscetível às interferências climáticas como os ventos, criou-se uma proteção ao redor do simulador de modo a assegurar a coerência dos ensaios de calibração.

O simulador foi montado a uma altura de 2,70 metros em relação à posição das pernas, e 2,45 metros em relação ao centro. As pernas do simulador foram posicionadas de modo a formarem um quadrado de 3 metros de lado. Após centralizar o simulador, colocaram-se três recipientes, devidamente identificados e secos, em locais previamente selecionados dentro do quadrado. Estes locais mantiveram-se sempre os mesmos em todas as simulações realizadas (calibração e ensaios com as amostras de solo em estudo).

Dois bidões, conectados entre si e com uma mangueira ligada ao bico do aspersor do simulador, foram utilizados de modo a garantir a regulação do caudal, ou seja, manter sempre o mesmo nível da água, evitando assim as variações no caudal no decorrer das simulações. Os bidões foram colocados num local mais elevado (primeiro andar do Laboratório de Solos), relativamente ao simulador e a água foi bombeada entre os bidões.

Antes do início de cada simulação, colocou-se um funil com uma mangueira acoplada sob o bico do aspersor do simulador, para que no momento de ligação da bomba, fosse possível canalizar a água para outra direção, evitando a sua queda direta nos recipientes colocados sob o aspersor. Em

seguida, aguardava-se a normalização da água, ou seja, a estabilização do caudal e da pressão no bico do aspersor do simulador (Figura 10).



**Figura 10** - Bico do aspersor do simulador

Após a estabilização do caudal e da pressão (esta última medida num manómetro acoplado ao simulador), o funil colocado sob o bico do aspersor era retirado, e com o auxílio de um cronómetro contabilizava-se 10 minutos. Este tempo estipulado serviu para calcular a intensidade da precipitação em cada um dos três recipientes, referidos anteriormente, através do cálculo do volume de água armazenado em cada recipiente no tempo definido. Após a conclusão desta operação, colocava-se novamente o funil sob o bico do aspersor e reiniciava-se todo o processo.

O caudal foi avaliado recorrendo à colocação do funil com a mangueira acoplada sob o bico do simulador. A mangueira foi direccionada para um recipiente de volume conhecido e mediu-se o tempo necessário para encher o recipiente até à capacidade máxima.

Na calibração das variáveis intensidade da precipitação, caudal e pressão foram realizadas 6 repetições (Tabela 2). No decorrer dos ensaios com as amostras de solo estas variáveis foram frequentemente reavaliadas de modo a verificar se estavam dentro dos limites estipulados.

**Tabela 2** - Resultados de calibração do caudal (L/s)

Medições	Caudal de calibração (L/s)
1	0,174
2	0,168
3	0,183
4	0,179
5	0,188
6	0,185

### 3.3 Dispositivo para simulação de chuva sobre as amostras de solo

Para uso específico neste trabalho e levando em consideração as variáveis que foram analisadas, foi desenvolvido um dispositivo para suportar as amostras de solo colhidas na área de estudo, quando submetidas às simulações de chuva.

Este dispositivo foi criado no Laboratório de Solos do IPB e consta de três bidões, com capacidade de 10 litros, onde se procedeu ao corte de uma das faces laterais em três lados, colocando-se na vertical a peça que daí resultou. O retângulo resultante do corte serviu para a colocação de um recipiente com dimensões que permitiam encaixar os tabuleiros das amostras de solo. Ambos os tabuleiros, o de suporte e o da amostra do solo, foram perfurados com vista ao estudo da infiltração da água no solo (Figura 11). Ao recipiente de suporte foi ligado um pequeno tubo, que tinha como função direcionar a água infiltrada para um outro recipiente de colheita (Figura 12).

**Figura 11** - Tabuleiro de suporte das amostras de solo perfurado

A base de sustentação dos bidões foi construída com uma inclinação de 15% por limitações na realização das simulações, já que permite estabilidade dos dispositivos durante a chuvada. Também foram realizadas simulações de chuva com uma inclinação de 30% a partir de uma adaptação da base. Esta base foi coberta por um tecido antiderrapante para evitar a movimentação dos recipientes durante as simulações de chuva (Figura 12).



**Figura 12** - Dispositivo criado para a simulação de chuva nas amostras de solo

Para captar a água do escoamento superficial e as partículas de solo nela carregadas (perda de solo), projetaram-se rampas metálicas cobertas, que tinham como objetivo direcionar a água escoada para um recipiente de colheita, que posteriormente seriam encaminhados para o laboratório (Figuras 12 e 13).

Na avaliação do salpico, utilizou-se a peça resultante do corte dos bidões colocada na vertical como forma de sustentação de placas metálicas (Figuras 12 e 13). Essas placas foram projetadas para coletar o salpico e redirecioná-lo para um recipiente de colheita.



**Figura 13** - Placas metálicas de salpico e rampas de escoamento superficial

O design do dispositivo apresentado foi feito de modo a que as diversas partes constituintes fossem móveis, facilitando assim a retirada dos recipientes, a colheita das amostras para análise (água de infiltração, água de escoamento superficial, sedimentos e salpico) e lavagem do mesmo.

Os parâmetros médios adotados durante os ensaios ocorridos com simulação de chuva foram:

- Intensidade da chuva:  $74 \text{ mm h}^{-1}$
- Pressão: 0,40 bar;
- Altura da queda da chuva 2,45 m e inclinação do plano 15%;
- Altura da queda da chuva 2,20 m e inclinação do plano 30%;
- Duração de cada ensaio: 30 minutos.

### 3.4 Definição dos tratamentos a ensaiar

Com base no estado de humidade do solo e na dose do condicionador do solo, a poliacrilamida (PAM), a aplicar sobre a superfície das amostras de solo, foram definidos 13 tratamentos. Os ensaios foram realizados em baterias de 3 amostras de solo (3 repetições do mesmo tratamento), como pode ser visto na Tabela 3.

As doses do polímero (PAM) foram calculadas para a área dos tabuleiros das amostras (0,030375 m<sup>2</sup>) e a distribuição do polímero sobre as amostras foi realizada de forma homogénea por toda a superfície. As pesagens da PAM foram realizadas em balança de precisão (10<sup>-4</sup> g).

**Tabela 3** – Tratamentos realizados nas amostras de solo

Ensaio	Tratamentos	Definição
1	PAM 0 S	Amostras de solo originais, secas
2	PAM 0 H	Amostras de solo originais, húmidas
3	PAM 2,5 S	Amostras com 2,5 g/m <sup>2</sup> PAM, secas
4	PAM 2,5 H	Amostras com 2,5 g/m <sup>2</sup> PAM, húmidas
5	PAM 5 S	Amostras com 5,0 g/m <sup>2</sup> PAM, secas
6	PAM 5 H	Amostras com 5,0 g/m <sup>2</sup> PAM, húmidas
7	PAM 7,5 S	Amostras com 7,5 g/m <sup>2</sup> PAM, secas
8	PAM 7,5 H	Amostras com 7,5 g/m <sup>2</sup> PAM, húmidas
9	PAM 0 S 2 Ch	PAM 0 S submetidas a 2 <sup>a</sup> chuvada
10	PAM 5 S 2 Ch	PAM 5 S submetidas a 2 <sup>a</sup> chuvada
11	PAM 5 S A 2 Ch	PAM 0 H com 5,0 g/m <sup>2</sup> PAM aplicadas antes da 2 <sup>a</sup> chuvada
12	PAM 0 S 30%	PAM 0 S em ensaio com declive de 30%
13	PAM 5 S 30%	PAM 5 S em ensaio com declive de 30%

Notas: **(1)** Exceto nos casos assinalados, o declive foi de 15%; **(2)** Secas – amostras com o teor de humidade à data da colheita, já que as amostras foram guardadas em recipiente fechado desde a colheita até à simulação; **(3)** Húmidas – amostras saturadas por capilaridade durante pelo menos 1 hora e drenadas cerca de meia hora antes da simulação; **(4)** Nos Tratamentos com 2ª Chuvada, não se fez a saturação prévia das amostras antes da simulação, pelo que foram consideradas secas, sendo o tempo de drenagem entre a 1ª e 2ª chuvada de 3 dias.

Os oito primeiros ensaios descritos na Tabela 3 foram realizados com um declive de 15%, sujeitos a uma única chuvada, distinguindo-se os tratamentos quanto ao estado de humidade prévio das amostras e quanto à dose de PAM aplicada. Em delineamento fatorial completo, pretendeu-se testar os efeitos da dose de PAM e o do estado de Humidade do solo à data da aplicação, procurando simular duas condições de campo possíveis: após o incêndio (no Verão) antes de qualquer precipitação e após precipitações ligeiras (não erosivas) mas capazes de humedecer significativamente o solo (comuns no outono no NE de Portugal).

A dose de PAM de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $5,0 \text{ g m}^{-2}$ ) surge frequentemente indicada na bibliografia (Sojka *et al*; 2007 & Keizer *et al*; 2016), foi por isso tomada como dose “normal”. As doses de  $2,5 \text{ g m}^{-2}$  e  $7,5 \text{ g m}^{-2}$  foram assumidas como baixa e elevada, respectivamente. Em todos os ensaios restantes foi apenas considerada a dose “normal” ( $5,0 \text{ g m}^{-2}$ ) para comparação com a situação sem tratamento (dose nula), por limitações na colheita de um número elevado de amostras.

O 9º, 10º e 11º ensaio também foram realizados sob um declive de 15%, porém ambos foram submetidos a uma 2ª chuvada. A aplicação de PAM no 11º ensaio diferenciou-se das demais pois ocorreu após a primeira simulação de chuva sobre solo sem tratamento. Com este conjunto de ensaios pretendeu-se avaliar os efeitos Persistência de ação (ensaios 9º e 10º) e Oportunidade da aplicação da PAM (11º). Neste caso, procurou-se simular a aplicação tardia de PAM (após chuvadas erosivas sobre solo sem tratamento) e comparar a resposta erosiva com a de uma aplicação atempada (antes da primeira chuvada erosiva).

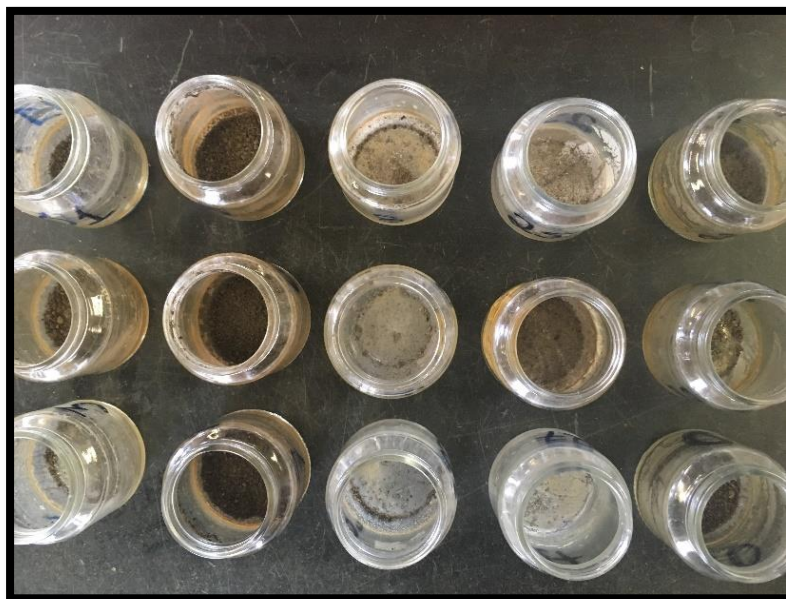
Os dois últimos ensaios (Tabela 3) foram realizados com 30% de declive, o dobro da inclinação aplicada nos demais ensaios. O padrão de 15% de declive foi adotado por limitações na realização das simulações, já que permite estabilidade dos dispositivos durante a chuvada sendo que, todavia, o declive de 30% representa melhor as condições do local de amostragem e as mais comuns nas áreas ardidas do NE de Portugal (Cavalli, 2017). Com os 12º e 13º ensaios procurou-se testar a eficácia da PAM em dose “normal” em declive elevado, quando comparada com o declive padrão adotado, tomado como médio para as áreas ardidas.

### **3.5 Parâmetros amostrados nas simulações**

Após cada simulação de chuva procedeu-se à recolha dos 3 recipientes de colheita de cada amostra de solo, correspondentes ao salpico, escoamento superficial e água de infiltração. Além destes recipientes, recolheu-se também as placas de salpico e as rampas do escoamento de cada amostra, com vista à colheita do solo que nelas ficou retido.

#### **3.5.1 Salpico**

As partículas de solo resultantes do salpico que ficaram retidas nas placas metálicas foram retiradas e adicionadas ao recipiente de colheita do salpico para obtenção de uma amostra homogénea. Posteriormente esta amostra foi pesada, agitada energeticamente e recolhida uma sub-amostra de volume igual a 100 ml, que foi levado à estufa a 105º Celsius durante 24 horas. Ao fim deste tempo obteve-se o peso seco da amostra (Figura 14).



**Figura 14** - Amostras de salpico secas a 105° Celsius

Através destes procedimentos obteve-se o volume de água de salpico e o peso dos sedimentos provenientes do salpico. Com os valores obtidos após o procedimento, juntamente com as variáveis constantes do estudo, foi possível calcular a concentração de salpico (g/L), o salpico específico (g/m<sup>2</sup> mm), água de salpico (L/m<sup>2</sup>), taxa de água de salpico (mm/h) e a taxa de salpico (g/m<sup>2</sup> h).

### 3.5.1.1 Concentração de Salpico

Calculou-se a concentração de salpico das amostras da seguinte forma:

$$C = P \div V$$

Onde:

C → Concentração de salpico (g/L);

P → Peso da amostra seca a 105 ° C em gramas;

V → Volume de água de salpico da amostra (L)

### 3.5.1.2 Quantidade de Salpico

O cálculo da quantidade de salpico por amostra de solo foi avaliado através da fórmula:

$$\text{Quantidade de salpico (g/m}^2\text{)} = (C \times V_t) \div (A \div 2)$$

Onde:

C → Concentração de salpico (g/L);

V<sub>t</sub> → Volume total da água de salpico da amostra (L);

A → Área do tabuleiro (m<sup>2</sup>).

Considera-se somente a metade da área do tabuleiro no qual as amostras foram posicionadas, pois coleta-se somente o salpico da metade direita das amostras de solo.

### 3.5.1.3 Taxa de Salpico

Calculou-se a taxa de salpico através da seguinte fórmula:

$$\text{Taxa de Salpico (g/m}^2\text{.h)} = \text{Quantidade de salpico} \div \text{Tempo de duração do ensaio}$$

### 3.5.1.4 Salpico Específico

O cálculo do salpico específico foi avaliado através da seguinte fórmula:

$$\text{Salpico Específico (g/m}^2\text{ mm)} = \text{Taxa de salpico} \div \text{Intensidade da chuva}$$

### 3.5.1.5 Água de Salpico

O cálculo da água de salpico se fez através da fórmula:

$$\text{Água de Salpico (L/m}^2\text{)} = V_t \div (A \div 2)$$

Onde:

V<sub>t</sub> → Volume total da água de salpico da amostra (L);

A → Área do tabuleiro.

Considerou-se somente a metade da área do tabuleiro no qual as amostras foram posicionadas, pois coleta-se somente a água de salpico da metade direita das amostras de solo.

### 3.5.2 Escoamento Superficial

O processamento das amostras do escoamento superficial foi realizado de modo semelhante ao descrito para o salpico. As partículas de solo resultantes do escoamento superficial que ficaram retidas nas rampas metálicas foram retiradas e adicionadas ao recipiente de colheita do escoamento para obtenção de uma amostra homogênea.

Posteriormente as amostras foram pesadas, agitadas energicamente e recolheu-se uma sub-amostra de volume igual a 100 ml, que foi levado à estufa a 105° Celsius durante o período de 24 horas. Ao fim deste tempo obteve-se o peso seco das amostras (Figura 15).



**Figura 15** - Amostras secas de escoamento

Uma vez conhecidos o volume de água e a perda de solo por escoamento, foi possível determinar o coeficiente de escoamento, a taxa de perda de solo, taxa de escoamento e concentração de sedimentos escoado.

### 3.5.2.1 Escoamento

O cálculo da variável de escoamento foi feito através da seguinte fórmula:

$$E = Vte \div A$$

Onde:

E → Escoamento (L/m<sup>2</sup>);

Vte → Volume total de água do escoamento (L);

A → Área do tabuleiro (m<sup>2</sup>)

### 3.5.2.2 Taxa de Escoamento

O cálculo da taxa de escoamento foi feito através da equação:

$$\text{Tx. Escoamento} = E \div h$$

Onde:

Tx. Escoamento → Taxa de escoamento (mm/h)

E → Escoamento (L/m<sup>2</sup>)

H → Tempo de duração do ensaio (Horas)

### 3.5.2.3 Concentração de sedimentos

A concentração de sedimentos por escoamento foi avaliada através da fórmula:

$$Cs = P \div V$$

Onde:

Cs → Concentração de sedimentos (g/L);

P → Peso da amostra seca a 105 ° em gramas;

V → Volume de água de escoamento da amostra (L).

### 3.5.2.4 Perda de Solo

O cálculo da perda de solo por escoamento se deu através da seguinte equação:

$$Ps = (Cs \times Vt) \div A$$

Onde:

P → Perda de solo (g/m<sup>2</sup>);

Cs → Concentração de sedimentos (g/L);

$V_t$  → Volume total da água de escoamento da amostra (L);

$A$  → Área do tabuleiro ( $m^2$ ).

### 3.5.2.5 Taxa de Perda de Solo

A taxa de perda do solo é obtida através da divisão da variável perda de solo pelo tempo de duração dos ensaios, que foi de 0,5 horas, como pode ser observado na equação seguinte:

$$\text{Taxa de Perda de Solo (g/m}^2 \text{ h)} = C_s \div 0,5$$

### 3.5.2.6 Coeficiente de Escoamento

O coeficiente de escoamento é obtido através da divisão entre a variável taxa de escoamento e a intensidade de chuva da simulação, como pode ser observado na equação abaixo:

$$\text{Coeficiente de Escoamento (\%)} = \text{Taxa de Escoamento} \div \text{Intensidade da chuva}$$

### 3.5.3 Água de Infiltração

Foi medido o volume da água infiltrada através de cada amostra e recolhida nos recipientes colocados para esse efeito. Na posse deste valor procedeu-se ao cálculo da taxa de infiltração e da percentagem de água infiltrada.

#### 3.5.3.1 Infiltração

A variável infiltração calcula a quantidade total de água infiltrada pela área do tabuleiro das amostras, sendo assim:

$$I = V_{ti} \div A$$

Onde:

$I$  → Infiltração ( $L/m^2$ );

$V_{ti}$  → Volume total de água infiltrada (L)

$A$  → Área do tabuleiro ( $m^2$ ).

### 3.5.3.2 Taxa de Infiltração

A taxa de infiltração é obtida através da divisão entre a variável infiltração pelo tempo de duração dos ensaios, que foi de 0,5 horas, como pode ser observado na equação abaixo:

$$\text{Taxa Infiltração (mm/hora)} = \text{Infiltração} \div 0,5$$

### 3.5.4 Intensidade de Precipitação Simulada

Os ensaios de intensidade de precipitação ocorreram de forma homogênea, sendo adotado um valor médio global de 74 mm h<sup>-1</sup>. Na Tabela 4 podem ser observadas as médias adotadas em cada tratamento e o respectivo desvio padrão.

**Tabela 4** - Intensidades médias (mm/h) de precipitação por tratamento

Nº	TRATAMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1	PAM 0 S	73,09	14,24
2	PAM 0 H	68,48	8,22
3	PAM 2,5 S	79,67	14,96
4	PAM 2,5 H	77,67	16,36
5	PAM 5 S	70,05	8,22
6	PAM 5 H	70,43	8,22
7	PAM 7,5 S	69,80	7,48
8	PAM 7,5 H	70,43	8,22
9	PAM 0 S 2 Ch	75,03	12,95
10	PAM 5 S 2 Ch	75,03	12,95
11	PAM 5 S A 2 Ch	76,70	7,67
12	PAM 0 S 30%	77,30	13,93
13	PAM 5 S 30%.	77,30	13,93

### 3.7 Análise Estatística

De forma a testar o efeito dos tratamentos nas variáveis em estudo (água de infiltração, escoamento superficial, concentração de sedimentos, perda de solo e salpico), os dados foram tratados estatisticamente com recurso à análise de variância (ANOVA), para verificar a significância desses efeitos naquelas variáveis.

A ANOVA foi realizada a 2 fatores no caso (Dose de PAM e Estado de humidade do solo) para os primeiros 8 ensaios. Nos restantes efeitos foi aplicada ANOVA a um fator.

Para a separação de médias entre tratamentos utilizou-se o critério da Mínima Diferença Significativa (LSD – “Least Significant Difference”), a 5% de probabilidade, calculada a partir dos resultados da ANOVA.

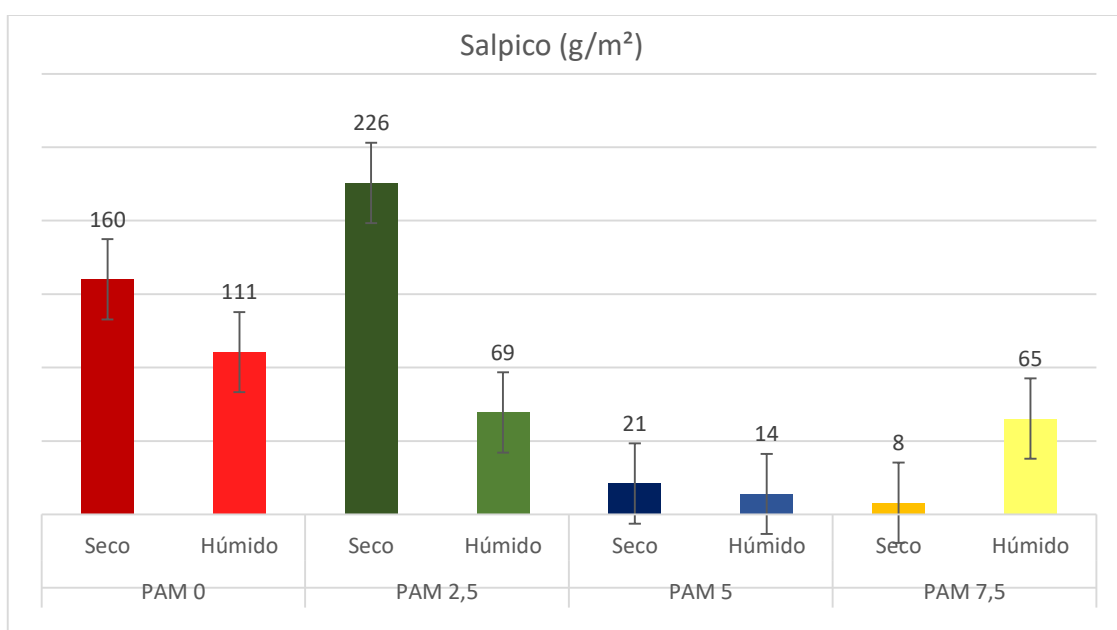
O tratamento estatístico foi efetuado com recurso às ferramentas do software Excel.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Salpico

Apresenta-se na Figura 16 os resultados do parâmetro salpico correspondentes aos 8 primeiros tratamentos (Tabela 3), onde é possível visualizar os efeitos dose de poliacrilamida (PAM 2,5; PAM 5; PAM 7,5) e teor de humidade do solo (seco, S e húmido, H). Na Tabela 5 pode-se observar as diferenças significativas entre doses de PAM aplicadas (valor de  $P = 0,028$ ).

Através da análise dos resultados, observa-se que o salpico decresce substancialmente com o aumento do teor de humidade do solo e com o aumento das doses de poliacrilamida nas amostras. Os tratamentos com aplicação de 7,5 g/m<sup>2</sup> de poliacrilamida (PAM 7,5 S e PAM 7,5 H), em oposição aos restantes, exhibe um aumento da produção de sedimentos com o aumento da humidade do solo. Também, o tratamento PAM 2,5 S, mostra um resultado menos claro, uma vez que neste a produção de salpico foi mais elevada que o esperado. Possivelmente, este resultado está relacionado com a intensidade da precipitação uma vez que foram registados, para este tratamento, valores próximos do limite máximo tolerado (Tabela 4).



**Figura 16** - Efeito da dose de PAM e do teor de humidade do solo nos valores médios do parâmetro salpico.

A Tabela 5 contém as médias dos 8 primeiros tratamentos reunidos 2 a 2 (seco e húmido conforme a dose de PAM). O tratamento PAM 0 é estatisticamente idêntico aos restantes e o tratamento PAM 2,5 apresenta valores significativamente superiores aos dos tratamentos PAM 5 e PAM 7,5.

**Tabela 5** - Efeito da dose de PAM (tratamento) na produção de salpico (g/m<sup>2</sup>). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre doses (P < 0,05)

<b>Tratamentos</b>	<b>Média</b>
PAM 0 (S e H)	98a
PAM 2,5 (S e H)	148ab
PAM 5 (S e H)	17b
PAM 7,5 (S e H)	37b

As médias e o desvio padrão de todos os 13 tratamentos aplicados à variável salpico podem ser visualizados na Tabela 6.

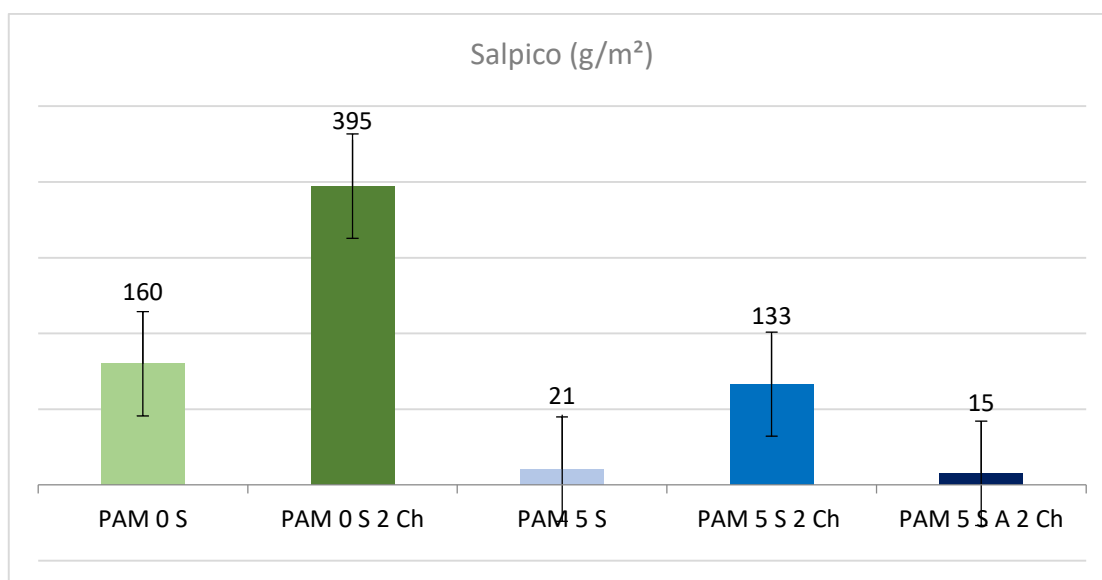
**Tabela 6** - Valores de salpico (g/m<sup>2</sup>) para o conjunto de tratamentos ensaiados (média e desvio padrão)

<b>TRATAMENTO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>
PAM 0 S	160,08	47,05
PAM 0 H	110,5	44,85
PAM 2,5 S	225,63	176,44
PAM 2,5 H	69,47	54,92
PAM 5 S	21,03	11,58
PAM 5 H	13,93	9,00
PAM 7,5 S	7,87	5,04
PAM 7,5 H	65,23	65,13
PAM 0 S 2 Ch	394,53	553,79
PAM 5 S 2 Ch	133,1	111,22
PAM 5 S A 2 Ch	15,44	8,35
PAM 0 S 30%	706,48	657,54
PAM 5 S 30%	18,07	24,57

Os principais mecanismos associados ao salpico estão relacionados com a desintegração dos agregados pelo impacto das gotas da chuva ou pelo escoamento superficial (Morgan, 2005). A quantidade de material proveniente do salpico, depende da deformação causada na superfície do solo, da resistência do solo à ruptura e da rugosidade superficial (Hudson, 1981).

#### 4.1.1 Análise do parâmetro salpico na segunda chuvada

A Figura 17 apresenta os resultados obtidos para os tratamentos que foram submetidos a uma segunda simulação de chuva (2ª chuvada). No tratamento PAM 5 S A 2 Ch o condicionador do solo (PAM) foi aplicado após a primeira chuvada e nos restantes foi aplicado antes da primeira chuvada.



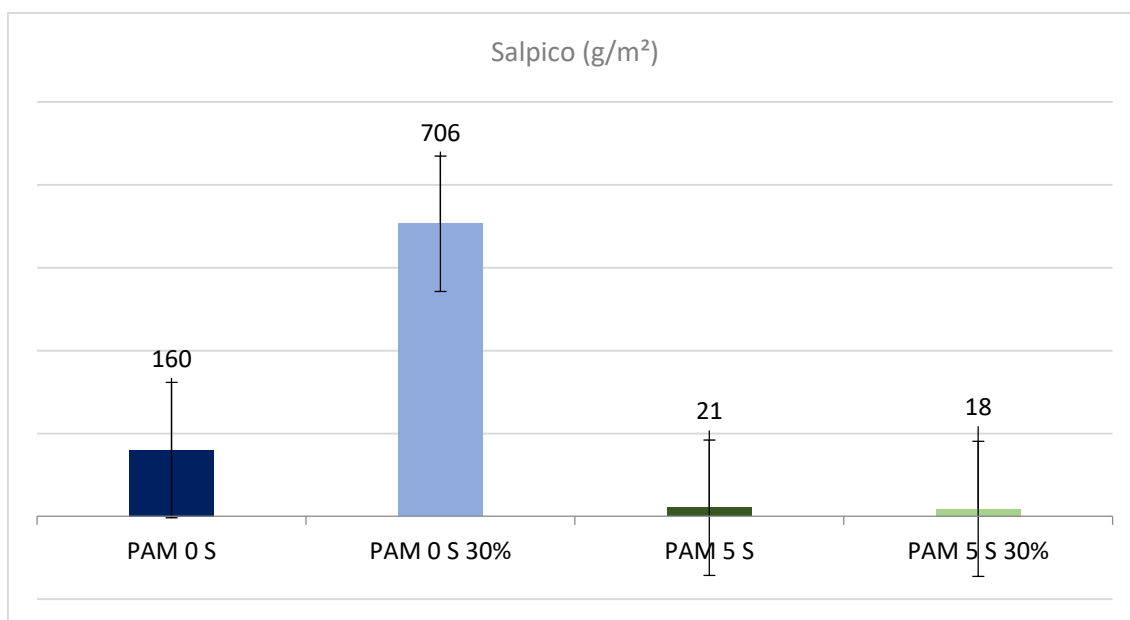
**Figura 17** – Efeito da segunda chuvada no parâmetro salpico (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S, PAM 5 S, PAM 5 S A 2 Ch

Por observação da Figura 17 percebe-se que a quantidade de salpico foi substancialmente maior nas amostras que passaram por uma segunda simulação de chuva, com exceção daquela que recebeu o condicionador sintético (PAM), de dose 5,0 g/m<sup>2</sup>, após a primeira chuvada (PAM 5 S A 2 Ch). Nesta amostra obteve-se uma diminuição do salpico de aproximadamente 27% quando comparada com a amostra PAM 5 S, que recebeu uma única chuvada.

A partir destes resultados, verifica-se que a adição de PAM nas amostras após a primeira chuvada e submetidas a uma segunda chuvada, não foi tão eficaz no parâmetro salpico em comparação às amostras que passaram por uma única simulação.

#### 4.1.2 Análise do parâmetro salpico sob inclinação de 30%

A Figura 18 apresenta os resultados do parâmetro salpico para os tratamentos sem aplicação de poliacrilamida (PAM 0 S) e com aplicação de 5 g/m<sup>2</sup> (PAM 5 S), sob inclinação de 30% (aumentou-se a inclinação de 15 para 30%).



**Figura 18** – Efeito da inclinação no parâmetro salpico (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S e PAM 5 S

De acordo com a análise da Figura 18, a alteração da inclinação aumentou consideravelmente a produção de salpico nas amostras sem aplicação de PAM (PAM 0 S), enquanto nas amostras do tratamento PAM 5 S houve uma redução não significativa deste parâmetro. Estes resultados colocam em destaque a importância dos condicionadores do solo na conservação do mesmo, mostrando que mesmo em declives acentuados a poliacrilamida é eficaz.

## 4.2 Escoamento superficial

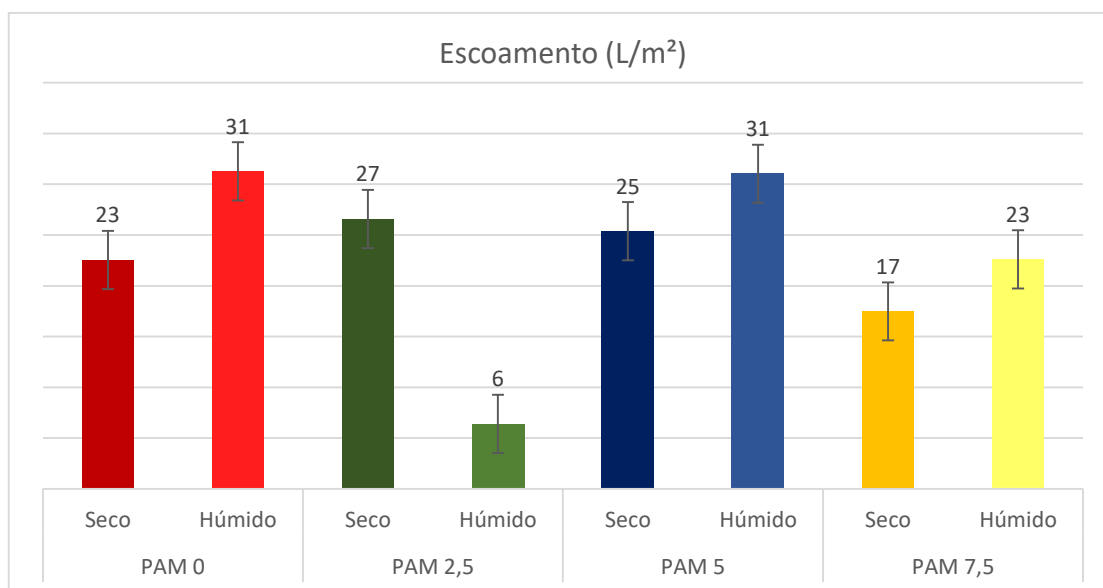
Apresenta-se na Tabela 7 os resultados (média e desvio padrão) do parâmetro escoamento superficial correspondentes a todos os tratamentos estudados.

**Tabela 7** – Valores de escoamento superficial (L/m<sup>2</sup>) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão)

TRATAMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
PAM 0 S	22,54	12,85
PAM 0 H	31,27	14,13
PAM 2,5 S	26,57	4,68
PAM 2,5 H	6,40	3,90
PAM 5 S	25,37	9,18
PAM 5 H	31,03	8,93
PAM 7,5 S	17,47	18,59
PAM 7,5 H	22,60	6,18
PAM 0 S 2 Ch	9,37	5,91
PAM 5 2 Ch	21,57	3,77
PAM 5 S A 2 Ch	23,95	12,14
PAM 0 S 30%	42,80	14,35
PAM 5 S 30%	44,77	17,62

Através da análise da Figura 19, ao comparar as diferenças entre tratamentos com amostras húmidas (H) e secas (S), percebe-se que, com exceção do tratamento PAM 2,5 (S e H), nas amostras secas o escoamento foi sempre inferior, porém este efeito não é significativo em termos estatísticos.

Esta diferença no resultado da amostra de tratamento PAM 2,5 (S e H), possivelmente está relacionado com a intensidade da precipitação, uma vez que foram registados para este tratamento valores próximos do limite máximo tolerado (Tabela 4).

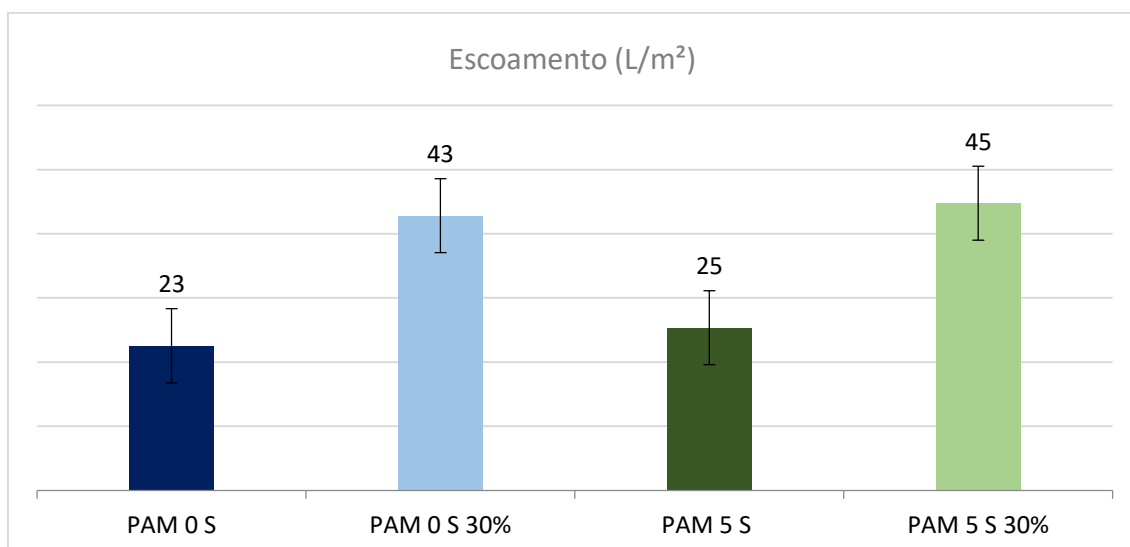


**Figura 19** - Efeito da dose e do teor de humidade do solo no escoamento superficial (valores médios)

Em estudos realizados, Yu *et al.* (2003) constataram que a adição de PAM granular na superfície do solo exposto à chuva resultou num aumento do escoamento superficial. De acordo com aqueles autores, este aumento é decorrente da resistência das partículas dos agregados do solo ao descolamento proporcionados pelo condicionador (PAM), aumentando o escoamento superficial e consequentemente, diminuindo a taxa de infiltração da água no solo.

#### 4.2.1 Análise do parâmetro escoamento superficial sob inclinação 30%

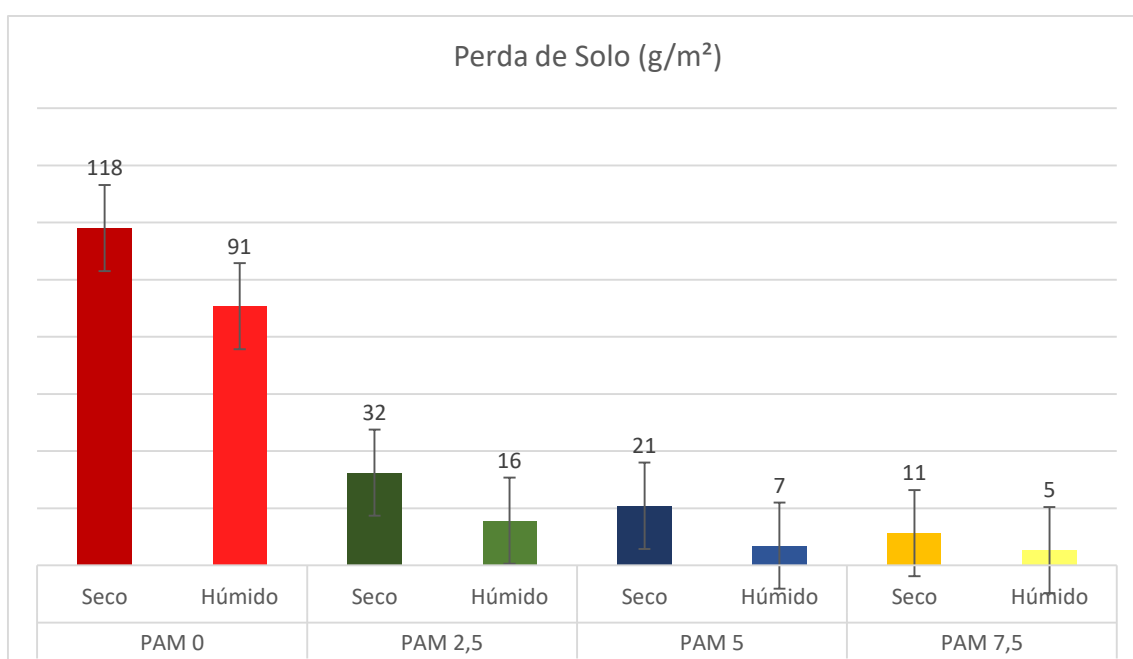
Pela análise comparativa dos resultados entre os diferentes declives em estudo (15 e 30%), pode-se constatar, observando a Figura 20, que o escoamento é inferior na inclinação de 15%. Porém, ao comparar a diferença de escoamento entre os tratamentos em análise, observa-se que o escoamento aumentou aproximadamente 89% entre os tratamentos PAM 0 S e PAM 0 S 30%, enquanto nos tratamentos PAM 5 S e PAM 5 S 30% o aumento foi de 76%, porém esta diferença não é significativa.



**Figura 20** - Efeito da inclinação no parâmetro escoamento superficial (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S e PAM 5 S

### 4.3 Perda de Solo

A Figura 21 mostra os resultados do parâmetro perda de solo, associada ao escoamento superficial, nos 8 primeiros tratamentos (Tabela 3). Na Tabela 8 pode-se observar as diferenças significativas entre os tratamentos ( $P = 0,002$ ), devidas ao efeito dose de PAM.



**Figura 21** - Efeito da dose de PAM e do teor de humidade do solo nos valores médios do parâmetro perda de solo

**Tabela 8** - Efeito da dose de PAM (tratamento) na perda de solo (g/m<sup>2</sup>). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre doses (P < 0,05)

<b>Tratamentos</b>	<b>Média</b>
PAM 0 (S e H)	104a
PAM 2,5 (S e H)	24b
PAM 5 (S e H)	14b
PAM 7,5 (S e H)	8b

A Tabela 8 contém as médias dos 8 primeiros tratamentos reunidos 2 a 2 (seco e húmido conforme a dose de PAM). A aplicação do condicionador PAM contribuiu para reduzir significativamente a perda de solo. Os resultados de perda de solo obtidos são condizentes com a bibliografia (Abrol *et al*; 2013).

Como observado na Figura 21, a perda de solo foi menor nas amostras que foram humedecidas antes da simulação por capilaridade, porém este efeito não é estatisticamente significativo. A perda de solo é maior nas amostras secas devido à menor estabilidade dos agregados, o que intensifica o impacto ocasionado pelas gotas da chuva (salpico), resultando num aumento da perda de solo.

Essa diferenciação de resultados entre tratamentos pode ser explicada através da permeabilidade do solo e estabilidade dos agregados. Uma amostra de solo húmida permite um maior movimento da água infiltrada pelos espaços vazios, sendo esta mais permeável (Mesquita, 2001).

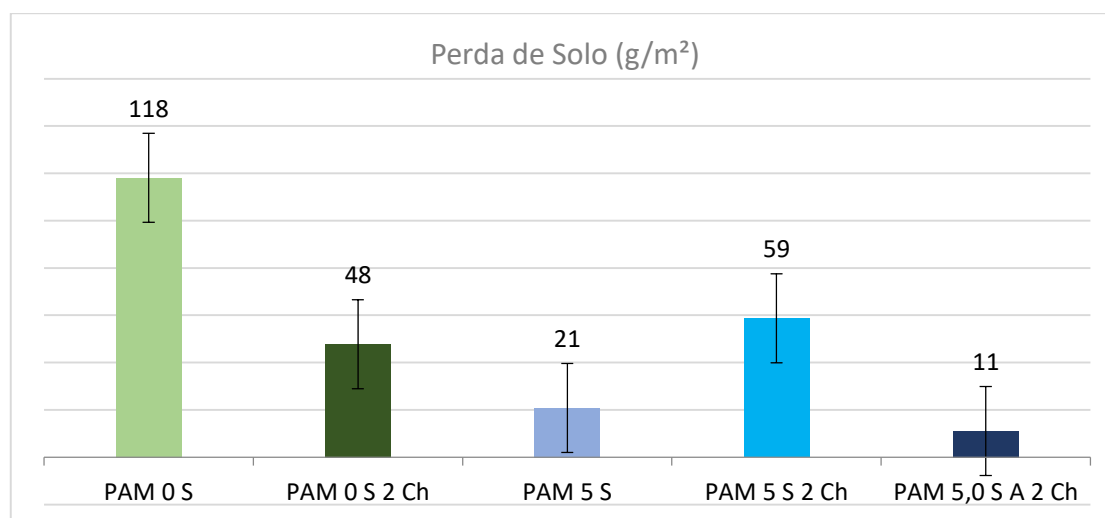
Os resultados da média e dos desvios padrão obtidos para a perda de solo durante as simulações de chuva encontram-se na Tabela 9.

**Tabela 9** - Valores de perda de solo ( $\text{g/m}^2$ ) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão)

TRATAMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
PAM 0 S	118,08	91,64
PAM 0 H	90,73	61,38
PAM 2,5 S	32,47	12,75
PAM 2,5 H	15,67	4,54
PAM 5 S	20,87	12,75
PAM 5 H	6,93	2,61
PAM 7,5 S	11,30	4,17
PAM 7,5 H	5,40	1,01
PAM 0 S 2 Ch	47,73	2,69
PAM 5 S 2 Ch	58,70	59,57
PAM 5 S A 2 Ch	11,08	6,73
PAM 0 S 30%	219,59	131,81
PAM 5 S 30%	21,62	8,72

#### 4.3.1 Análise do parâmetro perda de solo na segunda chuvada

Através da Figura 22, pode-se observar que ocorreu um aumento da perda de solo nas amostras que foram submetidas à segunda chuvada, com exceção da amostra em que foi adicionado o polímero (PAM) na dose de 5  $\text{g/m}^2$  após a primeira chuvada (PAM 5 S A 2 Ch), porém este aumento não é significativo.

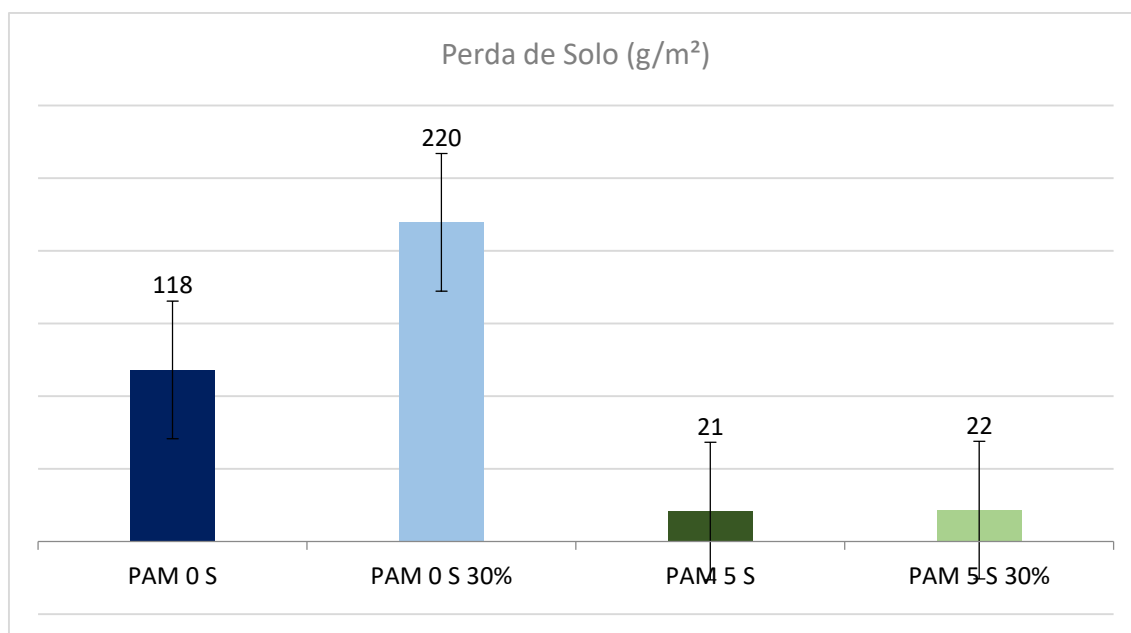


**Figura 22** - Efeito da segunda chuvada no parâmetro perda de solo (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S, PAM 5 S, PAM 5 S A

Como observado também no parâmetro salpico, o efeito proporcionado pela poliacrilamida (PAM) em áreas áridas, é mais eficaz quando adicionado anteriormente à primeira chuva erosiva, ainda que se observe um efeito da aplicação tardia (após a primeira chuvada) do condicionador do solo.

#### 4.3.2 Análise do parâmetro perda de solo sob inclinação de 30%

A Figura 23 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro perda de solo sob inclinação de 30%. Pela análise, percebe-se que houve um considerável aumento da perda de solo após duplicar a inclinação dos tabuleiros na simulação, passagem de 15 para 30%.



**Figura 23** - Efeito da inclinação no parâmetro perda de solo (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S e PAM 5 S

Ao comparar entre si as amostras sem adição de PAM (PAM 0 S e PAM 0 S 30%), observa-se um aumento de aproximadamente 85% de perda de solo. Porém, as amostras com adição de 5 g/m<sup>2</sup> de PAM (PAM 5 S e PAM 5 S 30%), registaram apenas um aumento de aproximadamente 12%.

As diferenças significativas entre tratamentos ( $P = 0,04$ ) (Tabela 10), demonstram que a utilização de condicionadores contribuem para aumentar a

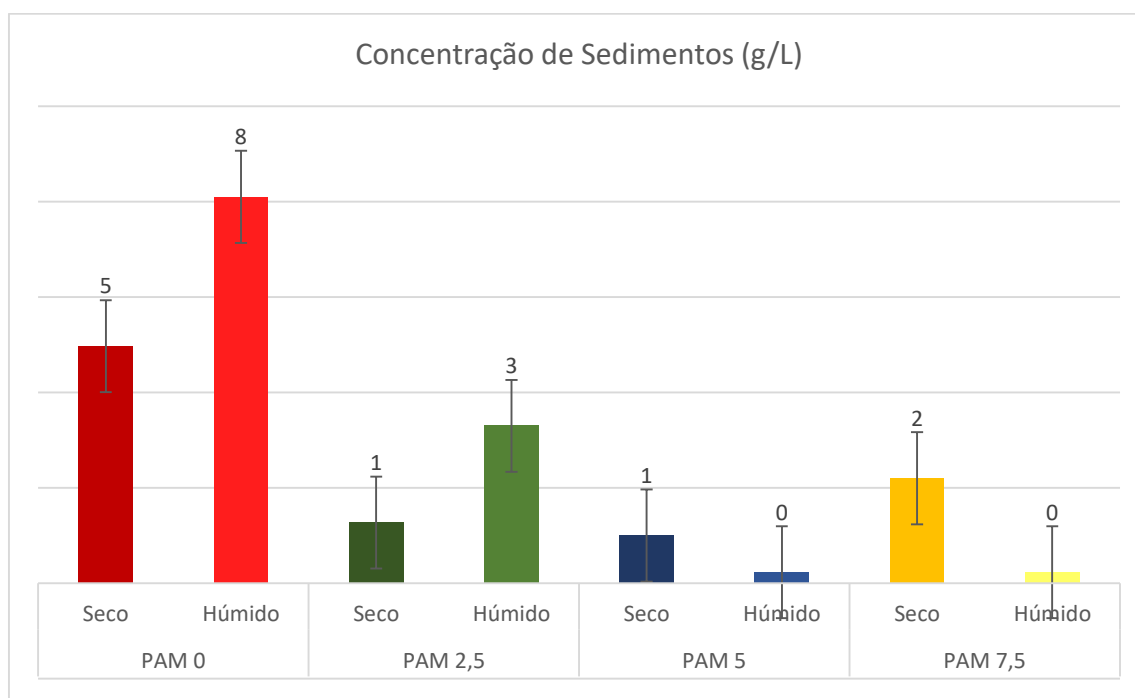
conservação do solo. A aplicação do condicionador PAM contribuiu para reduzir significativamente a perda de solo quando se aumentou a inclinação.

**Tabela 10** - Efeito da inclinação na perda de solo (g/m<sup>2</sup>). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (P < 0,05)

Tratamentos	Média
PAM 0 S 30%	220a
PAM 0 S	118ab
PAM 5 S 30%	22b
PAM 5 S	21b

#### 4.4 Concentração de Sedimentos na água de escoamento

Através da análise da Figura 24, pode-se constatar que a concentração de sedimentos na água de escoamento registou uma nítida redução com a aplicação da poliacrilamida (PAM).



**Figura 24** - Efeito dose de PAM e do teor de umidade na concentração de sedimentos na água de escoamento (valores médios)

O parâmetro concentração de sedimentos está diretamente relacionado com a perda de solo. Logo, contata-se que ao reduzir a perda de solo das amostras, reduz também a concentração de sedimentos.

A viscosidade do escoamento superficial ocasionada pela adição de PAM, resulta numa redução da desagregação das partículas do solo, e a capacidade de transporte destas pela água, conseqüentemente, diminui a concentração dos sedimentos carreados.

Os resultados apresentados mostram diferenças significativas entre tratamentos ( $P = 0,01$ ) (Tabela 12), e corroboram o estudo efetuado por Abrol *et al.* (2013).

Na Tabela 11 podem ser observadas as médias e desvios padrão para os 13 tratamentos.

**Tabela 11** - Valores de concentração de sedimentos (g/L) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão)

TRATAMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
PAM 0 S	4,97	1,83
PAM 0 H	8,1	0,55
PAM 2,5 S	1,27	0,62
PAM 2,5 H	3,3	2,04
PAM 5 S	1	0,79
PAM 5 H	0,23	0,16
PAM 7,5 S	2,2	2,94
PAM 7,5 H	0,23	0,05
PAM 0 S 2 Ch	6,93	3,80
PAM 5 S 2 Ch	2,53	2,20
PAM 5 S A 2 Ch	0,64	0,65
PAM 0 S 30%	5,96	4,73
PAM 5 S 30%	0,5	0,16

Na Tabela 12 constam as médias dos 8 primeiros tratamentos reunidos 2 a 2 (seco e húmido conforme a dose de PAM). De um modo geral, a aplicação de PAM reduziu significativamente a concentração de sedimentos na água de escoamento superficial.

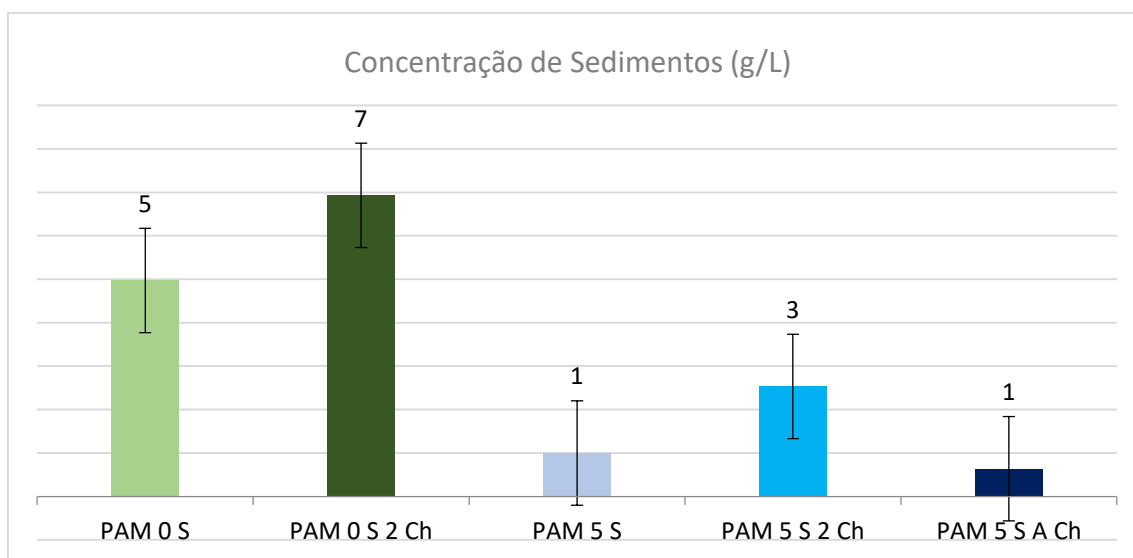
**Tabela 12** - Efeito entre tratamentos na concentração de sedimentos (g/L). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos ( $P < 0,05$ )

<b>Tratamentos</b>	<b>Média</b>
PAM 0 (S e H)	3,8a
PAM 2,5 (S e H)	2,3ab
PAM 5 (S e H)	0,6b
PAM 7,5 (S e H)	1,2b

#### **4.4.1 Análise do parâmetro concentração de sedimentos na segunda chuvada**

Os resultados do parâmetro concentração de sedimentos após a segunda chuvada podem ser visualizados na Figura 25. Estes resultados mostram que ainda houve uma queda na concentração de sedimentos, quando comparados com as amostras sem a adição do polímero. Assim, pode-se constatar que os efeitos provocados pela utilização da PAM ainda persistem após a primeira chuvada, porém são mais eficazes se aplicados anteriormente à ocorrência de chuva.

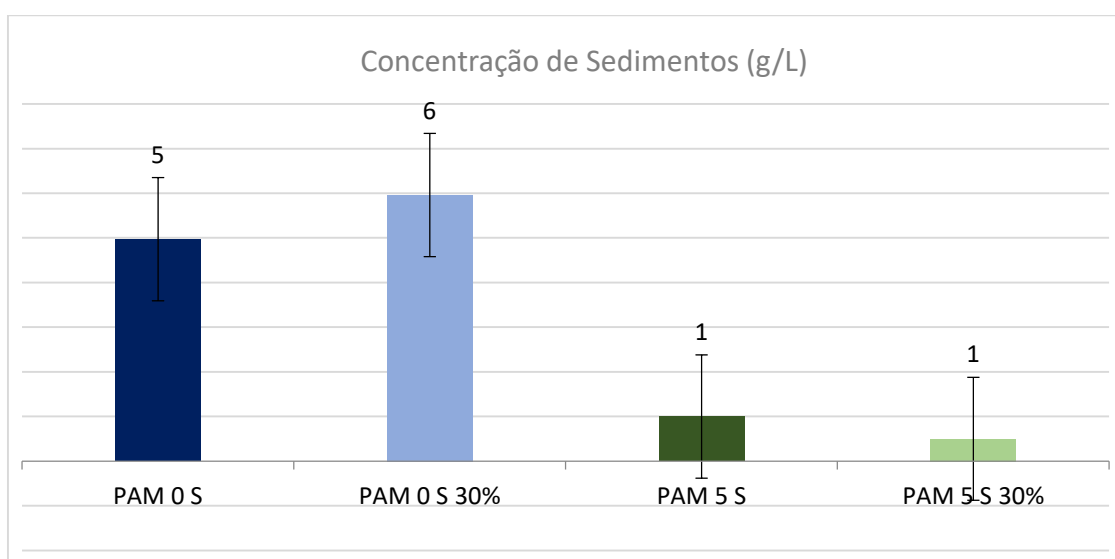
Observa-se também que o tratamento PAM 5 S A Ch (aplicação do condicionador após a primeira chuvada), registrou uma diminuição da concentração após a segunda chuvada, quando comparada a amostra PAM 5 S, mostrando que a aplicação da poliacrilamida também é eficaz quando aplicada após uma chuva.



**Figura 25** - Efeito da segunda chuvada no parâmetro concentração de sedimentos (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S, PAM 5 S, PAM 5 S A

#### 4.4.2 – Análise do parâmetro concentração de sedimentos sob a inclinação de 30%

A partir da análise das médias na Figura 26, pode-se constatar que, ao duplicar a inclinação (passagem de 15 para 30%), houve um aumento na concentração de sedimentos de aproximadamente 20% nas amostras de solo sem condicionador, e um decaimento de 50% entre amostras que possuíam uma dose de PAM de 5 g/m<sup>2</sup>.



**Figura 26** - Efeito da inclinação no parâmetro concentração de sedimentos (valores médios) para os tratamentos PAM 0 S e PAM 5 S

#### 4.5 Coeficiente de escoamento e infiltração

Os parâmetros coeficiente de escoamento e escoamento resultaram em padrões muito semelhantes. As médias e os desvios padrão calculados para o coeficiente de escoamento podem ser vistos na Tabela 13.

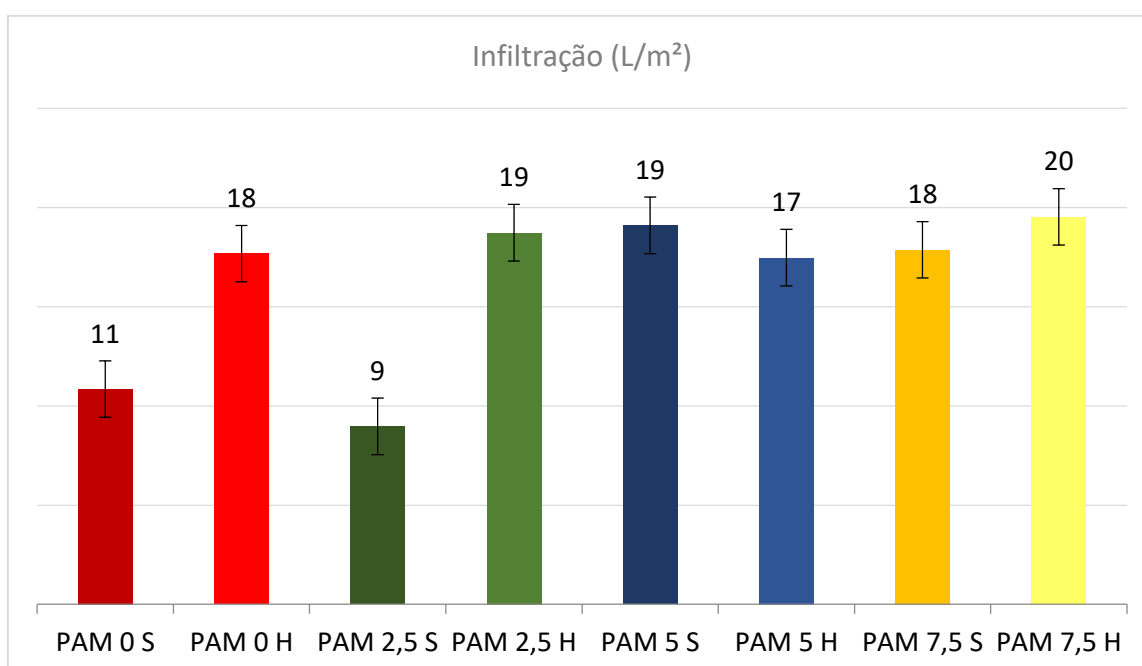
**Tabela 13** - Valores de coeficiente de escoamento (%) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão)

TRATAMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
PAM 0 S	64,18	0,39
PAM 0 H	92,67	0,41
PAM 2,5 S	69,00	0,22
PAM 2,5 H	18,00	0,15
PAM 5 S	71,33	0,21
PAM 5 H	87,00	0,17
PAM 7,5 S	50,00	0,50
PAM 7,5 H	66,33	0,26
PAM 0 S 2 Ch	23,67	0,12
PAM 5 S 2 Ch	58,00	0,10
PAM 5 S A 2 Ch	64,78	0,40
PAM 0 S 30%	113,09	0,40
PAM 5 S 30%	114,96	0,40

Pela análise da Figura 27, pode-se constatar que a infiltração é superior nas amostras húmidas de solo, pois as partículas do solo húmido estão descompactadas, o que faz com que a água se infiltre mais facilmente através dos poros do solo (Tucci & Beltrame, 2000). Ocorreram diferenças significativas ( $P = 0,039$ ) entre os tratamentos que foram previamente saturados e as amostras de solo seco (Tabela 14).

**Tabela 14** - Efeito entre tratamentos na infiltração (L/m<sup>2</sup>). Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (P < 0,05)

Tratamentos	Média
PAM 0 (S e H)	14ab
PAM 2,5 (S e H)	14ab
PAM 5 (S e H)	18a
PAM 7,5 (S e H)	19a



**Figura 27** - Efeito da dose de PAM e do teor de umidade do solo na infiltração (valores médios)

A infiltração tem uma relação direta com o escoamento superficial do solo, pois ambos estão relacionados com a capacidade do solo em absorver a água. A partir da comparação destes parâmetros, entre amostras do mesmo tratamento, contata-se que o escoamento é superior à infiltração.

Esse resultado pode estar relacionado com a viscosidade proporcionada pelo contato da poliacrilamida (PAM) com a água da chuva, formando uma película sob a superfície do solo (Malik & Letey, 1992; Yu *et al.*, 2003). Esta película pode interferir na condutividade hidráulica do solo, conseqüentemente,

aumentando assim o escoamento superficial. Estes dados são condizentes com a bibliografia (Abrol *et al.*, 2013).

Os valores médio e desvio padrão do parâmetro de infiltração podem ser vistos na Tabela 15.

**Tabela 15** - Valores do parâmetro infiltração (L/m<sup>2</sup>) para o conjunto dos tratamentos ensaiados (média e desvio padrão)

TRATAMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
PAM 0 S	10,85	6,18
PAM 0 H	17,67	9,88
PAM 2,5 S	8,97	3,33
PAM 2,5 H	18,73	0,10
PAM 5 S	19,10	1,44
PAM 5 H	17,47	2,28
PAM 7,5 S	17,87	0,91
PAM 7,5 H	19,53	2,95
PAM 0 S 2 Ch	16,77	12,58
PAM 5 S 2 Ch	18,27	1,00
PAM 5 S A 2 Ch	9,11	3,36
PAM 0 S 30%	4,74	0,69
PAM 5 S 30%	17,78	6,91

#### 4.6 Síntese dos resultados da ANOVA 2 fatores

Os resultados apresentados de cada parâmetro avaliado podem ser observados na Tabela 16.

**Tabela 16** - Síntese dos resultados ANOVA 2 fatores: Efeito Dose e estado de Humidade (gl = 3) e (P < 0,05)

PARÂMETROS	Tratamento	Estado de Humidade	Interação
Salpico (g/m <sup>2</sup> )	<b>0,028</b>	0,073	0,075
Escoamento (L/m <sup>2</sup> )	0,233	0,974	0,118
Perda de Solo (g/m <sup>2</sup> )	<b>0,002</b>	0,337	0,973
Infiltração (L/m <sup>2</sup> )	0,164	<b>0,039</b>	0,168
Coef. Escoamento (%)	0,186	0,860	0,157
Conc. De Sedimentos (g/L)	<b>0,010</b>	0,253	0,091

Observação: Os valores destacados a negrito representam valores de P menores que 0,05 ( $P < 0,05$ )

De modo geral, somente os parâmetros escoamento e coeficiente de escoamento não apresentaram resultados significativos.

## 5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste estudo foi a utilização de um condicionador sintético do solo para diminuição dos impactos ocasionados pela erosão hídrica em áreas áridas.

Foram analisadas as médias dos resultados obtidos, de modo a comparar os diferentes tratamentos abordados, os declives e número de chuvadas nas amostras de solo. Deste modo, foi possível analisar diferentes parâmetros caracterizadores da erosão hídrica, e poder relacionar estes com a aplicação do polímero nos solos.

As simulações ocorreram com intensidade homogénea, altura, pressão e posição do bico aspersor constantes, sendo verificadas anteriormente a cada ensaio, de modo a assegurar um padrão nos resultados obtidos.

Os resultados apresentados permitem uma avaliação experimental na fundamentação de um problema atual, que são as áreas áridas em Portugal, e a contribuição da adição de um condicionador de solo, a Poliacrilamida (PAM), para redução dos impactos ocasionados pela erosão hídrica nestas áreas.

### 5.1 Salpico e Perda de Solo

A intensidade da erosão está diretamente relacionada com o salpico, quanto maior a quantidade de partículas desagregadas e transportadas, mais intensa é a erosão.

Em relação aos resultados obtidos de salpico, conclui-se que existiu diferenças significativas entre tratamentos. Os níveis de salpico decaíram ao aumentar a dose de PAM aplicada, comprovando o efeito esperado do condicionador do solo.

Os resultados para a perda de solo foram similares ao do parâmetro salpico. Identificou-se um decaimento na perda de solo com o aumento da dose de PAM. Percebeu-se também este decréscimo em relação às amostras húmidas e secas tratadas.

A partir destes parâmetros, pode-se concluir que a poliacrilamida melhorou as condições físicas das amostras de solo, uma vez que esta preveniu a perda de solo por escoamento superficial e por salpico.

Em relação à segunda chuvada sobre as amostras, observou-se que o parâmetro salpico foi substancialmente maior nas amostras que passaram por uma segunda simulação de chuva, porém ainda se nota um decaimento de salpico quando comparadas às amostras que não receberam o condicionador. Estes resultados mostram que a utilização de PAM após uma segunda chuvada ainda é válida, mesmo com um efeito menos eficiente.

## **5.2 Concentração de Sedimentos**

A concentração de sedimentos está diretamente relacionada com o salpico e a perda de solo, como resultado, verificou-se que a concentração de sedimentos diminuiu após a aplicação da PAM. Averigou-se também o efeito persistência da poliacrilamida após a primeira chuvada.

Em relação aos diferentes declives, 15% e 30%, as amostras que foram simuladas com uma maior inclinação registaram um aumento na concentração de sedimentos. Porém ao comparar este aumento entre tratamentos da mesma inclinação, pode-se constatar que houve um decaimento na concentração de sedimentos nas amostras que possuíam o condicionador aplicado. Este resultado evidencia que o uso da PAM em declives mais acentuados também é válido, uma vez que a mesma ainda cumpre com o seu objetivo.

## **5.3 Infiltração e Escoamento**

Estes parâmetros estão diretamente relacionados e apresentaram padrões muito semelhantes. Para o escoamento, as amostras secas resultaram em valores menores, porém este efeito não é significativo em termos estatísticos.

Em relação ao parâmetro infiltração, houve uma diferenciação significativa entre os tratamentos que foram previamente saturados e as amostras de solo seco. Através desta diferenciação de resultados na infiltração, percebe-se que a

aplicação da PAM é mais eficiente neste quesito, quando aplicada no solo previamente humedecido.

A partir da comparação, entre amostras do mesmo tratamento, constatou-se que o escoamento é relativamente superior à infiltração. Analisando estes parâmetros nos diferentes declives, verifica-se que o escoamento aumenta com o aumento do declive (30%). Porém, ao comparar a diferença do escoamento entre os tratamentos, solo com e sem condicionador, observa-se uma redução após a aplicação de PAM.

Com a realização deste estudo, pode-se confirmar que a aplicação de poliacrilamida como modo de diminuir os impactos no solo ocasionados pela erosão hídrica é eficaz, especialmente na perda de solo por escoamento superficial e salpico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrol, V., Shainberg, I., Lado, M & Bem-Hur. (2013) - Efficacy of dry granular anionic polyacrylamide (PAM) on infiltration, runoff and erosion. *European Journal of Soil Science*, 64, 699–705.

Albuquerque, J.A., Cassol, E.A. & Reinert, D.J. (2000) - Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 24,141-151.

Alexandre, C. (2015) - Funções, usos e degradação do solo. In T. de Figueiredo, F. Fonseca, & L. Nunes (Eds.), *Proteção do Solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças* (pp. 1–14). Bragança: Instituto Politécnico de Bragança - IPB.

Angers, D.A, R.P. Voroney & D. Côté. (1995) - Dynamics of soil organic matter and corn residues as affected by tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59,1311-1315.

Aouda, F.A. (2009) – Síntese e caracterização de hidrogéis de poliacrilamida e metilcelulose para a liberação controlada de pesticidas. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Tese de Doutorado

Araújo, E.A., Ker, J. C., Neves, J. C. L. & Lani, J. L. (2012) – Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206.

Autoridade Nacional Florestal. Unidade de Defesa da Floresta – AFN. (2012) - Relatório Provisório de Incêndios Florestais. Acesso: <[http://portal.minagricultura.pt/portal/page/portal/MADRP/PT/servicos/Imprensa/nt\\_xvii/Documentos/relat\\_incend/20091015\\_AFN\\_DUDEF\\_RP11.pdf?\\_template=>](http://portal.minagricultura.pt/portal/page/portal/MADRP/PT/servicos/Imprensa/nt_xvii/Documentos/relat_incend/20091015_AFN_DUDEF_RP11.pdf?_template=>)

Azevedo, T.L.F., Bertonha, A. & Gonçalves, A.C.A. (2002) – Uso de hidrogéis na agricultura. *Revista do programa de ciências agroambientais*. 1, 23.

Baccaro, C.A.D. (1994) - As unidades morfológicas e a erosão nos chapadões do Município de Uberlândia.

Beare, M.H. & Bruce, R.R. (1993) - A comparison of methods for measuring water stable aggregates: Implications for determining environmental effects on soil structure. *Geoderma* 56, 87-104.

Berhe A.A. & Kleber M. (2013) - Erosion, deposition, and the persistence of soil organic matter: mechanistic considerations and problems with terminology. *Earth Surf Proc Land*. 38, 908-12.

Bertoni, J. & Neto, F. L. (1990) - Conservação do solo. 1ª ed. São Paulo: Ícone editora.

Bird, R.B., Bird, D.W., Coddling, B.F., Parker, C.H. & Jones, J.H. (2008) - The “fire stick farming” hypothesis Australian Aboriginal foraging strategies, biodiversity, and anthropogenic fire mosaic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 14796- 14801 pp.

Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J.M., Doyle, J.C., Harrison, S.P. & Pyne, S.J. (2009) - Fire in the Earth system. *Science* 324, 481–484.

CM Bragança - Câmara Municipal de Bragança (2018) – Dados: <<https://www.cm-braganca.pt/pages/456>> acessado em 28/06/2018.

Camargo, O.A. de & Alleoni, L.R.F. (1997) - Compactação do solo e desenvolvimento das plantas. Piracicaba, 1997. 132 p.7 EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

Carter, M.R., Angers D.A. & Kunelius H.T. (1994). Soil structural form and stability, and organic matter under cool-season perennial grasses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58,1194-1199.

Carter, M.R. (2001) - Organic matter and sustainability. In: Rees, B.C.; Ball, B.C.; Campbell, C.D. & Watson, C.A., eds. *Sustainable management of soil organic*. Wallingford, CAB International. p.9-22.

Cavalli, A. (2017) – Áreas ardidas e risco de erosão potencial nas zonas de montanha no NE de Portugal. Instituto Politécnico de Bragança – IPB. Tese de Mestrado.

Cerdà, A. & Lasanta, T. (2005) - Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees: 1. Water and sediment yield. *Catena*, 60 (1), 59–80.

Cerda, A. & Robichaud, P.R. (2009) - *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies*. (M. J. Haigh, Ed.) (Vol. 5). Oxford, UK: Science Publishers.

Chuvienco, E., Giglio, L., Justice, C. (2008) - Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data. *Global Change Biology* 14, 1488–1502.

Conceito.de – Conceito Rocha Mãe (2016) Imagem de <<https://conceito.de/rocha-mae>>

Diyabalange, S., Samarakoon, K.K., Adikari, S.B. & Hewawasam, T. (2017) - Impact of soil and water conservation measures on soil erosion rate and sediment yields in a tropical watershed in the Central Highlands of Sri Lanka. *Applied Geography*, 79, 103–114.

Doran, J.W. & Parkin, T.B. (1994) - Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bedezdicek, D.F. & Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, p.1-20.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412p.

Fernandes, R.C., Cordovil, C.M., De Varennes, A., (2009) - Use of Organic Residues to recover Nutrients and Organic Matter Pools in burned soils. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal.

Figueiredo, T. de, Fonseca, F., & Queirós, A. (2013) - Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: Resultads de um ano de ensaios no Parque Natural de Montesinho. In A. Bento-Gonçalves & A. Vieira (Eds.), *Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos* (pp. 267–277).

Figueiredo, T. de, Fonseca, F. (2012) - Erosão hídrica dos solos em Portugal: contributo para uma revisão. V Congresso Ibérico da Ciência do Solo 2012 - Uso e manejo do solo. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança - IPB.

Fonseca, F., Figueiredo, T., Nogueira, C. & Queirós, A. (2017) - Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain área. CIMO – Centro de Investigação de Montanha, Escola Superior Agrária Instituto Politécnico de Bragança – IPB. *Geoderma* 307,172–180.

Frighetto, R.T.S. (2000) - Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação – extração. In: Frighetto, R.T.S.; Valarini, P.J. (Coords.). *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 198p.

Goldberg, S., Suarez D.L., Glaubig, R.A. (1988) - Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid zone soils. *Soil Sci*; 146, 317-25.

González-Pérez, J.A., González-Vila, F.J., Almendros, G., Knicker, H. (2004) - The effect of fire on soil organic matter — a review. *Environment International* 30, 855–870.

Guerra, A. S., Silva, J.T., Botelho, R.G.M. (1999) – O início do processo erosivo. Capítulo I, In Guerra, A.J.T. et al – *Erosão e conservação dos solos: conceito, termos e aplicações*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Hudson, N.W. (Norman Webster) (1981). *Soil conservation* (2nd ed). Cornell University Press, Ithaca, N.Y.

Hudson, N.W. (1993) - Field measurement of soil erosion and runoff. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO soils bulletin, 68).

Inbar, A., Ben-Hur, Sternberg, M., Lado, M. (2015) - Using polyacrylamide to mitigate post-fire soil erosion. *Geoderma* 239–240, 107–114.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2012) - Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Piracicaba – São Paulo.

Kay, B.D., Angers, D.A., Groenevelt P.H. & Baldock, J.A. (1988) - Quantifying the influence of cropping history on soil structure. *Can. J. Soil Sci.* 68, 359-368.

Lal, R. (1999) - Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos. Embrapa Meio Ambiente. 97pp.

Lal, R. (2000) - Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science*, v.165, n.3, p.191-207.

Lavorel, S., Flannigan, M.D., Lambin, E.F., Scholes, M.C. (2007) - Vulnerability of land systems to fire: interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12, 33–55.

Le Bissonnais, Y. (1996) - Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.* 47, 425-437.

Lehmann J., Manning, D.A., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weine, S. & Trumbore S.E. (2011) - Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*; 478:49-56.

Lepsch, I.F. (2010) - Formação e conservação dos solos (2 ed). São Paulo.

Levy, G.J. (1992) - Polymer's effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigations. *Soil Science Society of America Journal - Madison*, v. 56, 266–271.

Magalhães, R.A. (1995) - Processos erosivos e métodos de contenção. Ouro Preto: CEEB.

Malik, M., Amrhein, C. & Letey, J. (1991) - Polyacrylamide to improve water flow and salt removal in a high shrink-swell soil. *Soil Science Society of America Journal*, v.55, p.1664-1667.

Malik, M. & Letey, J. (1992) - Pore-sizes dependence apparent viscosity for organic solutes in saturated porous media. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1032–1035.

Mccollister, D., Oyen, F. & Rowe, V. (1964) – Toxicology of acrylamide. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 6, 172.

Mesquita, M.G.B.F. (2001) - Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo. 2001. 110. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.

Meyer, L.D. (1965) – Simulation of rainfall for erosion research. St. Joseph: ASAE, v. 8, 73-75.

Meyer, L.D. & Harmon, W.C. (1979) - Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. Transactions of the ASAE, v. 22, n. 1, p. 100-103.

Molina, M.J. & Sanroque, P. (1996) - Impact of fires on desertification processes: a review in relation to soil erodibility. In J.L. Rubio & A. Calvo (Eds.), Soil Degradation and Desertification in Mediterranean Environments (pp. 143-163). Geoforma Ediciones, Logroño.

Montebeller, C.A., Carvalho, D.F., Alves S.T., Nunes A.C.S. & Rubio, E. (2001) - Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 1, p. 1-5.

Moreira, F., Catry, F.X., Silva, J.S. & Rego, F. (2010) - Ecologia do fogo e gestão de áreas aridas. ISAPress. ISA Press.

Morgan, R.P.C. (2005) - Soil erosion and conservation. (Blackwell Publishing, Ed.) (3 ed.). Australia.

Neary, D.G., Ryan, K.C. & DeBano, L.F. (2005) - Wildland Fire in Ecosystems, effects of fire on soil and water (USDA-Uni, Vol. 4). Ogden.

Pereira, J.M.C., J.M.B. Carreiras, J.M.N. & Vasconcelos M.J. (2006) -Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal. In J.S. Pereira, Pereira, J.M.C., Rego, F.C., Silva, J.M.N., Silva, T.P. Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção (pp. 133-161). Lisboa.

People for the Ethical Treatment of Animals – PETA Austrália. Imagem de <<https://www.peta.org.au/issues/clothing/cruelty-wool/environmental-hazards-wool-production/>>

Pinto, M.A.S. (1990) – Efeitos do fogo controlado nos processos hidrológicos. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e alto Douro. Relatório Final de Estágio.

Prats, S. (2013) - Soil erosion mitigation following forest wildfires. Universidade do Porto. Tese de Doutoramento.

Prats, S., Wagenbrenner, J., Martins, M., Malvar, M., Keizer, J. (2016) – MidTerm and scaling effects os forest residue mulching on post fire, runoff and soil erosion. Science of the environmental.

Pyne, S. (2006) - Fogo no jardim: compreensão do contexto dos incêndios em Portugal. Em: Pereira, J., Pereira, J., Rego, F., Silva, J. & Silva, T. Incêndios Florestais em Portugal, (pp.115-131).

Reinert, J.R., & Reichert, J.M. (2006) - Propriedades física do solo. In Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais (p. 18).

Reynolds, W.D. (2002) - Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, v.110, n.1-2, p.131-146.

Scheer, M.B., Curcio, G.R. & Roderjan, C.V. (2011) - Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. *Rev Bras Cienc Solo*. 35,1113-26.

Shamp, N., Huylebroeck, J. & Sadones, M. (1975) - Adhesion and adsorption phenomena in soil conditioning. In: MODLDENHAUER, W.C. (Ed.). *Soil Conditioners*. Madison: Soil Science Society of America. Chap. 2, p. 13- 24.

Silva, I.F. (1993) - Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Singer, M. J. & Munns, D. N. 1931- (2002). *Soil: an introduction*. (5th ed) Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Six, J., Bossuyt H., Degryse S. & Deneff, K. (2004) - A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till Res*.79, 7-31.

Sojka, R.E., Entry, J.A. & Furhmann, J.J. (2006). The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil. *Appl. Soil Ecol*. 32, 243-252.

Sojka, R.E., Bjorneberg, D.L., Entry, J.A., Lentz, R.D. & Orts, W.J. (2007) - Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Advances in Agronomy*, 92, 75–162.

Souza, M.D. (2004) - Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente.

Tang, (2006) - Runoff and interrill erosion in sodic soils treated with dry PAM and phosphogypsum. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 70. 679-690.

Tomás, P.M.P.P. (1997) – Modelos de previsão da erosão hídrica em solos agrícolas. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Tese de Doutoramento.

Tucci, C.E.M. & Beltrame, L.F. (2000) - Infiltração e armazenamento no solo: In: Tucci, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação, 2ª Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade, p.335-372.

UNESP/IGCE. (1999) - Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada. Imagem em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter01a.html>>

Volk, L.B.S. & Cogo, N.P. (2008) – Inter-relação biomassa vegetal subterrâneas e a estabilidade de agregados – Erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Tese de Doutorado.

Wilcox, B., Wood, M.K., Tromble, J.M. & Ward, T. (1986) – A hand portable single nozzle simulator designed for use on steep slopes. *Journal of Range Management*.

Wilson, M.J., & Maliszewska-Kordybach, B. (1997) - *Soil Quality, Sustainable Agriculture and Environmental Security in Central and Eastern Europe* (Springer-S). Pulawy, Polonia.

Yoder, R.E. (1936) - A direct method of aggregate analysis of soils and a study of physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28, 337-351.

Yu, J., Lei, T., Shainberg, I., Mamedov, A.I. & Levy, G.J. (2003) - Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 630–636.

Zachar, D. (1982) - *Soil Erosion. Developments in Soil Science 10*. Bratislava: Veda, Publishing of house of the Slovak Academy of Sciences. 547 pp.