

# CORRESPONDÊNCIA

## SEGURANÇA E COEFICIENTE DE SEGURANÇA EM GEOTÉCNIA

(ÚLPIO NASCIMENTO e CASTEL BRANCO FALCÃO, Geotecnia n.º 1, 1971)

*Comentários por F. F. GUEDES SOARES (Especialista do LNEC)*

1 – Em todo o artigo em referência não se viu qualquer aplicação daquilo que é exposto nas págs. 33, 34 e 35 sobre a «Avaliação da segurança de uma obra» e por isso, desconhece-se a razão porque tal assunto foi transcrito das págs. 35, 41, 42 e 44 do trabalho de F. Borges e M. Castanheta de 1971, indicado, aliás, na Bibliografia do citado artigo.

2 – A referência – Ferry Borges, 1967 – não consta da Bibliografia dada no final do trabalho, não se sabendo de que publicação se trata.

3 – Parece haver uma certa ambiguidade ao pretender-se apontar as razões que levam à escolha de um dado coeficiente de segurança (ver últimas linhas da pág. 34, primeira linha da pág. 36 e último parágrafo da pág. 36). De facto, tanto se evocam razões de origem teórica como se diz que «...A razão porque se tomam muitas vezes coeficientes de tipo diferente é evidentemente de ordem prática...».

4 – Ainda na pág. 36, fala-se na grandeza  $E_s$ , eficiência de segurança, mas não se define tal grandeza, pois não se caracterizam os valores  $R^*$  e  $S^*$ , conforme, aliás, aconselha a definição do coeficiente de segurança de projecto transcrita do trabalho de F. Borges e M. Castanheta já citado.

5 – Não se mostra a razão especial porque se obriga  $E_s$  a ser igual à unidade. Talvez porque ela não existe e então este valor é apenas um, entre muitos, que a grandeza  $E_s$  pode tomar, obedecendo apenas à razão de ser um valor adequado ao caso ou casos em estudo, os quais também não são caracterizados no artigo mas que evidentemente poderão ocorrer «algumas vezes».

6 – É redundante o que se escreveu nas primeiras linhas da pág. 37 sobre a comparação dos coeficientes de segurança.

7 – Porque se referiu no artigo comentado, duas publicações – Nascimento, 1962 e 1965 – e porque se pretendia levantar a indeterminação referida anteriormente em 4, consultou-se o mais recente destes trabalhos que está integrado num «Curso de Consolidação de Taludes».

Com referência ao exemplo prático que é dado na citada publicação, o qual constitui um acrescento ao que se expõe no artigo da «Geotecnia», calcula-se o coeficiente de segurança

$$F = \frac{R}{A}$$

a partir da expressão

$$F = 1 + \delta R + \delta A$$

obtendo-se

$$F = 1 + 0,13 + 0,03 = 1,16$$

Tendo em conta o que se diz no referido curso: «...A um dado coeficiente de segurança corresponde pois uma certa probabilidade de ocorrer a ruptura, probabilidade essa dada pela frequência  $f$  correspondente ao ponto  $P$  da Fig. 10.1.», pode-se dizer que 0,13 e 0,03 são os desvios relativos das grandezas  $R$  e  $A$ , a que corresponde a ordenada comum do ponto de intersecção das duas curvas de distribuição.

No entanto, a indeterminação mantém-se, pois não se diz o valor dessa ordenada.

Deve dizer-se que a definição de probabilidade de ruptura atrás transcrita não coincide com a que se deu agora no artigo da «Geotecnia», estranhando-se assim que a citada referência tenha sido dada, quando não existe acordo entre as duas publicações.

8 – Não se compreende a doutrina exposta no último parágrafo da questão, «Os modelos usados em Geotecnia e os coeficientes de segurança a que conduzem».

Efectivamente, são sempre os modelos usados nos cálculos que condicionam muito o coeficiente de segurança a utilizar, e não só dentro das obras geotécnicas como no campo de todas as obras. Mas não se vê que, por isso, não tenha sentido o emprego generalizado do método estatístico; é evidente que este método, como qualquer outro, tem as suas regras de aplicação e será sempre desaconselhável aplicá-lo quando se desobedeça a tais regras.

Reconhece-se serem vagos os termos em que se refere a opinião de não ter sentido, por agora, o emprego generalizado do método estatístico e concorda-se totalmente com os autores quando dizem «tais estudos permitirão obter uma melhor compreensão dos problemas em jogo e, até, segundo as circunstâncias, fazer pequenas correcções aos coeficientes normalmente usados».

Se se recomenda fazer experimentação no campo da Geotecnia, como consegui-lo, actualmente, sem a aplicação do método estatístico?

9 – Ao tratar-se do «Efeito na segurança da dispersão das características do terreno e do tamanho da superfície de ruptura», parece não ser necessário dizer «suficientemente extenso» quando se afirma que «...Se o maciço for constituído por um só terreno... obter-se-iam através de uma amostragem completa de todas as fatias as distribuições das propriedades desse material».

Efectivamente, como a ruína dos maciços se dá para uma resistência que varia com o tamanho (ver expressão (9)), aos maciços de diferentes tamanhos hão-de corresponder outras tantas distribuições das características, diferindo umas das outras, pelo menos, no parâmetro de posição. Não há pois que exigir que o maciço seja suficientemente extenso.

Deve referir-se que aqui se esboça já a abstracção que é feita mais adiante e com a qual se discorda inteiramente. É a que supõe as três características do solo  $\gamma$ ,  $c$  e  $\varphi$ , reunidas em outras tantas populações, admitindo depois que esses valores se podem combinar aleatoriamente, dando origem a distribuições de RR e SS (ver do quarto parágrafo da pág. 39 em diante). Pensa-se que tal procedimento só teria cabimento, se se tivesse provado uma independência entre o tipo do maciço e a distribuição das características. Ora a situação que se pretende mostrar é exactamente a da existência dessa dependência, conforme se diz por exemplo, no último período da pág. 38: «...implicando um número elevado de amostragens em diversas obras do tipo da que se pretende estudar...»

10 – Na pág. 38, chama-se a atenção para a «...necessidade básica de para um

determinado problema geotécnico conhecer as distribuições daquilo a que se pode chamar um único terreno...».

Esta necessidade básica não é própria dos problemas de Geotécnica mas é geral. Há sempre que conhecer a reprodutibilidade da determinação, quando efectuada sobre o objecto, considerado o mesmo, para os fins reais a que se destina. Como classificar duas determinações de iguais ou diferentes, ou melhor, como pertencentes a uma mesma população ou a duas populações diferentes?

A propósito e apesar da opinião dos autores contra o emprego generalizado do método estatístico, deve dizer-se que, logo aqui, deverá intervir este método. Repete-se que não se percebe como conceber experimentação sem conhecimento do método estatístico.

11 – Ao tratar-se do «Efeito na segurança da dispersão das características do terreno e do tamanho da superfície de ruptura», apresentam-se os resultados obtidos no cálculo dos coeficientes de variação das grandezas  $R$  e  $S$ , utilizando para isso os resultados de ensaios obtidos em 1000 maciços.

Ter-se agrupado os valores de  $\gamma$ ,  $c$  e  $\varphi$  aleatoriamente, ter-se considerado seguidamente as médias destas grandezas nas hipóteses indicadas no quadro apresentado, ter-se calculado os  $RR$  e os  $SS$  nessas hipóteses e finalmente, ter-se calculado os coeficientes de variação destas grandezas, parece ter sido o método seguido para estudar o efeito atrás citado.

Ora a via experimental justifica-se nos casos em que as leis que ligam as grandezas em causa ou são desconhecidas ou carecem de verificação.

Pensa-se que não estão nessas condições nem a lei de propagação dos erros nem a lei de variação do desvio padrão ou do coeficiente de variação do valor médio de uma grandeza com o desvio padrão ou o coeficiente de variação do valor individual dessa grandeza.

Dentro ainda deste assunto, parece que ou através do número de amostras retiradas do maciço ou através do número de fatias definidoras do tamanho do maciço, o que se varia é o número de determinações, variando assim a confiança com que é estimado um  $R$  ou um  $S$ .

Aumentando esta, é óbvio que o coeficiente de segurança diminuirá se se mantiver a probabilidade de ruína, mas pensa-se que tal circunstância não deverá ser ligada ao tamanho do maciço por este apresentar uma maior possibilidade física de admitir maior número de amostras.

Efectivamente, julga-se que na prática, os maciços de pequenas dimensões

são ainda suficientemente grandes para possibilitarem o ensaio de um grande número de amostras.

12 – Não parece que haja grande experiência da aplicação do método estatístico a problemas de Geotecnia. No entanto, adoptou-se, ao tratar-se da dispersão dos RR e SS, o coeficiente de variação e não o desvio padrão. Está provado que assim deve ser? Considerando o coeficiente de variação, não haverá uma influência do valor da média tal que a diminuição daquele, por exemplo, seja mais devida ao aumento desta, do que a uma variação própria da dispersão.

Não se deixa de referir também que na pág. 41 ao apresentar o peso específico, a coesão e o ângulo de atrito se indicaram a média e o desvio padrão, este supõe-se, em vez do coeficiente de variação, o que contrasta com o procedimento anterior.

13 – Finalmente, uma nota sobre as Conclusões. Discorda-se que «...do exposto...», como lá se diz, se possa concluir o que vem expresso nas alíneas a), c), d) e e). Nestas alíneas fazem-se afirmações que são praticamente repetições do que se escrevera anteriormente sobre o mesmo assunto. Compare-se, por exemplo, a conclusão a) com o que se disse no último e primeiro parágrafos das págs. 36 e 37, respectivamente.

Quanto à conclusão da alínea b) ela resulta do exposto mas não parece que esteja correcta. Admitindo mesmo como certa a abstracção que foi referida em 9 a diminuição da dispersão do valor médio é obtida pelo aumento do número de amostras que não está necessariamente ligado ao tamanho do maciço conforme já se referiu em 11.

Quanto ao segundo período desta conclusão não se deverá dizer «...Acima dum certo tamanho...». Pensa-se que acima e abaixo de um certo tamanho a resistência do maciço será a correspondente à sua resistência média, podendo acrescentar-se, com maior ou menor confiança, de acordo com o número de amostras sobre que se determina a média. E «...a resistência ao longo de uma superfície» não «poderá ser conhecida com a precisão com que se conhece o valor médio das propriedades do maciço» mas sim com a dada pela lei de propagação dos erros, pois os RR são função de  $\gamma$ ,  $c$  e  $\varphi$  e os SS função de  $\gamma$ .

### *Resposta dos autores*

Os autores agradecem a atenção dispensada ao seu trabalho por F. F. Guedes Soares, respondem seguidamente a alguns pontos do seu comentário que julgam com mais interesse para publicação na «Geotecnia» e põem-se à sua disposição para trocas de impressões verbais sobre os restantes pontos.

Efectivamente fez-se a referência (Ferry Borges, 1967) no texto mas não se fez na lista bibliográfica final. Foi lapso do texto que agora se corrige: (Ferry Borges and Castanheta, 1971).

A definição de eficiência de segurança, a que se referem os pontos 4 e 5 do comentário, bem como as considerações em que essa definição se insere encontram-se no trabalho citado (Nascimento, 1952) que pode ser consultado não apenas no Curso de Mecânica dos Solos da Ordem dos Engenheiros, como consta da lista bibliográfica, mas também na Publicação N.º 72 de 1955 do LNEC, o que, por não constar dessa lista, agora se refere.

No trabalho citado (Nascimento, 1965) há efectivamente uma incorrecção na passagem que F. F. Guedes Soares transcreveu no ponto 7 do seu comentário; mas essa incorrecção não existe no trabalho publicado na «Geotecnia».

O método seguido não foi pròpriamente o que se depreende do segundo parágrafo do ponto 11 do comentário mas sim o que consta do penúltimo parágrafo da pág. 39 do trabalho comentado.

Concorda-se que à frase transcrita no último período do ponto 13 do comentário pode dar-se uma interpretação incorrecta. Ficaria melhor da seguinte maneira: A precisão com que se conhece a resistência ao longo duma superfície será dependente da precisão com se conhece o valor médio das propriedades do maciço.