

INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDES ROCHOSOS

INFLUENCE OF RAINFALL ON STABILITY OF ROCK SLOPES

Santarém Andrade, Pedro Gomes Cabral, *Professor Auxiliar, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal, pandrade@ci.uc.pt*
Almeida Saraiva, António Luís, *Professor Associado, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal, asaraiva@dct.uc.pt*

RESUMO

No presente trabalho pretende-se avaliar a influência da precipitação na instabilidade em taludes localizados na Estrada Nacional 234 (EN 234), a partir da análise de dados pluviométricos em períodos de duração padronizada e considerando os volumes de material instabilizado. No estudo dos dados da precipitação e dos consequentes problemas de instabilidade dos taludes rochosos utilizaram-se os registos da estação udométrica de Almaça. Os taludes estudados são constituídos principalmente por filádios intercalados por metagrauvaques (Complexo Xisto-Grauváquico) e possuem uma zona superficial mais alterada que raramente apresenta uma espessura superior a 2,0 metros. Registou-se, de modo geral, uma relação estreita entre as situações de instabilidade verificadas nos taludes e os períodos de maior precipitação.

ABSTRACT

The present work analyses the influence of rainfall on stability of slopes located along the National Highway 234 (EN 234), based on the study of rainfall data in periods of standardized duration and considering the unstabilized material volumes. In order to study the rainfall data and the consequent stability problems on rock slopes, the authors used the Almaça's udometric monitoring station records. The studied slopes are mainly constituted by phylites intercalated by metagraywackes (Xisto-Grauvaquico Complex) and they present a weathered superficial zone that rarely shows a thickness greater than 2,0 meters. The occurrence of important rock slope instability volumes is generally connected with higher rainfall periods.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação condiciona a evolução da estabilidade dos taludes. A água, relacionada com a precipitação, constitui um dos factores principais da meteorização dos maciços rochosos, pode provocar o aumento das pressões neutras e originar situações de instabilidade. Diversos autores como [1], [2] e [3] analisaram situações geológicas e climáticas e procuraram definir a existência de uma relação entre a ocorrência de situações de instabilidade e a precipitação. Uma grande parte das correlações encontradas foi definida a partir dos registos de precipitação e para taludes constituídos por solos ou por material rochoso extremamente alterado. Os diferentes tipos de taludes e as condições hidrológicas, hidrogeológicas, geológicas e geomorfológicas são muito variáveis e não permitem que as correlações sejam utilizadas de modo generalizado.

Os taludes estudados foram designados por 1, 2 e 3 (figura 1) e localizam-se na Estrada Nacional nº 234 (EN 234) nas proximidades de Mortágua e de Santa Comba Dão. Os taludes foram escavados em maciços rochosos e são constituídos, essencialmente, por filádios e metagrauvaques pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo das Beiras). Os taludes analisados apresentam uma zona superficial de maior alteração que geralmente não ultrapassa uma espessura superior a 2,0 metros. As formações rochosas dos taludes revelaram um claro predomínio dos filádios em relação aos metagrauvaques e apresentaram situações de instabilidade de rotura planar, em cunha (figura 2) e de “toppling” (tombamento) (figura 3). Uma descrição mais completa sobre as características geológicas e os tipos de instabilidade existentes nos taludes pode ser obtida em [4] e [5].



Figura 1 – Localização dos taludes estudados (taludes 1, 2 e 3)



Figura 2 – Rotura em cunha no talude 1

A precipitação concentra-se nos meses de Outubro a Março [6]. Os valores da precipitação considerados neste trabalho foram obtidos no posto udométrico de Almaça que pertence ao Instituto da Água (INAG) e se enquadra na rede climatológica da bacia hidrográfica do Mondego. Assumiu-se que os dados utilizados são representativos dos valores de precipitação que ocorrem nas zonas dos taludes estudados, uma vez que o posto udométrico de Almaça é a estação mais próxima

dos taludes considerados. A precipitação nas imediações da estação udométrica de Almaça é condicionada pelo relevo das margens do Mondego, verificando-se registos superiores aos encontrados nas estações metereológicas localizadas em Coimbra. Entre 1961 e 1990, na estação udométrica de Almaça, a precipitação média anual foi de 1131,8 mm, superior à definida pelas duas estações metereológicas situadas em Coimbra, que apresentaram, para o mesmo período, valores médios de precipitação anual de 1016 e 995 mm.

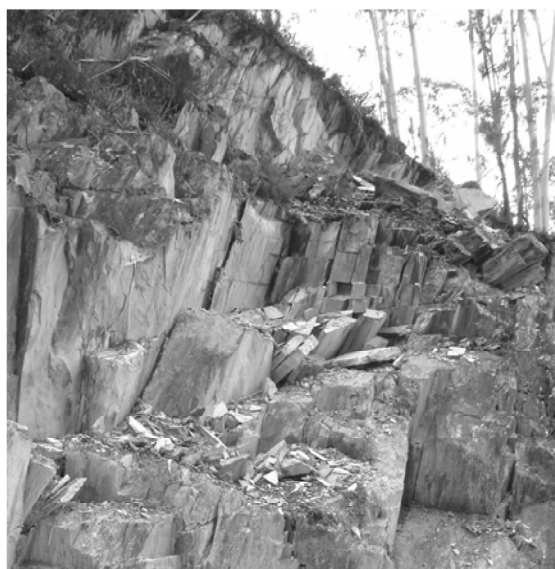


Figura 3 – Rotura por “toppling” (tombamento) no talude 2

2. EVOLUÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E DOS PROBLEMAS DE INSTABILIDADE EM TALUDES ROCHOSOS

2.1 Precipitação mensal e instabilidade nos taludes

Neste trabalho aborda-se a relação entre os registos da precipitação e os volumes de material proveniente de situações de instabilidade nos taludes rochosos.

Os taludes analisados são maioritariamente constituídos por filádios (W2-W4) intercalados por metagrauvaques e apresentam uma parte superior mais alterada (W5-W6) com uma espessura que raramente ultrapassa os 2 metros. Estas formações rochosas possuem uma permeabilidade reduzida a nula. A percolação da água processa-se, preferencialmente, ao longo dos planos de descontinuidade como as diaclases e a clivagem xistosa, sem atingir valores elevados.

No estudo efectuado considerou-se o espaço temporal entre Dezembro de 1999 a Março de 2003. No decorrer deste intervalo de tempo registou-se que a precipitação mais elevada ocorreu nos meses de Outubro a Maio.

Verificaram-se valores extremamente elevados em Novembro e Dezembro de 2000 e Janeiro de 2001 com registos de precipitações respectivamente de 279,6 mm, 315 mm e 391,3 mm (figura 4). Os valores alcançados nestes meses revelaram um incremento da precipitação de 105,9%, 102,4% e

137,2% relativamente aos valores médios mensais de precipitação definidos para um período de 37 anos para os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro.

O volume de material que resulta da instabilização nos taludes estudados foi determinado através das medições efectuadas “in situ” e foi constantemente comparado com o material já existente através de registos fotográficos previamente efectuados. O material que decorre da instabilização atinge, por vezes, a EN 234, podendo provocar danos nos automóveis que circulam na faixa mais próxima dos taludes. No conjunto dos 3 taludes estudados as situações de maior perigo ocorreram no talude 2. É de salientar que, nos anos anteriores a 2000, se verificou a necessidade de proceder à interrupção da circulação automóvel na EN234 devido à ocorrência de roturas em cunha e planares na zona do talude 1. Tal facto levou ao redimensionamento do talude com a respectiva diminuição da sua inclinação.

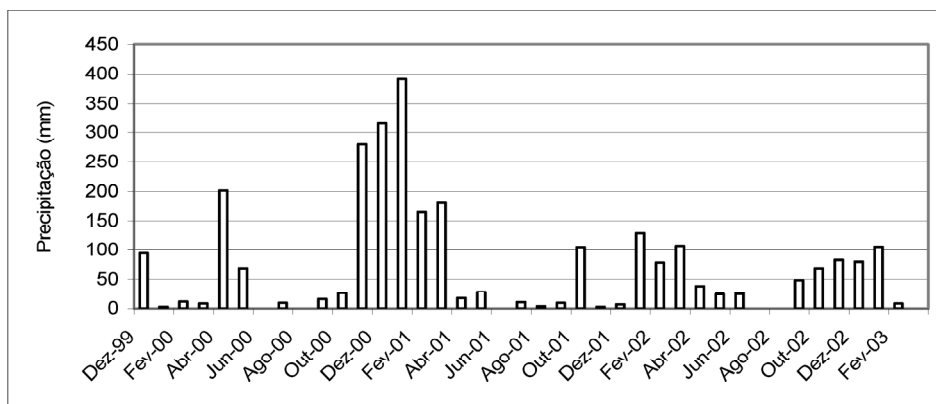


Figura 4 – Registos das precipitações mensais do posto udométrico de Almaça entre Dezembro de 1999 e Março de 2003

Da observação dos gráficos das figuras 4, 5, 6 e 7 constatou-se que as situações de instabilidade e os consequentes volumes de material instabilizado estão relacionados com o incremento da precipitação. De modo geral, nos meses de maior precipitação, verificaram-se situações de instabilidade mais frequentes e o aumento dos volumes que resultaram da sua ocorrência. Assim, entre Novembro e Março registaram-se os valores mais elevados dos volumes de material instabilizado. Os valores mais baixos de precipitação concentram-se nos meses de Junho a Agosto verificando-se, igualmente, uma diminuição significativa, ou mesmo a inexistência de material instabilizado nesses meses.

A ocorrência de situações de instabilidade está directamente relacionada com o incremento da precipitação. A água proveniente da precipitação provoca a saturação e o aumento do grau de alteração do material rochoso, o incremento da tensão neutra e a modificação das características da resistência tangencial das superfícies das discontinuidades.

No decorrer do ano hidrológico de 2000-2001, e para o talude 1, averiguou-se que entre Novembro e Fevereiro se registaram 81,1% dos volumes de material que resultaram da instabilização e a precipitação, nesse período, correspondeu a 80,5% do valor total de precipitação anual. Nos meses de Janeiro a Abril de 2000 os volumes de material instabilizado foram muito baixos ou mesmo nulos. Esta situação decorre dos trabalhos de estabilização que foram executados em 1999 e que

consistiram, essencialmente, na diminuição do pendor do talude 1, pelo que as situações de instabilidade foram reduzidas.

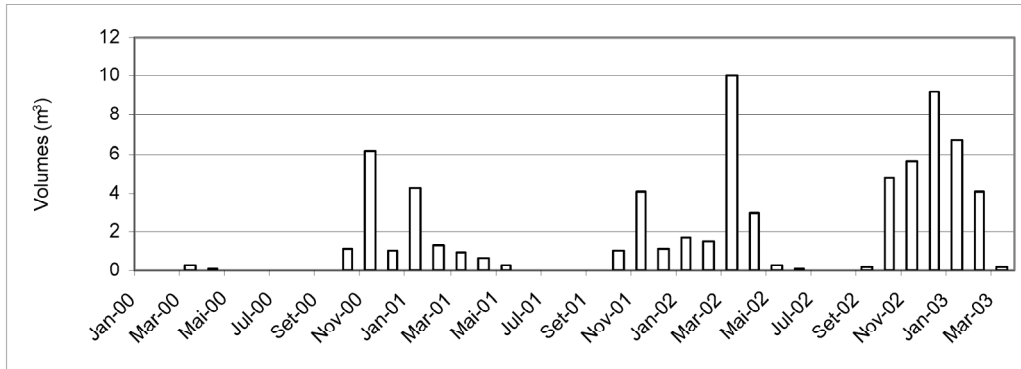


Figura 5 – Volumes de material estabilizado do talude 1 de Janeiro de 2000 a Março de 2003

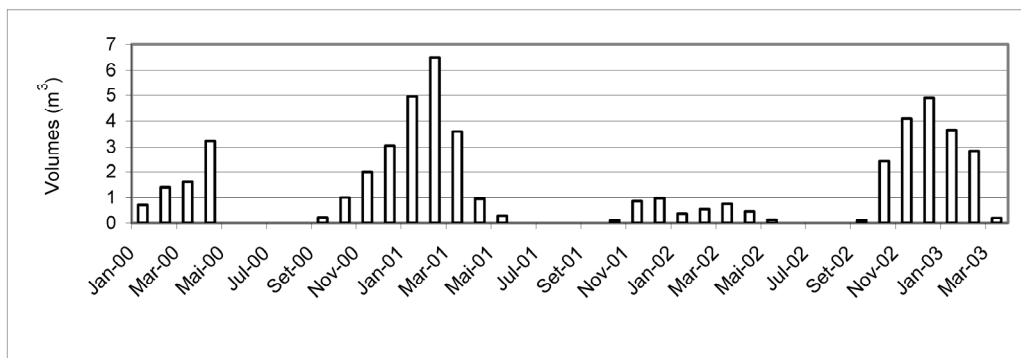


Figura 6 – Valores dos volumes relacionados com a instabilidade do talude 2 de Janeiro de 2000 a Março de 2003

A partir das figuras 4, 6 e 7 constatou-se a existência de uma relação estreita entre os registos mensais de precipitação e os volumes de material estabilizado no talude 2. Entre os meses de Novembro de 2000 e Fevereiro de 2001, que abarcam a maior parte dos valores de precipitação, registaram-se 73,9% dos valores volumétricos relacionados com situações de instabilidade que ocorreram no ano hidrológico de 2000-2001. A partir das figuras 4, 6 e 7 também é possível constatar a ocorrência de instabilidades após o mês, ou meses, com valores de maior precipitação. Na figura 7 pode observar-se a possibilidade de ocorrerem de situações de instabilidade importantes mesmo quando a precipitação apresenta valores mensais de menor expressão, quando comparados com os valores de meses anteriores, como é a situação de Fevereiro de 2001.

Registou-se, também para o talude 3, um aumento dos volumes de material estabilizado para os valores mensais de maior precipitação (figuras 4 e 8), o que está de acordo com as situações encontradas para os outros taludes estudados. Os valores percentuais dos volumes de material estabilizado foram no ano hidrológico de 2000-2001 de cerca de 69,2% para os meses de Novembro a Fevereiro.

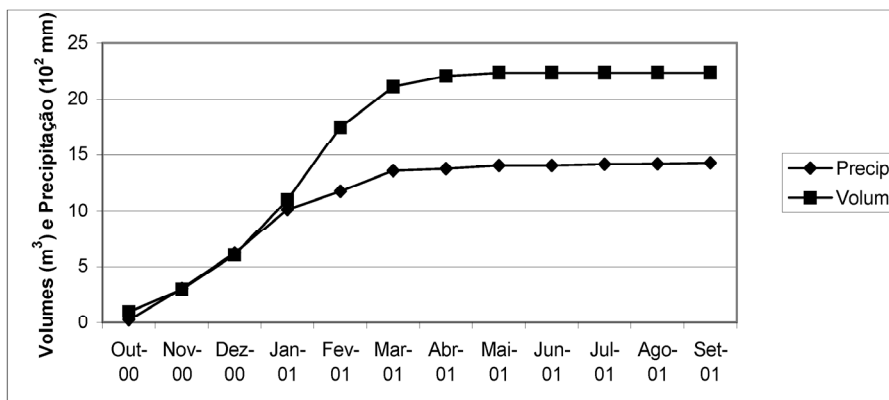


Figura 7 – Variação da precipitação acumulada e dos volumes acumulados de material instabilizado, no talude 2, de Outubro de 2000 a Setembro de 2001

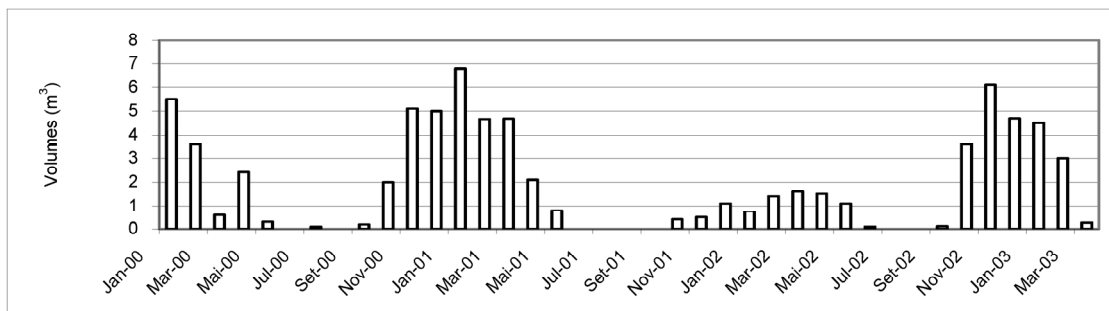


Figura 8 – Valores dos volumes relacionados com a instabilidade do talude 3 de Janeiro de 2000 a Março de 2003

Para além da correspondência entre as situações de instabilidade e a ocorrência de períodos de precipitação elevada, pode igualmente verificar-se a continuação de instabilidade, em meses que apresentaram uma redução dos registos das precipitações, como pode ser observado nas figuras 8 e 9. Por vezes os volumes de material instabilizado assumem valores mais elevados após os meses de maior precipitação, o que se verificou nos meses de Janeiro de 2000, Fevereiro de 2000 e Fevereiro de 2001. Para os meses de Abril e Maio de 2002 podemos constatar (figura 9) uma diminuição nos registos de precipitação, enquanto que os valores de material instabilizado continuam a ocorrer a um ritmo semelhante ao registado nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2002. No período de tempo considerado de Dezembro de 1999 a Março de 2003, e para os 3 taludes estudados, definiu-se que para valores mensais de precipitação superiores a 10 mm se registaram valores percentuais de 85% a 86% do total dos volumes instabilizados. Quando se consideraram os meses com valores de precipitação superiores a 30 mm, obtiveram-se percentagens de 72% a 83% do total dos volumes de material instabilizado.

Nos três taludes analisados a maior parte do volume do material instabilizado é constituído por material rochoso. No talude 1 cerca de 87,7% do material que resulta de movimentos de instabilidade corresponde a material rochoso, enquanto que 12,3% pode ser classificado como solo. Para o talude 2 há 97,6% de material rochoso presente nos volumes de material instabilizado e 2,4% de solo. No talude 3 há cerca de 85,5% de material rochoso e 14,5% de solo.

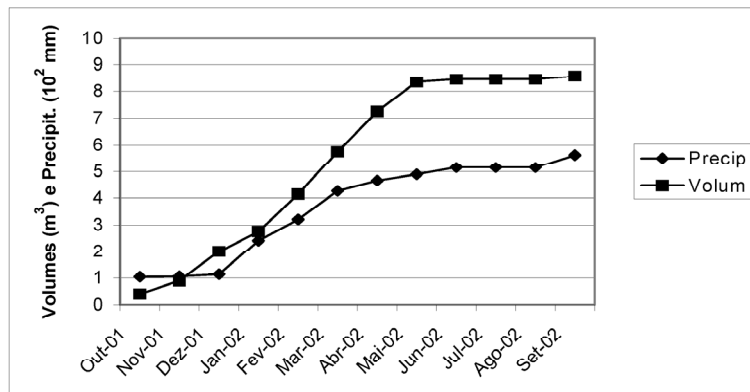


Figura 9 – Variação da precipitação acumulada e dos volumes acumulados de material instabilizado no talude 3 de Outubro de 2001 a Setembro de 2002

2.2 Precipitação quinzenal e instabilidade nos taludes

A análise mais pormenorizada dos períodos de precipitação mais elevada em que ocorreram volumes significativos de material instabilizado concentrou-se nos períodos: 1 de Novembro de 2000 a 15 de Abril de 2001 e 15 de Outubro de 2002 a 31 de Março de 2003.

No período de tempo considerado de 1 de Novembro de 2000 a 15 de Abril de 2001 (figura 10) registaram-se situações de instabilidade no talude 2 de um modo continuado e associado à ocorrência da precipitação: os volumes instabilizados tiveram uma maior expressão em Janeiro e Fevereiro de 2001 e entre 15 a 31 de Março de 2001.

Os volumes mais elevados de instabilidade no talude 2 podem verificar-se em períodos de tempo em que não ocorreram as precipitações mais elevadas (figura 10). É de assinalar, no entanto, que os maiores valores de material instabilizado, entre 1 e 14 de Fevereiro de 2001, ocorreram após o período de precipitação máxima que foi registado de 15 a 31 de Janeiro de 2001.

No período entre 1 de Novembro de 2000 a 15 de Abril de 2001, e para o talude 3, registou-se uma presença quase contínua de situações de instabilidade (figura 11). É de destacar a ocorrência de situações de instabilidade com volumes mais elevados entre 1 de Janeiro e 14 de Fevereiro de 2001. Nesses períodos os valores de precipitação foram consideráveis, designadamente de 15 a 31 de Janeiro em que os valores totais de precipitação foram superiores a 200 mm.

Os valores da precipitação do posto udométrico de Almaça no período de tempo entre 15 de Outubro de 2002 a 31 de Março de 2003 (figuras 12 e 13) foram nitidamente inferiores aos definidos para o mesmo período de tempo no ano hidrológico de 2000-2001. Os volumes de material instabilizado no talude 2 estão relacionados, de modo geral, com os valores da precipitação, como se pode constatar de 15 de Novembro de 2002 a 31 de Janeiro de 2003 e em particular nos períodos de 15 a 31 de Dezembro de 2002 e de 1 a 15 de Janeiro de 2003 (figura 12). No entanto, é de assinalar que os registos de precipitação entre 1 a 15 de Novembro de 2002 e de 14 a 28 de Fevereiro de 2003 não são particularmente elevados (inferiores a 20 mm), mas correspondem a períodos com volumes de instabilidade elevados. Estes últimos só são suplantados pelos registos das instabilizações de 1 a 15 de Janeiro de 2003.

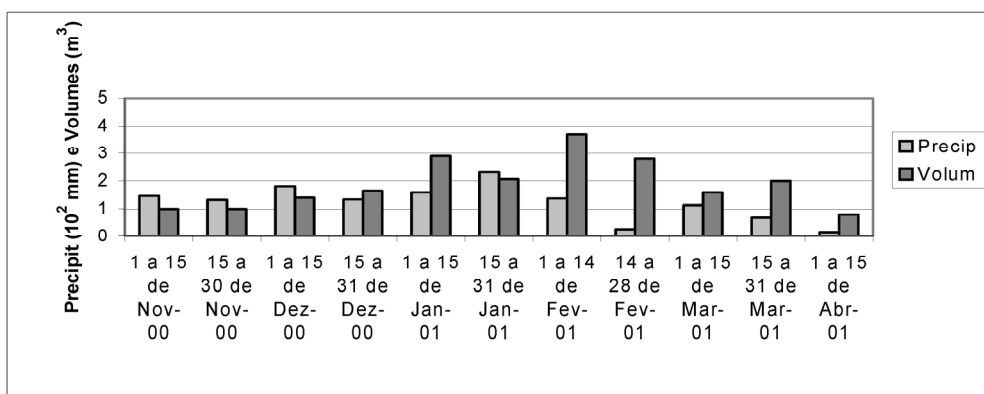


Figura 10 – Valores de precipitação registados no posto udométrico de Almaça e variação dos valores dos volumes de instabilização do talude 2 no período de 1 de Novembro de 2000 a 15 de Abril de 2001

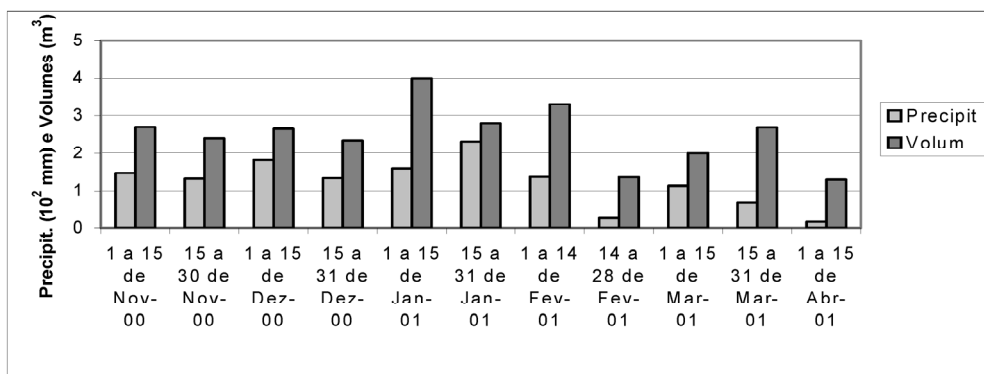


Figura 11 – Valores de precipitação registados no posto udométrico de Almaça e variação dos valores dos volumes de instabilização do talude 3 no período de 1 de Novembro de 2000 a 15 de Abril de 2001

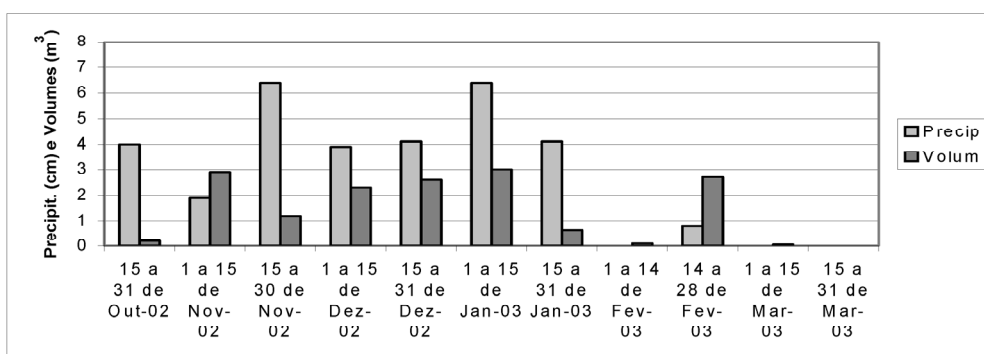


Figura 12 – Valores de precipitação registados no posto udométrico de Almaça e variação dos valores dos volumes de instabilização do talude 2 no período de 15 de Outubro de 2002 a 31 de Março de 2003

No talude 3 constatou-se, de modo geral, um incremento de situações de instabilidade com o aumento dos valores da precipitação, como se pode comprovar pelos valores mais elevados de instabilidade que ocorreram no período de pluviosidade intensa de 15 a 30 de Novembro de 2002 (figura 13). Para o talude 3 também se verificou a possibilidade de instabilidades importantes em períodos de precipitação menos intensa como de 14 a 28 de Fevereiro de 2003, em que se definiram volumes resultantes da instabilização semelhantes aos encontrados de 15 a 31 de Dezembro de 2002. Neste último período de tempo registaram-se valores de precipitação claramente superiores aos de 14 a 28 de Fevereiro de 2003. Os períodos de maior actividade da instabilidade dos taludes ocorreram nos meses de maior pluviosidade (Outubro a Abril) e surgiram muito frequentemente não só nos períodos de maior precipitação mas também após a ocorrência destes.

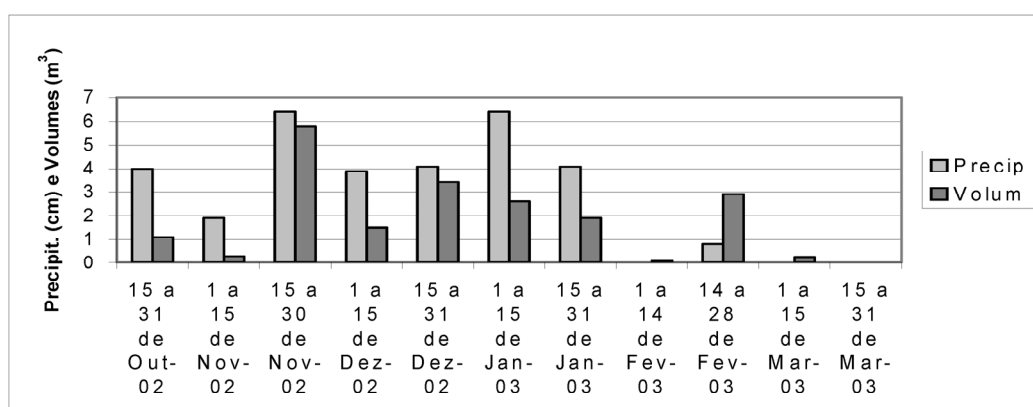


Figura 13 – Valores de precipitação registados no posto udométrico de Almaça e variação dos valores dos volumes de instabilização do talude 3 no período de 15 de Outubro de 2002 a 31 de Março de 2003

O aparecimento de uma associação estreita entre a precipitação e o surgimento de instabilidades está sem dúvida relacionado com a presença da água proveniente da pluviosidade e o seu efeito na saturação do material rochoso, no aumento das pressões neutras e na variação das características de resistência tangencial das superfícies de descontinuidades. O surgimento de situações de instabilidade com volumes importantes em períodos de precipitação menos elevada pode estar relacionada com a manutenção de teores de humidade elevados nos materiais rochosos próximos da superfície e com uma redução, não muito expressiva, das pressões neutras. A existência de novos períodos de precipitação pode provocar o incremento, e o aparecimento, de novas situações de instabilidade.

Nos taludes 2 e 3 registaram-se semelhanças na distribuição e nos volumes dos materiais instabilizados nos anos hidrológicos de 2000-2001 e de 2002-2003, enquanto para 2001-2002 se verificou um comportamento diferente do evidenciado nos outros anos hidrológicos estudados. Esta diferença de comportamento pode estar relacionada com a distribuição da precipitação ao longo do ano hidrológico ou com o possível comportamento cíclico da ocorrência de instabilidade nos taludes rochosos analisados; após um ano hidrológico em que ocorreram situações de instabilidade importantes, associadas a níveis de precipitação consideráveis, segue-se um ano hidrológico em que existe uma redução significativa na ocorrência dos fenómenos de instabilidade. Registou-se no ano seguinte um aumento do volume de material instabilizado.

3. CONCLUSÕES

Uma grande parte dos taludes rochosos estudados que são constituídos por filádios com intercalações de metagrauvaques apresentam-se saturados na sua zona superficial após um período prolongado e contínuo de precipitação, o que se reflectiu na maior parte das ocorrências de instabilidade. Deve igualmente destacar-se a infiltração da água pelas superfícies de descontinuidades presentes – diaclases, planos de falha e clivagem xistosa – provocando o aumento das pressões neutras e a modificação dos valores de atrito dos minerais presentes ao longo das superfícies das descontinuidades.

De modo a analisar a influência da precipitação nas situações de instabilidade, consideraram-se períodos mensais de precipitação e estudaram-se, igualmente, de modo mais pormenorizado, os registos da precipitação em períodos temporais de cerca 15 dias e as consequentes situações de instabilidade. Do estudo efectuado constatou-se que o aumento das ocorrências de instabilidade está associado à precipitação registada num ano hidrológico. Entre Dezembro de 1999 a Março de 2003 determinaram-se, para o conjunto dos taludes estudados, percentagens de 85% a 86% do total do volume instabilizado quando os registos mensais de precipitação são superiores a 10 mm. Para o mesmo período de tempo verificaram-se valores percentuais de 72% a 83% de volume relacionado com situações de instabilidade para precipitações mensais superiores a 30 mm. É de assinalar, igualmente, a possibilidade de surgirem situações significativas de instabilidade, nos meses de Outubro a Abril, em períodos de pluviosidade menos significativa e após a ocorrência de precipitações anteriores elevadas.

4. REFERÊNCIAS

- [1] Lumb, P., Slope failures in Hong Kong, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 8 (1975) pp. 31 - 65.
- [2] Brand, E.W; Premchitt, J.; Phillipson, H.B., Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong, *Proc. 4th International Symposium of Landslides*, Toronto, Canada, vol. 1 (1984) pp. 377 - 384.
- [3] Chowdhury, R.; Flentje, P., Uncertainties in rainfall-induced landslide hazards, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 35 (2002) pp. 61 - 70.
- [4] Santarém Andrade, P.G.C.; Saraiva, A.L.A., Geotechnical characteristics in schist slopes, *Proc. 8th International Congress IAEG*, Vancouver, Canada (1998) pp. 3155 - 3160.
- [5] Santarém Andrade, P.G.C.; Saraiva, A.L.A., Caracterização da rotura de tombamento em taludes de escavação, *VIII Congresso Nacional de Geotecnia*, Laboratório Nacional de Geotecnia, Lisboa, vol. 3 (2002) pp. 1399 - 1408.
- [6] Rocha, J. S., Reflexões sobre a regularização fluvial no rio Mondego, *Sociedade e Território*, 27 (1998) pp. 8 - 20.