

USO DE CADEIAS DE MARKOV NA PREVISÃO DA DEGRADAÇÃO DE TALUDES

USE OF MARKOV CHAIN IN SLOPE DEGRADATION PREDICTION

Tinoco, Joaquim; *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*, jabinoco@civil.uminho.pt
 Sanches, Sara; *Ascendi, Porto, Portugal*, ssanches@ascendi.pt
 Miranda, Tiago; *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*, tmiranda@civil.uminho.pt
 Neves, Adriana; *Ascendi, Porto, Portugal*, aneves@ascendi.pt
 Pinheiro, Marisa; *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*, marisamotapinheiro@gmail.com
 Ferreira, Alexandra; *Ascendi, Porto, Portugal*, aferreira@ascendi.pt
 Gomes Correia, António; *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*, agc@civil.uminho.pt

1 - ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

Portugal dispõe atualmente de uma vasta rede de infraestruturas viárias. Estas infraestruturas, compostas por um conjunto de elementos que se podem classificar em obras de arte, pavimentos, muros, taludes e equipamentos eletrónicos, são necessárias para a garantia de boas condições de mobilidade. A fim de assegurar condições de segurança e circulação na rede de infraestruturas viárias existente, é importante dispor de um conjunto de ferramentas que auxiliem as estratégias de manutenção dos diferentes elementos que compõem a rede. Embora para alguns destes elementos já existam atualmente estratégias de manutenção e conservação estabelecidas com base em modelos de degradação dos elementos, para outros, em particular para o caso dos taludes, pouco se encontra definido.

No sentido de colmatar esta lacuna, neste trabalho é apresentada uma proposta teórica para a previsão da degradação de taludes de escavação em rocha através da aplicação de cadeias de Markov, adotando uma abordagem em tempo contínuo. O modelo proposto parte de um índice de qualidade que é atribuído ao talude em fase de exploração (Pinheiro et al., 2014), o qual varia entre 1 e 5, e prevê a sua evolução ao longo do tempo. O modelo proposto tem a particularidade de prever o estado de condição futuro tendo por base apenas o estado de condição atual, o que representa uma mais-valia face à ausência de historial sobre o processo de degradação de taludes. De realçar ainda o carácter inovador do modelo proposto. De facto, dentro do conhecimento dos autores, atualmente não se dispõe de nenhuma ferramenta semelhante capaz de estimar o estado de condição de um dado talude ao longo do tempo durante a fase de exploração do mesmo e suportado num índice de qualidade quantificado tendo por base informação simples e de fácil obtenção.

2 - ANÁLISE E DISCUÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Face à ausência de historial sobre o estado de degradação de taludes em rocha ao longo do tempo, o modelo proposto foi desenvolvido tendo por base uma base de dados sintética, a qual procurou representar o mais fielmente possível o processo de degradação de uma rede de taludes de escavação em rocha. De realçar que esta tarefa teve por base toda a experiência da concessionária associada ao projeto SustIMS no que diz respeito a trabalhos de manutenção e gestão da sua rede de taludes.

Como referido acima, para o modelo de degradação de taludes de escavação em rocha foi adotada uma abordagem markoviana em tempo contínuo, considerando apenas o estado atual do talude (i.e., modelo sem “memória”). Adicionalmente, e tendo em conta as características do tipo de talude em estudo, ou seja, a existência de tempos de permanência bastante superiores em relação à frequência de inspeções, foi definido que num determinado momento, um dado talude apenas poderá transitar para o estado imediatamente seguinte ou manter o mesmo estado. Após calibrar o modelo, obteve-se a matriz de intensidade Q apresentada na eq.(1), a qual foi definida utilizando o método de Jackson (Jackson, 2011).

$$Q = \begin{bmatrix} -0.0751 & 0.0751 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0997 & 0.0997 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1480 & 0.1480 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.1679 & 0.1679 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [1]$$

No sentido de ilustrar graficamente o desempenho do modelo obtido, o gráfico à esquerda da Figura 1 apresenta a relação entre os valores experimentais do estado de condição e respetivos valores previstos pelo modelo para cada um dos 5 estados de condição. De notar que em termos médios o modelo prevê

com uma precisão bastante elevada taludes em cada um dos diferentes estados, observando-se contudo alguma dispersão para os estados E_2 a E_5 .

A título exemplificativo, o modelo proposto foi aplicado a um conjunto de 60 novos taludes sintéticos. O gráfico do lado direito da Figura 1 ilustra a evolução média do estado de condição da rede composta por 60 taludes e respetivo estado de condição mínimo e máximo ao longo de 100 anos. Da sua análise podemos verificar que no presente momento (01 de Janeiro de 2014) o estado de condição médio da rede de taludes é ligeiramente superior a E_3 , e que ao fim de cerca de 80 anos quase todos os taludes estarão num estado de condição E_5 . No mesmo gráfico é apresentado a traço interrompido a curva de degradação de um talude escolhido aleatoriamente (talude exemplo), observando-se que ao fim de 10 anos o seu novo estado de condição será 3.56.

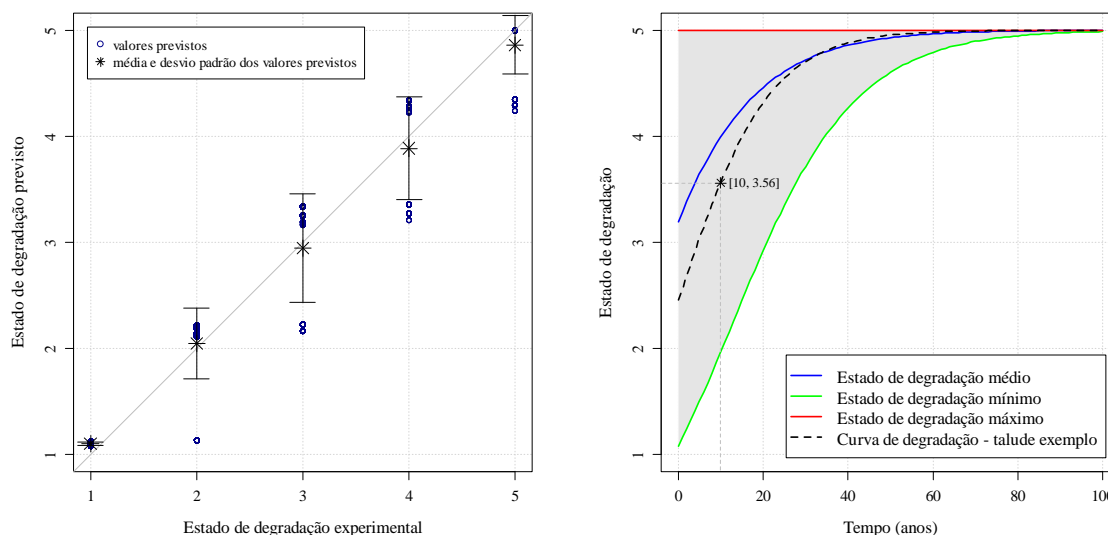


Figura 1 – Desempenho do modelo proposto quando aplicado ao conjunto de taludes utilizados na definição do mesmo (à esquerda), e evolução média do estado de condição de uma nova rede de 60 taludes (à direita)

3 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos, os quais representam a primeira iteração no desenvolvimento de um modelo de previsão do estado de condição de taludes de escavação em rocha durante a sua fase de exploração, mostram que será possível modelar o processo de degradação deste tipo de taludes com relativa fiabilidade utilizando uma abordagem Markoviana. Embora o modelo proposto tenha sido capaz de identificar com elevada precisão os tempos de permanência em cada estado de condição e ter manifestado uma excelente capacidade de previsão da degradação do talude ao longo do tempo, deve contudo realçar-se que o mesmo foi desenvolvido com base numa base de dados sintética, o que eventualmente poderá de certa forma condicionar o desempenho do mesmo.

Como trabalhos futuros pretende-se desenvolver modelos de previsão da degradação para outro tipo de taludes, nomeadamente taludes de escavação em solo e taludes em aterro e introdução do efeito de ações de conservação e manutenção. Será também alvo de desenvolvimento futuro a atualização do modelo proposto com dados reais, logo que os mesmos fiquem disponíveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à AdI – Innovation Agency, pelo apoio financeiro concedido através do programa POFC, para o projeto R&D SustIMS – Sustainable Infrastructure Management Systems (FCOMP-01-0202-FEDER-023113).

REFERÊNCIAS

- Jackson, C.H. (2011). Multi-State Models for Panel Data: The msm Package for R. *Journal of Statistical Software*, Vol. 38(8): 1-28.
- Pinheiro, M., Sanches, S., Miranda, T., Neves, A., Tinoco, J., Ferreira, A. e Gomes Correia, A. (2014). Sistema de avaliação de qualidade de taludes rochosos em fase de exploração. *14º Congresso Nacional de Geotecnia (14CNG)*, Covilhã, Portugal.