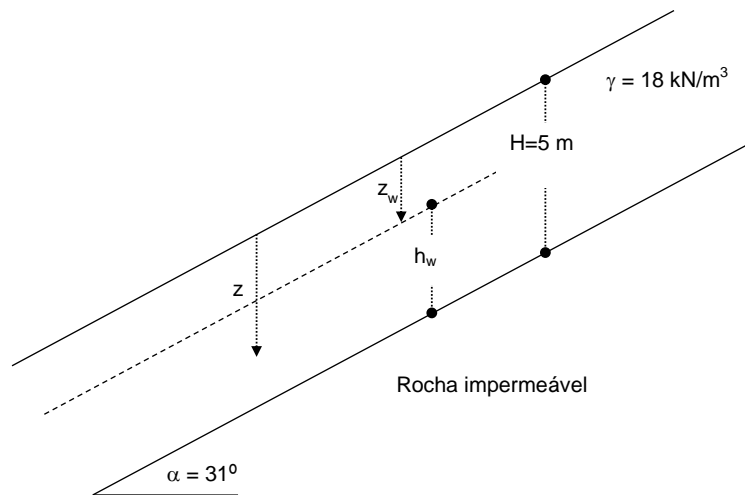


Exercício 1

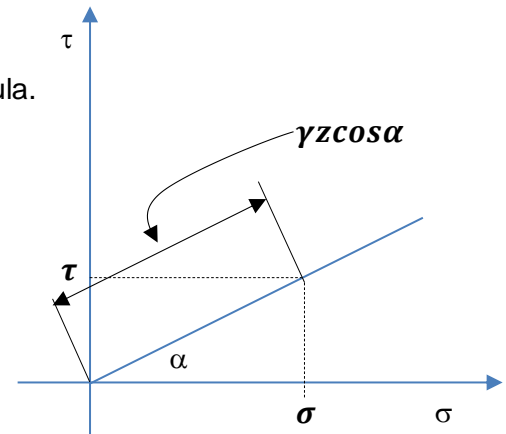


a) R: ver Massad, 2003, figura ao lado, ou slides da aula.

- $\sigma' = \gamma z \cos^2 \alpha - u$
- $\tau = \gamma z \operatorname{sen} \alpha \operatorname{coss} \alpha$

b) R: ver Massad, 2003 ou slides da aula.

- $F = \frac{c' + (\gamma z \cos^2 \alpha - u) \tan \varphi'}{\gamma z \operatorname{sen} \alpha \operatorname{coss} \alpha}$



c) R: para situações de chuva intensa, se o substrato rochoso puder ser considerado drenante (ao contrário do indicado na figura acima), o fluxo será vertical e, portanto, as equipotenciais serão horizontais (ver Massad, 2003). Verifique, pelo procedimento usual, que resultam pressões neutras nulas ($u=0$) em qualquer ponto da camada.

O fator de segurança mínimo ocorre para $z = H = 5$ m.
Substituindo valores, $F = 1,80$.

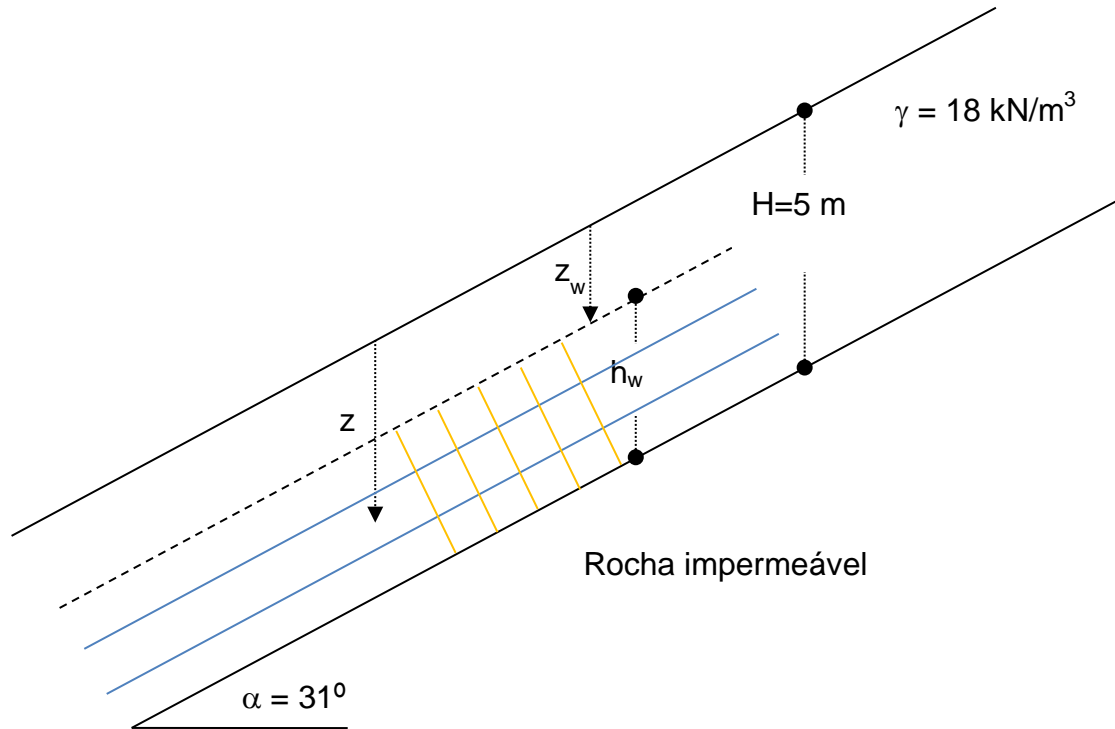
d) R: com $u=0$ e $c=0$, tem-se que $F = \frac{tg \varphi}{tg \alpha}$. Nessas condições, $F = 1,30$.

e) R: para as situações em que o substrato rochoso é de fato impermeável (como indicado na figura), o fluxo no talude infinito é praticamente paralelo ao talude, com equipotenciais consequentemente perpendiculares a ele, como ilustrado na figura a seguir.

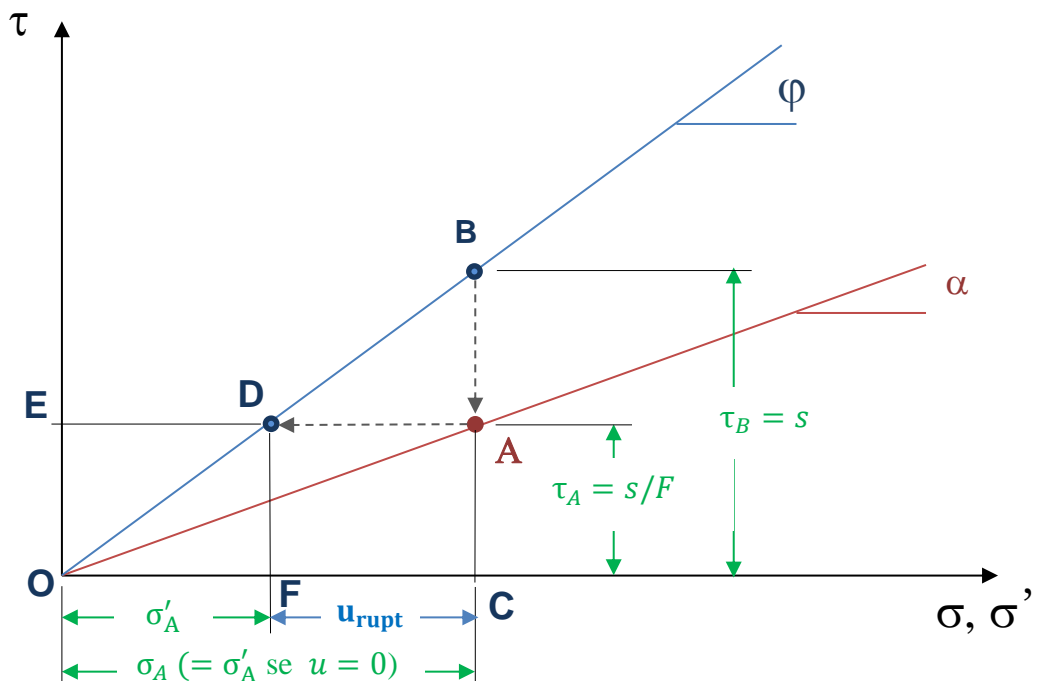
Para essa situação, tem-se, na superfície crítica ($z = H$), $u = \gamma_w h_w \cos^2 \alpha$.

O talude teria $F = 1,5$ se $h_w \cong 2,1$ m, ou seja, se $z_w \cong 2,9$ m.

f) R: não havendo coesão, $z_w \cong 2,9$ m o talude romperia ($F = 1,0$).



- g) R: para a última situação citada, ou seja, com c reduzido a praticamente zero, o ponto A da figura abaixo representa as tensões na superfície de escorregamento antes das chuvas.



Na formulação usual postula-se que o **estado limite último seria atingido por redução da resistência** (s/F). Para uma tensão normal representada por OC , é como se a resistência se reduzisse do ponto B para o ponto A (ao qual corresponde a tensão de cisalhamento solicitante, τ). O fator de segurança contra esse estado limite último (de redução de resistência), s/τ , corresponde a $BC/AC = \tan\phi/\tan\alpha$, como já demonstrado.

Frequentemente porém, como na situação imaginada no item f), os taludes rompem por aumento das pressões neutras (e redução das efetivas). Na figura, é como se o estado de tensão representado pelo ponto A se deslocasse para o ponto D . A tensão efetiva se reduziria de OC

Exercícios sobre Estabilidade de Encostas Naturais

para OF, enquanto a tensão de cisalhamento solicitante passaria a ser a tensão de cisalhamento de ruptura, s , para a tensão normal efetiva reduzida a OF pelo aumento da pressão neutra, CF). O fator de segurança contra esse **estado limite último** (de **aumento de pressões neutras**) pode ser representado por AE/DE . Demonstra-se, por semelhança de triângulos, que $AE/DE = BC/AC = \tan\phi/\tan\alpha$. Ou seja, ainda que a conceituação de segurança seja diferente, o valor numérico de F é idêntico nesse caso particular. É fácil comprovar que se $c \neq 0$ os fatores de segurança já não seriam idênticos.

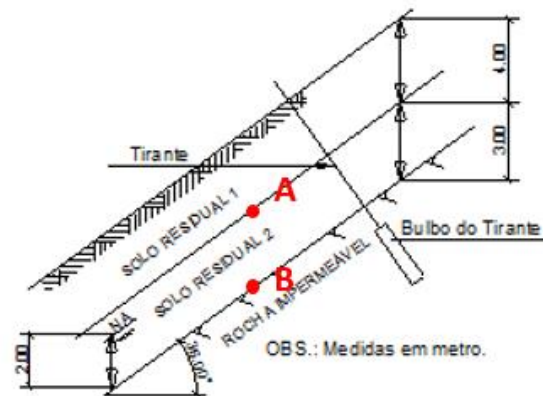
Qual é, então, a “melhor” definição de fator de segurança global? Não há melhor! Taludes rompem por perda de resistência, por aumento de pressões neutras, e por outras causas, frequentemente combinadas. A impossibilidade de um fator de segurança global único para qualquer situação atesta o acerto da utilização de fatores de segurança parciais, minorando resistências, aumentando solicitações e comparando resistências de projeto e solicitações de projeto para garantir a segurança. Tal é a prática do Eurocode 7 (a norma europeia de engenharia geotécnica), das normas de cálculo de concreto, do trabalho pioneiro do geotécnico Brinch-Hansen, em 1953!

Exercício 2

:

Propriedades dos Materiais

Material	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)	γ (kN/m ³)
Solo Residual 1	25	22	19
Solo Residual 2	35	28	19
Rocha	200	40	22



- a) **R:** Como sempre, a superfície potencial de ruptura de um talude infinito deve situar-se no plano paralelo ao talude que exibir fator de segurança mínimo. No caso presente, devido aos dois materiais e diferentes espessuras, será preciso testar o fator de segurança para duas condições: ruptura do solo 1 na interface com o solo 2 (ex: ponto A) e ruptura do solo 2 na interface com a rocha (ex: ponto B).
- b) **R:** Como demonstrado abaixo, nesse caso a superfície crítica está na interface entre as duas camadas, com o fator de segurança calculado, $F = 1,25$, já que no contato com a rocha teríamos $F = 1,28$.

$$F_A = \frac{25 + (19 \times 4 \times \cos^2 36^\circ - 0) \times \tan 22^\circ}{19 \times 4 \times \sin 36^\circ \cos 36^\circ} = 1,25$$

$$F_B^{seca} = \frac{35 + (19 \times 7 \times \cos^2 36^\circ - 0) \times \tan 28^\circ}{19 \times 7 \times \sin 36^\circ \cos 36^\circ} = 1,28$$

Exercícios sobre Estabilidade de Encostas Naturais

- c) **R:** Como calculado abaixo, nessas condições $F = 1,17$ no contato com a rocha, e portanto a superfície crítica se desloca para esse contato.

$$F_B^{fluxo\ c/NA=2m} = \frac{35 + (19 \times 7 \times \cos^2 36^\circ - 2 \times 10 \times \cos^2 36^\circ) \times \operatorname{tg} 28^\circ}{19 \times 7 \times \operatorname{sen} 36^\circ \cos 36^\circ} = \mathbf{1,17}$$

- d) **R:** Os tirantes aplicam ao contato com a rocha uma tensão normal (σ_T), além das tensões normais de reação da rocha e da pressão neutra (rever item a) do exercício 1). A expressão a seguir, que é uma extensão daquela utilizada anteriormente, permite estimar o valor de σ_T para $F = 1,5$.

$$F = \frac{c' + (\gamma z \cos^2 \alpha - u + \sigma^T) \tan \varphi'}{\gamma z \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha}$$

$$F_B^{tirantes} = \frac{35 + (19 \times 7 \times \cos^2 36^\circ - 2 \times 10 \times \cos^2 36^\circ + \sigma^T) \times \operatorname{tg} 28^\circ}{19 \times 7 \times \operatorname{sen} 36^\circ \cos 36^\circ} = \mathbf{1,50}$$

$$\sigma^T = 38,7 \text{ kPa} \sim 40 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 1 \text{ tirante de } 400 \text{ kN a cada } 10 \text{ m}^2$$