

# INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS EM COIMBRA, NOS ÚLTIMOS 139 ANOS

Influence of the precipitation on the occurrence of landslides  
at Coimbra, in the last 139 years

Mário Quinta Ferreira\*

Luís J. L. Lemos\*\*

Luís F. M. Pereira\*\*\*

**RESUMO** – Neste estudo são analisados os dados da precipitação em conjunto com os registos de deslizamentos ocorridos na zona de Coimbra, procurando definir a relação entre a precipitação e a ocorrência de deslizamentos. Os dados relativos aos deslizamentos foram obtidos essencialmente a partir de artigos em jornais da região. Os dados relativos à precipitação provêm dos registos do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra, situado na cidade de Coimbra, e abrangem o intervalo de tempo desde 1864 a 2003.

Os resultados obtidos permitem concluir que os deslizamentos ocorrem quando a precipitação é consideravelmente superior aos valores médios. Foi também possível demonstrar que os picos de precipitação são de extrema importância como mecanismo iniciador de instabilizações. Determinou-se o intervalo médio de recorrência para os anos com precipitação acumulada mais elevada, geralmente associada a um maior número de casos de instabilizações. Foi também possível definir um limiar inferior de precipitação capaz de provocar deslizamentos, de acordo com a metodologia de Chleborad (2000).

**SYNOPSIS** – In this study the precipitation data related with landslides occurrence in the area of Coimbra are analysed, in an attempt to get a relation between the precipitation intensity and landslide occurrence. The landslide occurrence was obtained mainly consulting old regional newspaper. The precipitation data for the interval period from 1864 to 2003 were facilitated by the Geophysical Institute of the University of Coimbra. The results permit to conclude that the landslides take place when the rainfall is higher than the mean values. It was also possible to prove that the maximum intensity rainfall is the trigger mechanism for landslides. The year accumulated rainfall for the mean return period, are normally associated with higher rates of landslides. It was also possible to define the lower bound rainfall able to trigger landslides, following the methodology of Chleborad (2000).

**PALAVRAS-CHAVE** – Riscos naturais; precipitação; deslizamentos; Coimbra.

## 1 – INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos a região de Coimbra tem sido afectada por diversos episódios de deslizamentos tendo sido particularmente relevante o Outono-Inverno de 2000-2001. A intensa precipitação que se fez sentir desde o mês de Outubro de 2000, até ao mês de Março de 2001 (Ganho, 2002), foi uma causa fundamental para o grande número de deslizamentos ocorrido (Lemos et al., 2001; Lourenço e Lemos, 2001; Quinta Ferreira et al., 2002, 2003, 2004; Quinta Ferreira e Quinta Ferreira, 2003).

---

\* Dep. Ciências da Terra, Universidade de Coimbra – mqf@det.uc.pt

\*\* Dep. Engenharia Civil, Universidade de Coimbra – llemos@dec.uc.pt

\*\*\* Dep. Ciências da Terra, Universidade de Coimbra – lfp@ci.uc.pt

Neste estudo procurou-se identificar a ocorrência de episódios semelhantes no passado, de modo a entender e avaliar a distribuição deste tipo de ocorrências no tempo. Procurou-se então obter informação exhaustiva de registos de deslizamentos e de dados da precipitação na zona de Coimbra.

Os dados relativos às datas de ocorrência dos deslizamentos foram obtidos pesquisando nos arquivos de jornais e periódicos de região de Coimbra, existentes na Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra e na Biblioteca Municipal de Coimbra. As publicações consultadas foram: “Diário de Coimbra”, “Correspondência de Coimbra”, “Comércio de Coimbra”, “O Conimbricense”, “O Marchante”, “Notícias de Coimbra”, “A Defesa”, “Gazeta de Coimbra”, e o “Jornal de Coimbra”. Entre o ano de 1896 e a década de 30 encontraram-se essencialmente publicações com carácter irregular ou de curta duração temporal, o que dificultou bastante a obtenção de dados. A partir da década de 30 encontraram-se publicações periódicas regulares, de que se destaca o “Diário de Coimbra”.

Os dados relativos à precipitação provêm dos registos do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC), na Av. Dias da Silva, no Centro da cidade de Coimbra, e abrangem o intervalo de tempo desde 1864 a 2003. A compilação dos dados da precipitação e das instabilizações durou mais de 6 meses a tempo inteiro.

Identifica-se 135 deslizamentos ocorridos na zona de Coimbra, no período de tempo entre os anos de 1896 e 2003. O critério de selecção foi o de consistirem em instabilizações naturais, isto é, que não tivessem resultado de causas directamente relacionadas com actividades humanas, nomeadamente rebentamento de canos, construção de muros, escavações, regas, entre outras.

Em cerca de 5 meses (de Novembro de 2000 a Março de 2001), foram relatados nos jornais 53 deslizamentos, o que constitui aproximadamente 40% dos deslizamentos de que se encontrou registo jornalístico, desde 1896 até à actualidade.

Está ainda em curso a recolha de dados e a análise das condições geológicas, geotécnicas e geomorfológicas da região, em particular das zonas instabilizadas, no sentido de avaliar as condições mais propícias à ocorrência de novos deslizamentos na região de Coimbra.

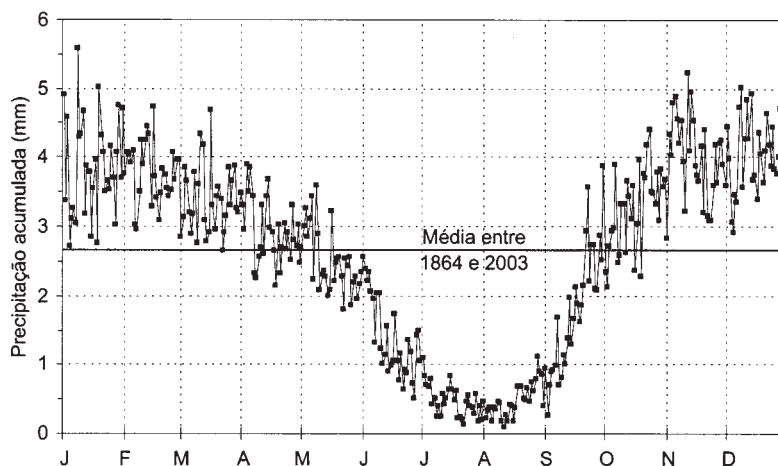
## **2 – CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO**

Os dados da precipitação foram analisados desde o início dos registos no IGUC, em Setembro de 1864. A precipitação média mensal mostra que chove mais no Outono e no Inverno, com valores acima de 100mm entre os meses de Outubro e Março. O mês com precipitação mais elevada é o de Dezembro com 125mm. No entanto, se se analisarem os valores máximos da precipitação mensal, verifica-se que variam entre 464mm no mês de Novembro de 1963 e 68,8mm em Julho de 1988, o que mostra que mesmo nos meses pouco chuvosos podem ocorrer precipitações muito intensas. Esta observação é confirmada pelos máximos de precipitação diária (MáxD).

A distribuição da precipitação diária média (PDM) entre os anos de 1864 e 2003, mostra-se na Figura 1, em que também está representada a linha correspondente à média da precipitação diária (MédD) obtida para o IGUC, que é de 2,65mm.

A Figura 1 e o Quadro 1 mostram um ciclo anual de precipitação com 7 meses, de Outubro a Abril, exibindo precipitação diária média acima de 2,65mm e 5 meses com valores abaixo da média, de Maio a Setembro.

Da análise da Figura 1 conclui-se que dos 7 meses com precipitações mais elevadas, o valor mínimo da precipitação diária média (PDM) encontra-se acima de 2,65mm e o valor máximo abaixo de 5mm, com excepção de 3 dias (11 de Novembro, 8 de Dezembro e 8 de Janeiro que apresenta o maior valor com 5,6mm). Nos 5 meses, de Maio a Setembro, com valores da precipitação diária média (PDM) abaixo da média da precipitação diária (MPD = 2,65mm), as menores precipitações situam-se entre a última quinzena de Julho e a primeira de Agosto, com os valores mínimos da precipitação diária média (PDM) abaixo de 0,1mm, em 10 e 11 de Agosto.



**Fig. 1** – Precipitação diária média (PDM) entre 1864 e 2003.

**Quadro 1** – Precipitação média mensal (PMM), média diária (PMD) e máximo de precipitação diário entre 1864 e 2003, para o IGUC. Dados em mm.

| \Mês<br>Precipitação\ | Jan         | Fev         | Mar         | Abr         | Mai         | Jun         | Jul         | Ago         | Set          | Out         | Nov          | Dez         |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| <b>Média Mensal</b>   | <b>120</b>  | <b>106</b>  | <b>105</b>  | <b>88</b>   | <b>78</b>   | <b>42</b>   | <b>15</b>   | <b>15</b>   | <b>53</b>    | <b>102</b>  | <b>120</b>   | <b>125</b>  |
| Mínimo                | 0,6         | 0,0         | 0,0         | 0,6         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0          | 4,3         | 1,6          | 1,1         |
| Máximo                | 375         | 378         | 294         | 295         | 197         | 155         | 69          | 80          | 220          | 296         | 464          | 409         |
| Ano                   | 2001        | 1902        | 1937        | 1884        | 1931        | 1988        | 1988        | 1885        | 1868         | 1960        | 1963         | 1934        |
| <b>Média Diária</b>   | <b>3,9</b>  | <b>3,8</b>  | <b>3,4</b>  | <b>2,9</b>  | <b>2,5</b>  | <b>1,4</b>  | <b>0,5</b>  | <b>0,5</b>  | <b>1,8</b>   | <b>3,3</b>  | <b>4,0</b>   | <b>4,0</b>  |
| Mínimo                | 2,7         | 3,0         | 2,6         | 2,1         | 1,8         | 0,5         | 0,1         | 0,1         | 0,3          | 2,1         | 2,8          | 2,9         |
| Máximo                | 5,6         | 4,7         | 4,7         | 3,9         | 3,6         | 2,6         | 1,1         | 1,1         | 3,9          | 4,4         | 5,2          | 5,0         |
| <b>Máximo Diário</b>  | <b>73,5</b> | <b>66,8</b> | <b>64,8</b> | <b>62,6</b> | <b>99,0</b> | <b>56,2</b> | <b>38,9</b> | <b>50,5</b> | <b>120,4</b> | <b>71,3</b> | <b>108,0</b> | <b>93,1</b> |
| Dia                   | 3           | 11          | 21          | 3           | 2           | 28          | 1           | 19          | 30           | 15          | 11           | 21          |
| Mês                   | Jan         | Fev         | Mar         | Abr         | Mai         | Jun         | Jul         | Ago         | Set          | Out         | Nov          | Dez         |
| Ano                   | 1877        | 1900        | 1924        | 1960        | 1931        | 1974        | 1902        | 1977        | 1936         | 1979        | 1963         | 1989        |

Como se procurou avaliar a influência da precipitação, em particular da acumulada no desencadear de deslizamentos, passou-se a considerar que o início de Agosto seria o começo da análise. Nos cálculos e gráficos da precipitação acumulada anual que se passaram a realizar, considerou-se o início no dia 1 de Agosto, pelo que os valores acumulados se referem a dois anos civis consecutivos, de Agosto a Dezembro de um ano e de Janeiro a Julho do ano seguinte, e que se passou a designar por ano hidrológico. Com este procedimento procurou-se efectuar uma análise contínua da precipitação, sem interromper a sua continuidade nos meses em que é mais significativa. Seguindo a metodologia apresentada, a precipitação anual média (M) de Agosto a Julho entre os anos de 1864 e 2003 é de 968mm, com um máximo de 1716mm em 1935-36 e um mínimo de 468mm em 1952-53. O desvio padrão (DP) é de 250mm.

### 3 – RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO E OS DESLIZAMENTOS

#### 3.1 – Tipo de distribuição das ocorrências

Os valores de precipitação acumulada dos 139 anos hidrológicos que constituem a nossa base de dados podem ser considerados como medições repetidas de uma variável. Geralmente, as curvas de distribuição de frequências geradas a partir de uma população natural adoptam uma forma de sino, isto é, os valores distribuem-se em redor de um valor central, e a frequência de ocorrência diminui para cada um dos lados, denominando-se como curvas de distribuição normal. É frequente assumir-se que variáveis aleatórias assumem curvas de distribuição normais.

Numa curva normal de distribuição de frequências considera-se que a área subjacente à curva é igual a 1 (ou 100%). Outras características destas curvas é de que 68,27% dos elementos que constituem a amostra (população) se distribuem ao longo do intervalo definido por um desvio padrão acima e abaixo da média (intervalo 1), e de que 95% se situam no intervalo delimitado por dois desvios padrão acima e abaixo da média (intervalo 2), e de que mais de 99% se distribuem ao longo do intervalo que se estende 3 desvios padrão para cada lado da média (intervalo 3).

Na Figura 2 pode-se analisar o número de instabilizações em função das cinco classes de precipitação definidas, tendo cada uma das classes tem a amplitude de um desvio padrão.

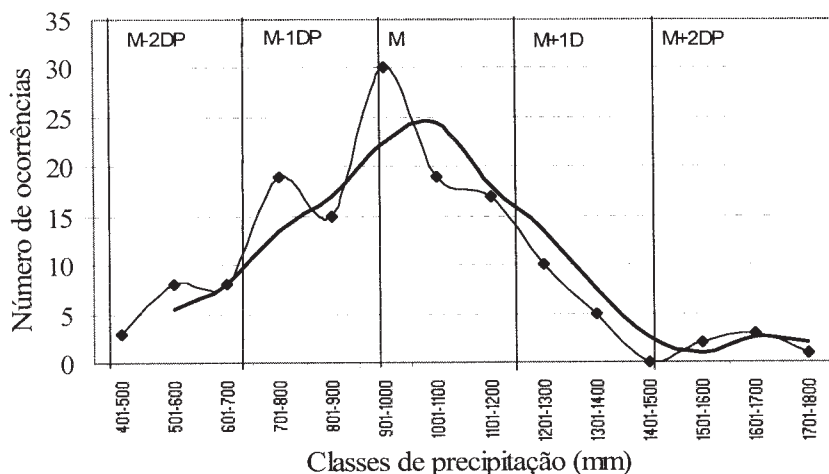


Fig. 2 – Classes de precipitação versus número de instabilizações.

Apesar do gráfico da Figura 2 ser ligeiramente assimétrico, 72,7% dos elementos que constituem a população situam-se no primeiro intervalo, 93,53% situam-se no segundo intervalo e 100% situam-se no terceiro intervalo, o que permite concluir que se trata de uma distribuição normal de frequências.

Na Figura 3 são apresentados os valores da precipitação acumulada (de Agosto a Julho) para os 139 anos disponíveis. São também representadas as linhas correspondentes à média (968mm), à média acrescida e diminuída de 1 desvio padrão (1218mm), e à média acrescida e diminuída de dois desvios padrão (1467mm).

Da análise da Figura 3 pode-se concluir que apenas em 20 dos 139 anos se obteve uma precipitação acumulada superior a um desvio padrão acima da média. Se considerarmos apenas os anos com precipitação acumulada com valores de dois desvios padrão acima da média (1467mm) temos apenas 6 anos (1876, 1935, 1959, 1965, 1976 e 2000) dos 139 analisados.

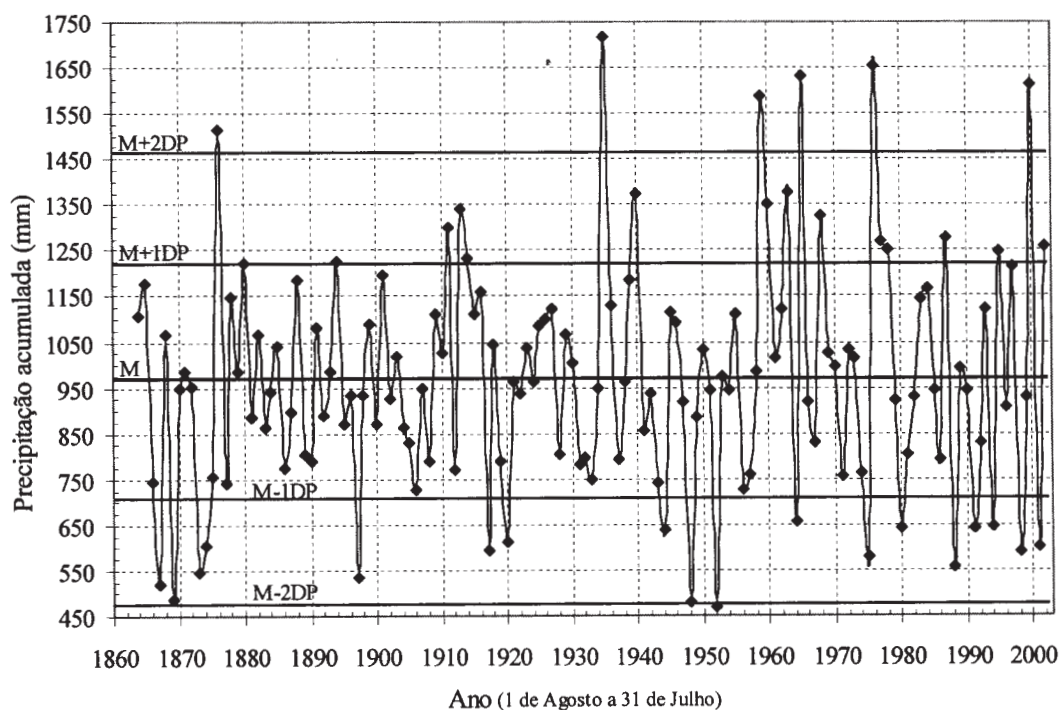


Fig. 3 – Precipitação acumulada (de 1 de Agosto a 31 de Julho) para os 139 anos disponíveis.

### 3.2 – Sequências de precipitação anteriores às instabilizações

No desencadear das instabilizações conta essencialmente a quantidade de precipitação que antecede a ocorrência, pois que a água acumulada no solo é a principal responsável pela redução do factor de segurança dos taludes.

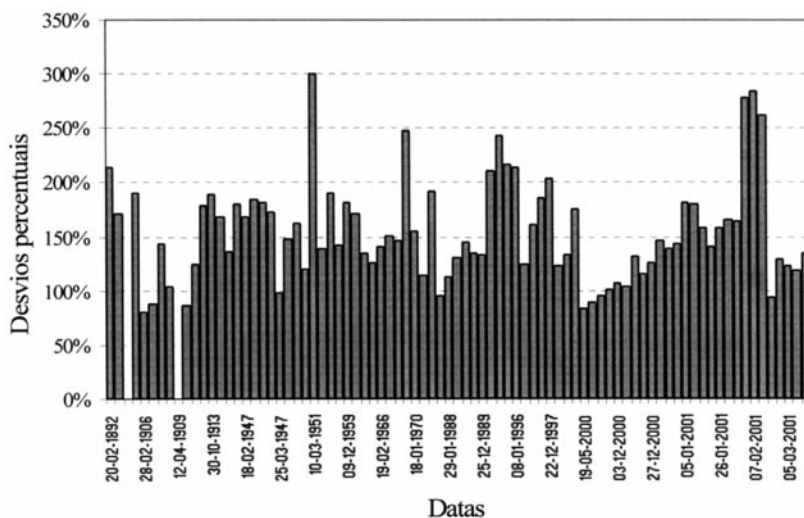
Procurando avaliar a importância e intensidade das chuvas que antecederam alguns deslizamentos, foram definidas as sequências de dias com chuva e sem chuva, anteriores às ocorrências, com base nos registos diários. No Quadro 2 apresentam-se algumas das sequências obtidas, indicando-se os dias com e sem precipitação, a quantidade total de precipitação, a precipitação média durante o período de chuva, bem como o dia com maior precipitação na sequência. É também indicado o número de instabilizações ocorrido e a sua data de ocorrência.

Para as sequências de dias com chuva em que ocorreram instabilizações, comparando os valores de precipitação média com os valores de precipitação diária média (PDM) entre 1865 e 2003, para os mesmos dias do ano, verifica-se que os valores de precipitação que estiveram na origem das instabilizações são muito superiores aos da precipitação diária média (PDM). O desvio percentual para os mesmos dias do ano é apresentado na Figura 4.

Da análise do gráfico da Figura 4 conclui-se que, exceptuando 9 casos em que o desvio percentual é inferior a 100%, na grande maioria dos casos (72) a precipitação média diária nesses períodos de chuva foi superior à precipitação média diária entre 1865 e 2003. No entanto, em duas datas (11/04/1896 e 12/04/1909) foi impossível definir um período de chuvas, uma vez que, no primeiro dos casos, a 11/04/1896, não chovia há 20 dias, enquanto que no segundo caso, a 12/04/1909, tinham chovido apenas 4,9 mm nos últimos 11 dias, tendo ocorrido essa precipitação 5 dias antes do deslizamento (a 07 de Abril). Considera-se que para estes dois casos houvera outras causas, que não conseguimos identificar, que poderão estar na origem destas situações anómalas.

**Quadro 2** – Registos dos dias “com” precipitação e “sem” precipitação, da quantidade de precipitação, do valor médio diário (Méd) e do máximo (Máx) para algumas instabilizações.

| Ano              |          | Precipitação  |            |          |          |        | Instabilizações |                                |
|------------------|----------|---------------|------------|----------|----------|--------|-----------------|--------------------------------|
| Dias com         | Dias sem | Datas         | Total (mm) | Méd (mm) | Máx (mm) | Dia    | n.º             | Data                           |
| <b>1906</b>      |          |               |            |          |          |        |                 |                                |
| 10               | 1        | 10-19 Fev     | 57,6       | 5,8      | 11,7     | 11 Fev |                 |                                |
| 4                | 1        | 21-24 Fev     | 25,3       | 6,3      | 19,4     | 22 Fev |                 |                                |
| 3                |          | 26-28 Fev     | 28,2       | 9,4      | 23,7     | 27 Fev | 1               | 28 Fev                         |
| <b>1913</b>      |          |               |            |          |          |        |                 |                                |
| 19               | 1        | 20 Out-7 Nov  | 209        | 11,0     | 39,2     | 31 Out | 1               | 30 Out                         |
| 7                | 1        | 9-15 Nov      | 45         | 6,4      | 14,9     | 12 Nov |                 |                                |
| 1                | 4        | 17- Nov       | 0,3        | 0,3      |          |        |                 |                                |
| 3                |          | 22-24 Nov     | 4,2        | 1,4      | 2,2      | 23 Nov |                 |                                |
| <b>1941</b>      |          |               |            |          |          |        |                 |                                |
| 3                | 8        | 31 Dez-2 Jan  | 89         | 29,7     | 64,3     | 01 Jan |                 |                                |
| 3                | 1        | 11-13 Jan     | 13,2       | 4,4      | 10       | 11 Jan |                 |                                |
| 7                |          | 15-21 Jan     | 95,5       | 13,6     | 57,4     | 20 Jan | 1               | 21 Jan                         |
| <b>1966</b>      |          |               |            |          |          |        |                 |                                |
| 15               |          | 8-22 Jan      | 195,4      | 13,0     | 42,4     | 19 Jan | 1               | 22 Jan                         |
| 23               |          | 8-30 Jan      | 234,5      | 10,2     | 42,4     | 19 Jan | 1               | 30 Jan                         |
| 28               | 1        | 8 Jan-4 Fev   | 247,3      | 8,8      |          |        |                 |                                |
| 18               |          | 6-23 Fev      | 281        | 15,6     | 39,9     | 12 Fev | 3               | 15,19,21 Fev                   |
|                  | 1        |               |            |          |          |        | 1               | 2 Fev                          |
| <b>2000/2001</b> |          |               |            |          |          |        |                 |                                |
| 1                | 2        | 31- Out       | 19,4       | 19,4     |          |        |                 |                                |
| 7                | 3        | 3-9 Nov       | 97,6       | 13,9     |          |        |                 |                                |
| 5                | 2        | 13-17 Nov     | 39,7       | 7,94     |          |        |                 |                                |
| 8                | 1        | 20-27 Nov     | 67,2       | 8,4      | 27,4     | 25 Nov | 1               | 24 Nov                         |
| 13               | 1        | 29 Nov-11 Dez | 179,4      | 13,8     | 43,8     | 06 Dez | 5               | 30 Nov<br>1,2,3,5 Dez          |
| 3                | 3        | 13-15 Dez     | 29,3       | 9,8      |          |        |                 |                                |
| 1                | 1        | 19- Dez       | 0,7        | 0,7      |          |        |                 |                                |
| 18               | 1        | 21 Dez-7 Jan  | 252,3      | 14,0     | 61,5     | 05 Jan | 8               | 23,26,27,29 Dez<br>2,4,5,6 Jan |
| 4                | 2        | 9-12 Jan      | 36,9       | 9,2      |          |        |                 |                                |
| 5                | 2        | 15-19 Jan     | 20,5       | 4,1      |          |        |                 |                                |
| 7                |          | 22-28 Jan     | 184,7      | 26,4     | 62,6     | 26 Jan | 10              | 24,26,27,28 Jan                |
| 6                |          | 4-9 Fev       | 104,3      | 17,4     | 55,9     | 06 Fev | 4               | 6,7,8 Fev                      |
| 14               | 3        | 27 Fev-12 Mar | 147,2      | 10,5     | 32,9     | 04 Mar | 5               | 2,4,5,6,10 Mar                 |
| 1                | 1        | 16 Mar        | 22,8       | 22,8     |          |        |                 |                                |
| 13               | 2        | 18-30 Mar     | 72,5       | 5,58     |          |        |                 |                                |
| 1                | 1        | 02 Abr        | 5,6        | 5,6      |          |        |                 |                                |



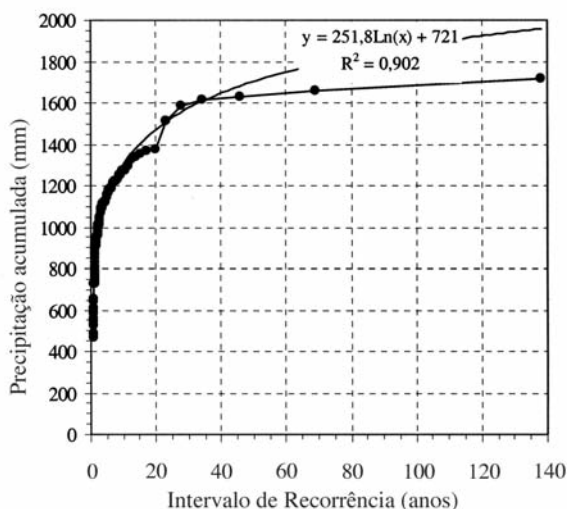
**Fig. 4** – Desvios percentuais entre as médias da precipitação desde o início do período de chuvas com a precipitação diária média (PDM) entre 1865 e 2003, para os mesmos dias do ano em que ocorreram instabilizações.

A esmagadora maioria das instabilizações ocorreram após precipitações com desvios percentuais em relação à média para os mesmos dias do ano, acima dos 100%, com os valores mais frequentes rondando os 150%, podendo mesmo atingir os 300%.

### 3.3 – Índice de Recorrência

O índice de recorrência (R), é um parâmetro que permite determinar o intervalo médio de recorrência (em anos) de um determinado valor de precipitação acumulada.

Baseado nos registos dos valores de precipitação acumulada de cada ano hidrológico, desde 1865 até 2003, foi determinado o índice de recorrência médio da precipitação acumulada, na zona de Coimbra, com base nos dados do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC), e que se encontra representado na Figura 5.



**Fig. 5** – Índice de recorrência médio para a precipitação anual (Agosto a Julho) para os dados do IGUC.



De acordo com o gráfico, o intervalo médio de recorrência previsto para um valor de precipitação anual de 1200mm, valor acima do qual se verifica um aumento significativo do número de instabilizações, é de 6,5 anos. Para um valor de precipitação de 1600mm (aproximadamente o valor do ano 2000-01), o intervalo médio de recorrência é de cerca de 30 anos. A existência de apenas quatro anos com precipitação acima dos 1600mm, permite que ocorra um desfasamento significativo entre a curva logarítmica calculada a os valores de precipitação medidos, para valores do intervalo médio de recorrência acima dos 30 anos. Para um intervalo médio de recorrência de 100 anos, pela linha que une os valores medidos teríamos uma precipitação de 1680mm, enquanto que pela curva logarítmica teórica o valor da precipitação seria cerca 200mm superior, ou seja cerca de 1880mm. O máximo valor de precipitação registado é de 1716mm.

## 4 – RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO E OS DESLIZAMENTOS

### 4.1 – Precipitação Acumulada Anual

A Figura 6 relaciona o número de instabilizações por ano hidrológico (de 1 de Agosto a 31 de Julho) com a precipitação acumulada para o mesmo período. Pode-se observar que o número de deslizamentos de que se encontrou registo não apresenta uma relação directa com a quantidade de precipitação acumulada anualmente. Verifica-se mesmo a ocorrência de instabilizações em anos com precipitações abaixo da média (968mm).

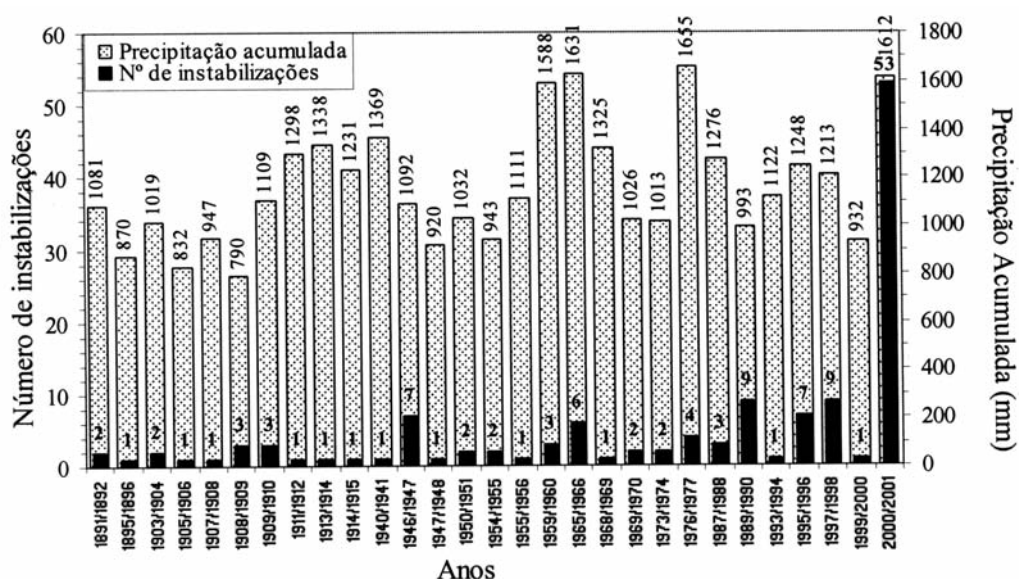


Fig. 6 – Número de deslizamentos e precipitação acumulada anual num gráfico com duplo eixo dos yy.

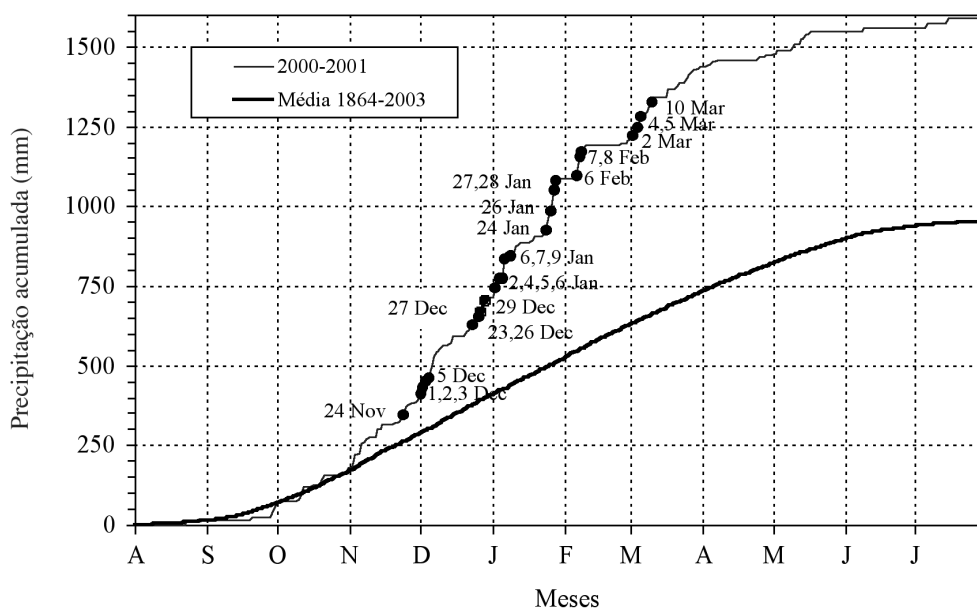
O ano hidrológico em que a precipitação foi mais elevada foi o de 1935-36 com 1716mm, seguido dos anos de 1976-77 com 1655 mm, 1965-66 com 1631mm e do ano 2000-01 com 1612mm.

Contudo, o ano em que se verificou o maior número de instabilizações foi o ano de 2000-01 com 53 casos, seguido dos anos 1989-90 (993mm) e 1997-98 (1213mm), ambos com 9 instabilizações. Estes dois últimos anos nem sequer figuram na lista dos 10 anos hidrológicos com os maiores valores de precipitação acumulada. A ausência de registos de instabilizações para o ano com maior



precipitação (1934-35) é atribuída à inexistência de jornais publicados com regularidade neste período, não tendo ficado registo das instabilizações que possam ter ocorrido.

Com base nos elementos apresentados pode-se concluir que a intensidade de precipitação em determinados períodos do ano assume maior importância do que a precipitação acumulada anual. Esta interpretação é reforçada pela análise da Figura 7, na qual está representada a curva de precipitação acumulada do ano hidrológico de 2000-01, sendo assinaladas as datas das principais instabilizações. No gráfico verifica-se que as instabilizações ocorreram em períodos com acentuado gradiente da curva, ou seja períodos com precipitação persistente e de intensidade elevada.



**Fig. 7** – Precipitação acumulada no ano hidrológico 2000-01 com indicação das datas das principais instabilizações.

A aplicação do mesmo procedimento a todos os anos em que ocorreram instabilizações permite verificar um padrão semelhante, salvo 3 exceções. Podemos concluir que a generalidade das instabilizações ocorrem nos períodos de precipitação intensa e persistente. Nos casos excepcionais, admite-se que possa ter havido outros factores responsáveis pela instabilização, para além da precipitação, e que não se puderam identificar.

## 4.2 – Precipitação anterior aos deslizamentos

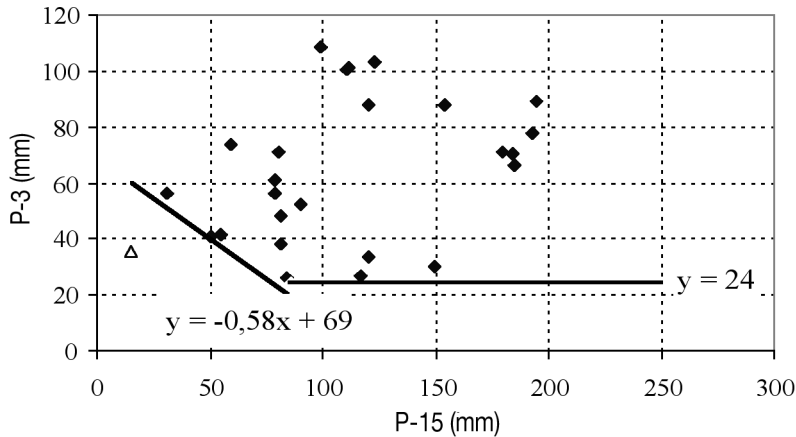
Para a análise dos dados, na procura de uma possível relação entre a precipitação e os deslizamentos seguiu-se a metodologia proposta por Chleborad (2000). Este autor relaciona a precipitação ocorrida nos 3 dias que antecedem o deslizamento com a precipitação ocorrida nos 15 dias anteriores a esses 3 dias, considerando um nível mínimo de ocorrência de 3 instabilizações por cada 72 horas, sendo assumido que com este nível de ocorrência a precipitação desempenha um papel preponderante na ocorrência dos deslizamentos.

Seguindo o critério antes enunciado, dos 135 casos de deslizamentos identificados, seleccionou-se 65 casos que cumprem este nível de ocorrência. Estes 65 casos situam-se temporalmente entre o dia 3 de Fevereiro de 1977 e o dia 6 de Março de 2001, agrupando-se em nove séries. Foi

**Quadro 3** – Datas de deslizamentos que cumprem o nível de ocorrência mínimo 3 por cada 72 horas, e valores de precipitação acumulada nos 3 dias antecedentes ao deslizamento (P-3) e nos 15 dias anteriores a esses 3 dias (P-15).

| <b>Data</b> | <b>P-3<br/>(mm)</b> | <b>P-15<br/>(mm)</b> | <b>Deslizamento</b>  | <b>Fonte de informação<br/>Diário de Coimbra-D.C.</b> |
|-------------|---------------------|----------------------|--|---|
| 3/02/1977   | 87,9                | 120,7                | Póvoa do Pinheiro; Marco dos Pereiros; Salgueiral; S. Romão.   | D. C. pág. 1 e 10, 04/02/1978                         |
| 21/12/1989  | 108,5               | 99,5                 | Copeira; Rocha Nova; Eiras; Cernache; Condeixa; Algocheira; Rua de Aveiro; R. Lourenço A. de Azevedo.  | D.C. pág.6, 2/12/1989                                 |
| 23/12/1989  | 101,0               | 111,4                | Algocheira.  | D.C. pág.6, 9/12/1989                                 |
| 22/12/1997  | 56,2                | 78,5                 | Calhabé; Vale Maio; Bairro de St <sup>a</sup> . Apolónia; Casa Branca.   | D.C. pág.7, 3/12/1997                                 |
| 1/12/2000   | 26,4                | 83,8                 | Ameal do Campo.  | D.C. pág.4, 2/12/2000                                 |
| 2/12/2000   | 48,6                | 81,4                 | EN-1, junto ao hotel D. Luís.  | D.C. pág.4, 4/12/2000                                 |
| 3/12/2000   | 61,3                | 78,7                 | Junto à Ponte Rainha Santa Isabel.   | D.C. pág.4, 5/12/2000                                 |
| 5/12/2000   | 26,6                | 116,8                | Av. João das Regras.   | D.C. pág.5, 6/12/2000                                 |
| 26/12/2000  | 24,3                | 85,9                 | Antiga estrada de St <sup>a</sup> . Clara.   | D.C. pág.5, 7/12/2000                                 |
| 27/12/2000  | 38,0                | 81,2                 | Av. Elísio de Moura.   | D.C. pág.24, 28 /12/2000                              |
| 29/12/2000  | 52,3                | 89,9                 | EN-17, entre Poiares e Coimbra.  | D.C. pág.3, 30/12/2000                                |
| 2/01/2001   | 33,8                | 120,1                | Ip-3, nó de Souselas; descida do Botão.  | D.C. pág.6, 3/01/2001                                 |
| 4/01/2001   | 30,2                | 150,0                | Rua Miguel Torga.  | D.C. pág.4, 5/01/2001                                 |
| 5/01/2001   | 87,8                | 153,9                | EN-1, zona da Geria; Alto de S. João; Casal da Misarela; EN-110, perto de Antanhol; Brasfemes; Souselas; Vilarinho; junto ao hospital Sobral Cid.  | D.C. pág.3, 6/01/2001                                 |
| 6/01/2001   | 71,2                | 179,3                | Quebradas.   | D.C. pág.12, 8/01/2001                                |
| 24/01/2001  | 73,9                | 59,2                 | EN-17, zona da Boiça; Rua Adriano Lucas; junto ao hospital Sobral Cid.   | D.C. pág.4, 25/01/2001                                |
| 26/01/2001  | 71,3                | 80,9                 | Tavarede; Botão; Entre Trouxemil e Sargento-Mor; S. Romão; Rua da Alegria; En-17, cortada para a Lousã; Segade; Ceira; Rua do Brasil; Rib. Frades; Pereira Campo; Formoselha; Santo Varão. | D.C. pág.3, 27/01/2001                                |
| 27/01/2001  | 103,1               | 123,1                | Ceira; EN-17, entre Ceira e S.Frutuoso; EN-347, Condeixa.  | D.C. pág.3, 28/01/2001                                |
| 28/01/2001  | 100,5               | 110,8                | Quimbres.  | D.C. pág.6, 30/01/2001                                |
| 6/02/2001   | 66,2                | 184,7                | EN-1, cruz dos Carvalhais; Brasfemes; Rua José Castilho.   | D.C. pág.4, 7/02/2001                                 |
| 7/02/2001   | 77,6                | 192,9                | Fontaínhas, Cernache.  | D.C. pág.4, 8/02/2001                                 |
| 8/02/2001   | 89,3                | 195                  | Ceira.   | D.C. pág.4, 9/02/2001                                 |
| 2/03/2001   | 35,3                | 15,2                 | IP-3, zona do Botão.   | D.C. pág.4, 3/03/2001                                 |
| 4/03/2001   | 56,2                | 31,3                 | Souselas.  | D.C. pág.3, 5/03/2001                                 |
| 5/03/2001   | 41,2                | 50,5                 | Azinhaga da Ponte, Souselas.   | D.C. pág.4, 6/03/2001                                 |
| 6/03/2001   | 41,8                | 54,6                 | Bairro de St <sup>a</sup> . Apolónia.  | D.C. pág.6, 7/03/2001                                 |

calculada a precipitação acumulada nos 3 dias anteriores a cada um dos deslizamentos (P-3), assim como a precipitação acumulada nos 15 dias anteriores a esses 3 dias (P-15), apresentando-se os resultados no Quadro 3 e na Figura 8.



**Fig. 8** – Relação entre a precipitação acumulada nos 3 dias anteriores, com a precipitação acumulada nos 15 dias anteriores a esses 3 dias, para as séries de deslizamentos que cumprem um nível de ocorrência mínimo de 3 deslizamentos por cada 72 horas.

Da análise da Figura 8 podemos concluir que a quantidade de precipitação P-15 está relacionada com a quantidade P-3 necessária para provocar deslizamentos. À exceção de um ponto (02/03/01), assinalado no gráfico com um triângulo, é possível definir um limiar inferior de precipitação capaz de provocar deslizamentos com o nível de ocorrência predefinido, em que P-3 diminui com o aumento de P-15. Porém, a partir de um valor de P-15 rondando os 90mm, esta relação deixa de se verificar, bastando um valor de P-3 acima de 24mm para poderem ocorrer deslizamentos.

A semelhança entre o gráfico da Figura 8 e o apresentado no artigo de Chleborad (2000) para as mesmas condições é significativa, pois que no trabalho referido a influência de P-15 deixa de se verificar a partir de um valor que ronda os 75mm, e após esse ponto, bastam cerca de 25 mm de P-3 para ocorrerem deslizamentos. Os dados tratados por Chleborad (2000) referem-se à cidade de Seattle, Washington, nos Estados Unidos da América. Apesar da latitude semelhante e de ambas as cidades terem um clima de influência atlântica, a principal diferença climática reside na ocorrência de temperaturas negativas e queda de neve em Seattle, o que não se verifica em Coimbra.

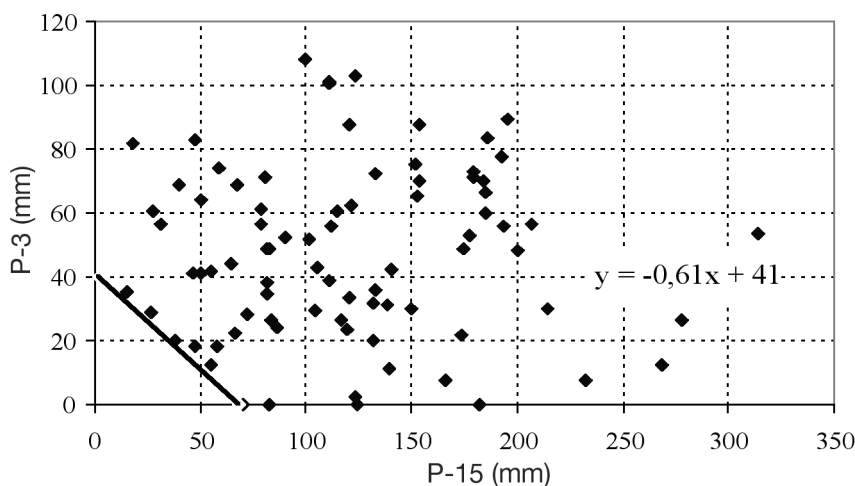
Sintetizando, pode-se dizer que para o nível de três ocorrências em três dias, abaixo do limiar inferior de precipitação não tendem a ocorrer deslizamentos ou ocorrem muito raramente, enquanto que acima do limiar inferior de precipitação é provável a sua ocorrência.

Para além da relação entre os parâmetros P-3 e P-15, calcularam-se também outras relações com significado semelhante, nomeadamente P-3 e P-10, P-1 e P-3, P-1 e P-7; P-1 e P-10, que foram projectados graficamente, mas que não são aqui apresentados. As principais conclusões retiradas são apresentadas a seguir:

- P-3 vs P-10 – Tal como no gráfico P-3 vs P-15, é possível definir um limiar inferior, com excepção para o mesmo ponto (02/03/01).

- P-1 vs P-3 ; P-1 vs P-7 ; P-1 vs P-10 – A conclusão mais significativa a retirar destes três gráficos é a de que não é essencial que haja precipitação no dia do deslizamento, desde que nos dias anteriores tenha havido precipitação intensa.

Na Figura 9 apresenta-se a projecção de todos os deslizamentos registados, independentemente de cumprirem o nível de ocorrência de 3 deslizamentos em 72 horas.



**Fig. 9** – Relação entre a precipitação acumulada dos 3 dias anteriores (P-3) com a precipitação acumulada nos 15 dias anteriores a esses 3 dias (P-15) para todos os deslizamentos registrados.

A projecção dos parâmetros (P-3 e P-15) para as 80 ocorrências que constituem a nossa base de dados, permitiu definir um limiar inferior de precipitação capaz de provocar deslizamentos, verificando-se que para valores de P-15 superiores a 70mm não é necessário ocorrer precipitação nos 3 dias anteriores ao deslizamento para que este possa ser desencadeado.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstra que a precipitação é extremamente influente no desencadear de instabilizações. Foi possível confirmar para a generalidade dos casos que a intensidade de precipitação altera as condições de estabilidade dos maciços, conduzindo à instabilização. Há no entanto que ter em conta que, para além da precipitação, outros factores que não foram aqui tratados, nomeadamente a litologia, a geomorfologia, o grau de alteração e de fracturação das rochas, a espessura dos solos superficiais, as condições de drenagem a presença e tipo de cobertura vegetal, condicionam também a ocorrência de instabilizações. Contudo, analisando o factor precipitação, conseguiram-se obter diversos parâmetros pluviométricos relevantes e excelentes indicadores da influência da precipitação sobre os deslizamentos, que passamos a sintetizar:

- a precipitação diária média entre 1864 e 2003 é de 2,65mm;
- há um período de sete meses (de Outubro a Abril) em que a precipitação diária média é superior a 2,65mm, enquanto nos restantes 5 meses a precipitação diária média é inferior a esse valor;
- em cinco dos sete meses mais chuvosos (Novembro a Março), o valor mínimo de precipitação diária média é sempre superior a 2,65mm, e o valor máximo é geralmente inferior a 5,0mm, exceptuando três dias (11 de Novembro, 8 de Dezembro e 8 de Janeiro), em que a precipitação atinge os 5,5mm;
- a precipitação acumulada anual média entre 1864 e 2003 para os anos hidrológicos (de 1 de Agosto a 31 de Julho do ano civil seguinte) é de 968mm com um máximo de 1716mm em 1935-36 e um mínimo de 468mm em 1952-53;
- os valores de precipitação acumulada ao longo dos 139 anos hidrológicos que constituem a nossa base de dados mostram uma curva de distribuição de frequências semelhante à de uma distribuição normal, ligeiramente assimétrica;

- a precipitação diária média dos períodos de chuva que antecederam instabilizações é geralmente muito superior ao valor de precipitação diária média entre 1864 e 2003 (2,65mm), com valores que variam entre 4,00mm e 7,95mm, o que constitui um desvio percentual que vai desde 150% a 300%;
- a precipitação acumulada num ano hidrológico não está directamente relacionada com o número de deslizamentos. A intensidade de precipitação em determinados períodos assume maior importância do que a precipitação acumulada anual, sendo nas alturas de maior precipitação que tendem a ocorrer as instabilizações;
- foi determinado o intervalo médio de recorrência de anos hidrológicos com valores de precipitação acima dos quais se verifica um aumento significativo do número de instabilizações. Esse intervalo é de 6,5 anos. Para um valor de precipitação acumulada de 1600mm correspondendo ao ano hidrológico de 2000-2001, o intervalo médio de recorrência é de 30 anos;
- utilizando a metodologia de Chleborad (2000), foi possível determinar uma relação entre a quantidade de precipitação ocorrida nos 3 dias imediatamente antecedentes ao deslizamento (P-3) e a precipitação ocorrida nos 15 dias anteriores a esses 3 dias (P-15), para um nível mínimo de ocorrência de 3 deslizamentos em 72 horas. Conseguiu-se determinar um limiar inferior de precipitação capaz de provocar deslizamentos com aquele nível de ocorrência. Contudo, quando P-15 é superior a 90mm, esta relação deixa de se verificar, bastando um P-3 de cerca de 24mm para que possam ocorrer deslizamentos.

## 6 – AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento do projecto de investigação POCTI/ECM/38444/2001, participado pelo FEDER, intitulado “Quantificação das causas geradoras de instabilizações de taludes na região de Coimbra”, que permitiu a concretização do presente trabalho.

Agradecem aos revisores da revista Geotecnia pelas sugestões oportunas que permitiram a melhoria de diversos aspectos do trabalho.

Expressam também reconhecimento às estagiárias Liliana Teixeira de Carvalho e Susana Alves, pela diligente participação na recolha dos dados relativos à precipitação e aos deslizamentos.

## 7 – BIBLIOGRAFIA

- Chleborad, A. (2000). Preliminary method for anticipating the occurrence of precipitation-induced landslides in Seattle, Washington. Open-File Report 00-469, U.S. Geological Survey.
- Ganho, N. (2002). O Paroxismo pluviométrico de 2000/2001 em Coimbra - Umas notas a montante dos riscos naturais e da crise. Territorium nº 9. Edições- MinervaCoimbra.
- Lemos, L. J. L.; Lourenço, L. e Gonçalves, C. (2001). Movimentos em Massa. Exemplos no Centro de Portugal. Revista enB, Escola Nacional de Bombeiros, Nº 18, pp. 16-41.
- Lourenço, L. e Lemos, L. J. L. (2001). Considerações acerca da movimentação em massa ocorrida na vertente poente da Avenida Elísio de Moura, em Coimbra. Territorium, Edições – Minerva Coimbra, Nº 8, pp. 93-109.
- Quinta Ferreira, M. e Quinta Ferreira, T. (2003). Reflexões sobre a instabilização de taludes no espaço urbano da cidade de Coimbra. Ciências da Terra, Volume Especial V, VI Congresso Nacional de Geologia, p. 87.
- Quinta Ferreira, M.; Ferrão, S. e Quinta Ferreira, T. (2003). Análise de três instabilizações ocorridas em áreas de cedência na cidade de Coimbra. VI Congresso Nacional de Geologia. Lisboa.

- Quinta Ferreira, M.; Leal Lemos, L. J. e Feiteira Dias, J. L. (2002). Caracterização preliminar do deslizamento da Avenida Elísio de Moura. Coimbra. 8º Congresso Nacional de Geotecnia, pp.601-611, Vol.2. Lisboa.
- Quinta Ferreira, M. O.; Lemos, L. J. L. e Pereira, L. F. M. (2004). Relation between rainfall and landslides in Coimbra, Portugal, in the last 139 years. Theme T37.03 (3) Assessment of, and responses to geological hazards and risks in urban areas. Proc. 32nd Int. Geological Congress, 20-28 August, Florença.