

1) A figura 1 representa um trecho de uma importante rodovia. Como pode ser observado na figura, a estrada foi construída a “meia-encosta” com aterro, e está apresentando os seguintes problemas:

- recalques da plataforma, originando ondulações na pista;
- trincas longitudinais no pavimento; e
- movimentação das guias e canaletas de drenagem em pontos localizados.

Através de monitoração específica (indicadores de nível d’água – INA’s) ao longo do ano, verificou-se que em períodos de seca não se observa a presença do lençol freático na camada de aterro. Entretanto, em períodos de chuva intensa verificou-se que o lençol freático pode atingir a camada de aterro (com a água percolando em direção ao vale), na posição indicada na figura 1.

A tabela abaixo apresenta algumas das características dos materiais observados na seção transversal apresentada.

Solo	Descrição	γ_{nat} (kN/m ³)	intercepto de coesão c' (kN/m ²)	ângulo de atrito ϕ' (°)	ângulo ϕ^b (°)
1	Aterro de material argilo-arenoso	18	6	30	15
2	Basalto muito fraturado	21	50	35	0
3	Argila siltosa com fragmentos de rocha (SR)	18	7	30	15
4	Areia fina pouco argilosa (aluvião)	18	0	28	10

- a) Discuta o significado dos problemas que estão sendo observados na rodovia. Indicam movimentação (possível instabilização) do talude.
- b) Discuta, conceitualmente, no caso de uma eventual ruptura, por onde deveria passar a superfície de ruptura. Por quê?
Praticamente só pelo material de aterro: aparentemente condição geométrico-geotécnica mais desfavorável (parâmetros de resistência mais baixos e maiores pressões neutras em posição mais crítica).
- c) Estime o fator de segurança do aterro da rodovia na época de seca e na época de chuvas. Utilize o ábaco abaixo (ou outro qualquer). Por simplicidade, adote $\gamma_{nat} = \gamma_{sat}$. Se necessário, adote um perfil de sucção simplificado.

Para obter a solução abaixo, utilizou-se o ábaco da pág. 4.

Em época de **seca**:

Como não foi detectada a linha freática nos períodos de seca, devemos supor algo sobre a sua posição relativamente à superfície de escorregamento, sobre a saturação e sobre a sucção. Digamos que a freática esteja alguns metros abaixo, solo não saturado na superfície de escorregamento, sucção estimada em 30 kPa (ver apresentação sobre o comportamento de solos não saturados).

$$c = c' + (u_a - u_w) \tan \phi^b, \text{ portanto } c = 6 + 30 \tan 15^\circ \cong 14 \text{ kPa}$$

$$x \cong \arctan(1/2) - 30 * 1,2 = -9,4$$

$$y \cong 18 * 33 / 14 = 42,4$$

$F \cong 1,6$ (para comparação, a análise numérica pelo processo de Bishop simplificado levou a $F \cong 1,58$).

Em época **chuvosa**, fluxo normal descendente na direção do vale, **com** fenda de tração, **sem** acúmulo de água na fenda de tração:

Fenda de tração: $z_c = (2c' / \gamma) / \sqrt{K_a}$ (rever tensões de empuxo de Rankine)

$z_c \cong 2*6/18*(0,33)^{-1/2} \cong 1,16 \text{ m}$ (c' , não c , pois a fenda surge em função da tendência de movimentação, que deve ocorrer em época chuvosa, época de sucção baixa)

$$x \cong \arctan(1/2) - 30 * (1,2 - 0,3 * 16,5/33) = -4,9$$

$$y \cong 99 * [1 + (\arctan(1/2) - 15)/100 * 1,16/33] = 99,4$$

$$F \cong 1,1 \text{ (provavelmente causador dos movimentos observados)}$$

Em época **chuvosa**, fluxo normal descendente na direção do vale, **com** fenda de tração, **com** acúmulo de água na fenda de tração:

$$x \cong -4,9$$

$$y \cong 99 * [1 + (\arctan(1/2) - 10)/100 * 1,16/33] = 99,6$$

$$F \cong 1,1 \text{ (água na fenda de tração não chega a ser condicionante nesse caso)}$$

Para comparação, a análise numérica pelo processo de Bishop simplificado (sem fenda de tração) levou a $F \cong 1,36$, o que demonstra a maior imprecisão do ábaco quando há fluxo.

d) Apresente soluções para os problemas observados.

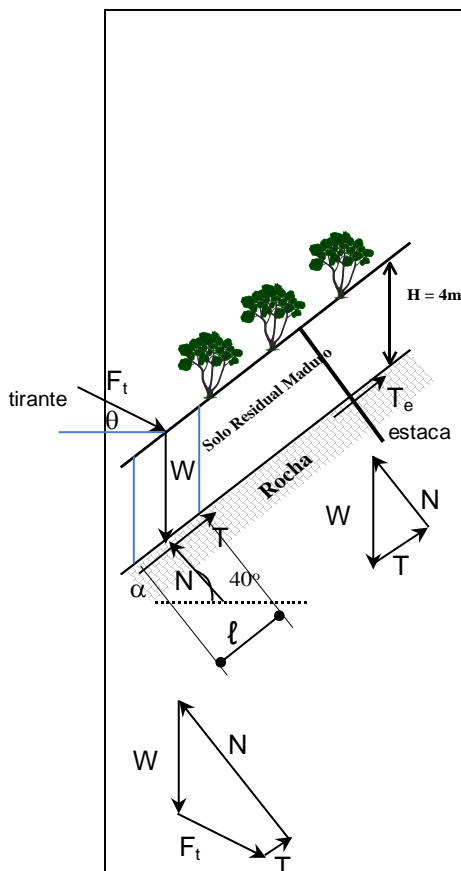
Retaludamento (talude mais abatido) + DHP (drenagem horizontal profunda da base do aterro)

Caso retaludamento não seja possível, reforço ou contenção (tirantes) + DHP.

2) Considere o talude abaixo, admitindo que a rocha seja muito menos permeável do que o solo residual sobrejacente.

a) Calcule a distribuição de tirantes, com inclinação de 30° com a horizontal, para que o fator de segurança nunca seja inferior a 1,5. Utilize tirantes do tipo vergalhão de aço de 32 mm de diâmetro, com carga nominal à tração de 200 kN.

b) Faça o mesmo para estacas raiz normais à superfície do talude. Admita que a resistência do conjunto solo-estaca seja de 15 kN/estaca.



Solo residual maduro (ensaio de cisalhamento direto)		
Condição	γ (kN/m ³)	s (kPa)
Não saturado	$\gamma_{\text{nat}} = 16$	$49 + \sigma' \text{ tg } 33^\circ$
Saturado	$\gamma_{\text{sat}} = 17$	$24 + \sigma' \text{ tg } 33^\circ$

Tirantes são **ativos**: aplicam uma carga externa, independentemente de haver ou não deslocamento do talude.

Equilíbrio com tirantes (a única incógnita é F_t ou f_t):

$$N = W \cos \alpha + F_t \sin(\alpha + \theta)$$

$$T = W \sin \alpha - F_t \cos(\alpha + \theta)$$

$$F = \frac{S}{T} = \frac{C + (N - U) \tan \varphi}{T}$$

$$F = \frac{C + [W \cos \alpha + F_t \sin(\alpha + \theta) - U] \tan \varphi}{W \sin \alpha - F_t \cos(\alpha + \theta)} \geq 1,5$$

$$F = \frac{c \ell \times 1 + [\gamma H \ell \times 1 \times \cos^2 \alpha + F_t \sin(\alpha + \theta) - U] \tan \varphi}{\gamma H \ell \times 1 \times \cos \alpha \sin \alpha - F_t \cos(\alpha + \theta)} \geq 1,5$$

$$F = \frac{c + [\gamma H \cos^2 \alpha + \frac{F_t}{\ell \times 1} \sin(\alpha + \theta) - \frac{U}{\ell \times 1}] \tan \varphi}{\gamma H \cos \alpha \sin \alpha - \frac{F_t}{\ell \times 1} \cos(\alpha + \theta)} \geq 1,5$$

$$F = \frac{c + [\gamma H \cos^2 \alpha + f_t \sin(\alpha + \theta) - u] \tan \varphi}{\gamma H \cos \alpha \sin \alpha - f_t \cos(\alpha + \theta)} \geq 1,5$$

Estacas raiz são **passivas**: a resistência adicional por elas oferecida só é mobilizada se houver tendência de deslocamento do talude.

Equilíbrio com estacas raiz (a única incógnita é T_e ou t_e):

$$N = W \cos \alpha$$

$$T = W \sin \alpha$$

$$F = \frac{C + T_e + [W \cos \alpha - U] \tan \varphi}{W \sin \alpha} \geq 1,5$$

$$F = \frac{c + \frac{T_e}{\ell \times 1} + [\gamma H \cos^2 \alpha - \frac{U}{\ell \times 1}] \tan \varphi}{\gamma H \cos \alpha \sin \alpha} \geq 1,5$$

$$F = \frac{c + t_e + [\gamma H \cos^2 \alpha - u] \tan \varphi}{\gamma H \cos \alpha \sin \alpha} \geq 1,5$$

No período seco $u = 0$ e $F = \frac{49 + (16,4 \cdot \cos^2 40) \cdot \tan 33}{16,4 \cdot \cos 40 \cdot \sin 40} = 2,33 > 1,5$

No período chuvoso, considerada a condição de rocha muito menos permeável e solo saturado (com $h_w = 4\text{m}$), tem-se: $u = \gamma_w \cdot h_w \cdot \cos^2 \alpha = 10,4 \cdot \cos^2 40 = 23,47 \text{ kPa}$

e $F = \frac{24 + (17,4 \cdot \cos^2 40 - 23,47) \cdot \tan 33}{17,4 \cdot \cos 40 \cdot \sin 40} = 1,03 < 1,5$

a) Com tirantes, no período chuvoso: $F = \frac{24 + (17,4 \cdot \cos^2 40 + f_t \cdot \sin(40+30) - 23,47) \cdot \tan 33}{17,4 \cdot \cos 40 \cdot \sin 40 - f_t \cdot \cos(40+30)} \geq 1,5$
de onde $f_t \geq 13,85 \text{ kPa}$, portanto um tirante de 200 kN a cada 14,4 m².

b) Com estacas, no período chuvoso: $F = \frac{24 + t_e + (17,4 \cdot \cos^2 40 - 23,47) \cdot \tan 33}{17,4 \cdot \cos 40 \cdot \sin 40} \geq 1,5$
de onde $t_e \geq 15,55 \text{ kPa}$, portanto uma estaca de 15 kN a cada 0,96 m².

c) Com esses dados é possível estimar o valor de ϕ^b do solo residual maduro? Por que?

Não. Conhece-se o incremento de c na condição não saturada, mas não o valor da **sucção** correspondente.

d) Pode ser única a envoltória de resistência desse solo quando não saturado? Por que?

Não. O intercepto de coesão depende do **perfil** de sucção (sucção vs. profundidade).

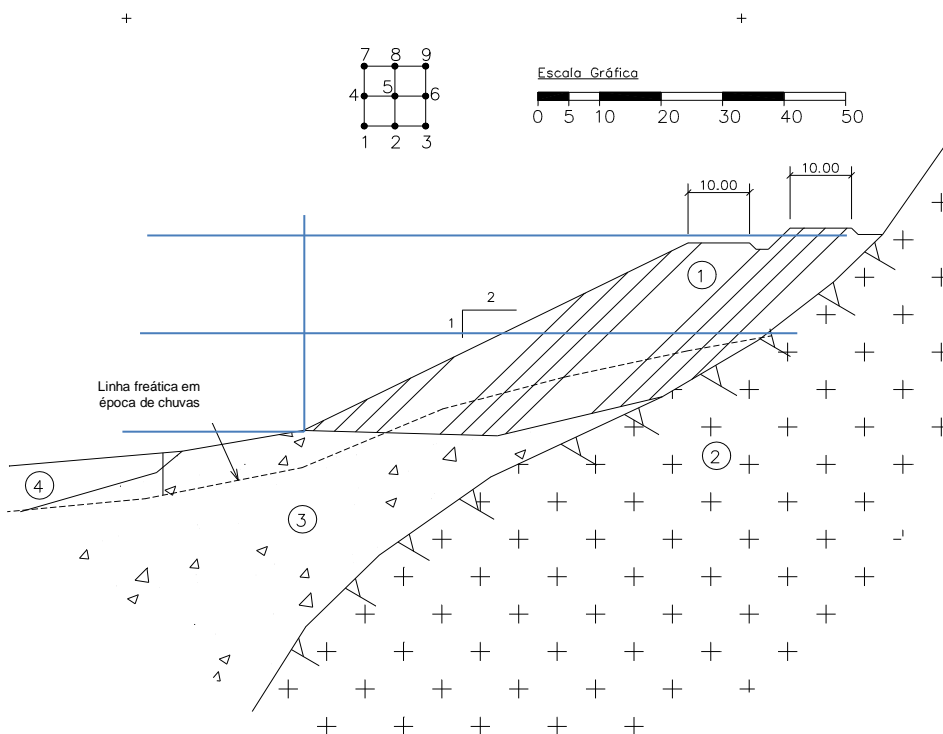
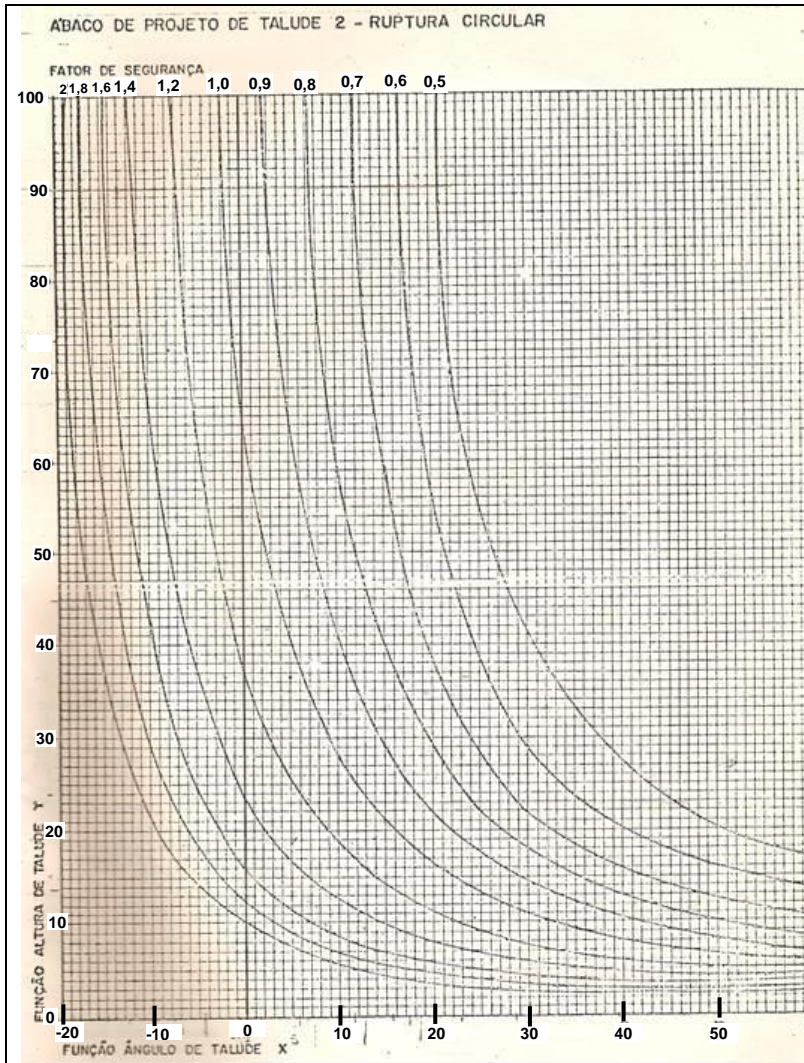
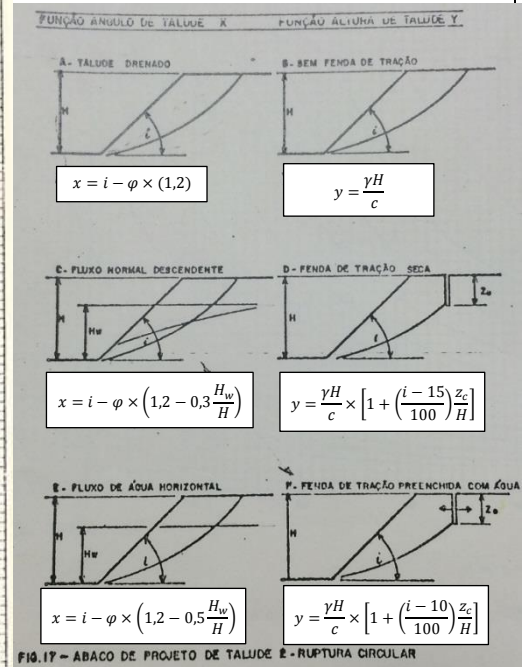


Figura 1



Ábaco de Hoëk
Estabilidade de taludes



- i: inclinação do talude
- γ : peso específico do material do maciço
- ϕ : ângulo de atrito
- c: coesão
- H: altura do talude
- H_w : altura de referência do NA
- z_c : profundidade da fenda de tração