

PEF 2502

Obras subterrâneas

Projeto e Método

Construtivo

Valas escoradas

Prof. Carlos Eduardo M. Maffei
Profa. Heloísa Helena S. Gonçalves

3. CONTROLE DA ÁGUA

**DRENAGEM
REBAIXAMENTO**

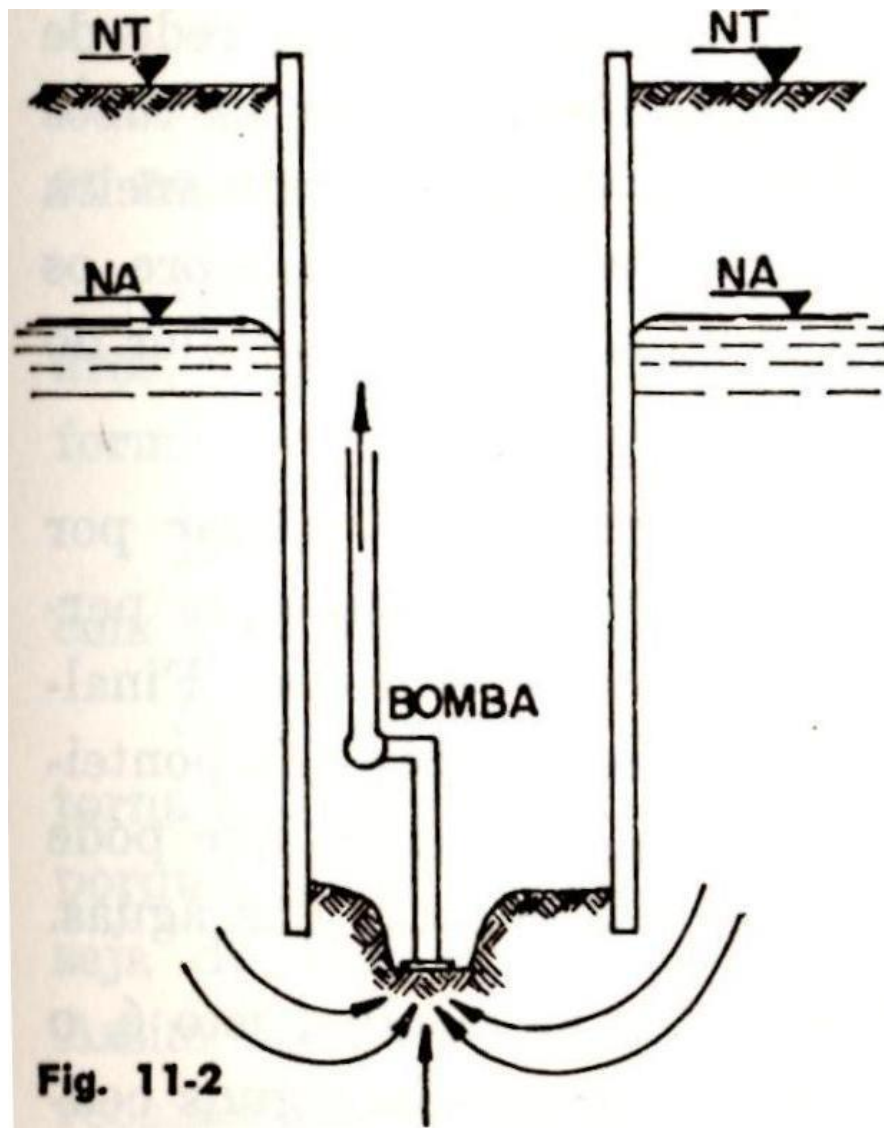
- ESGOTAMENTO**
- PONTEIRAS**
- POÇOS PROFUNDOS**
 - PI – INJETORES**
 - PBS – BOMBA SUBMERSA**
 - PBSV – VÁCUO**

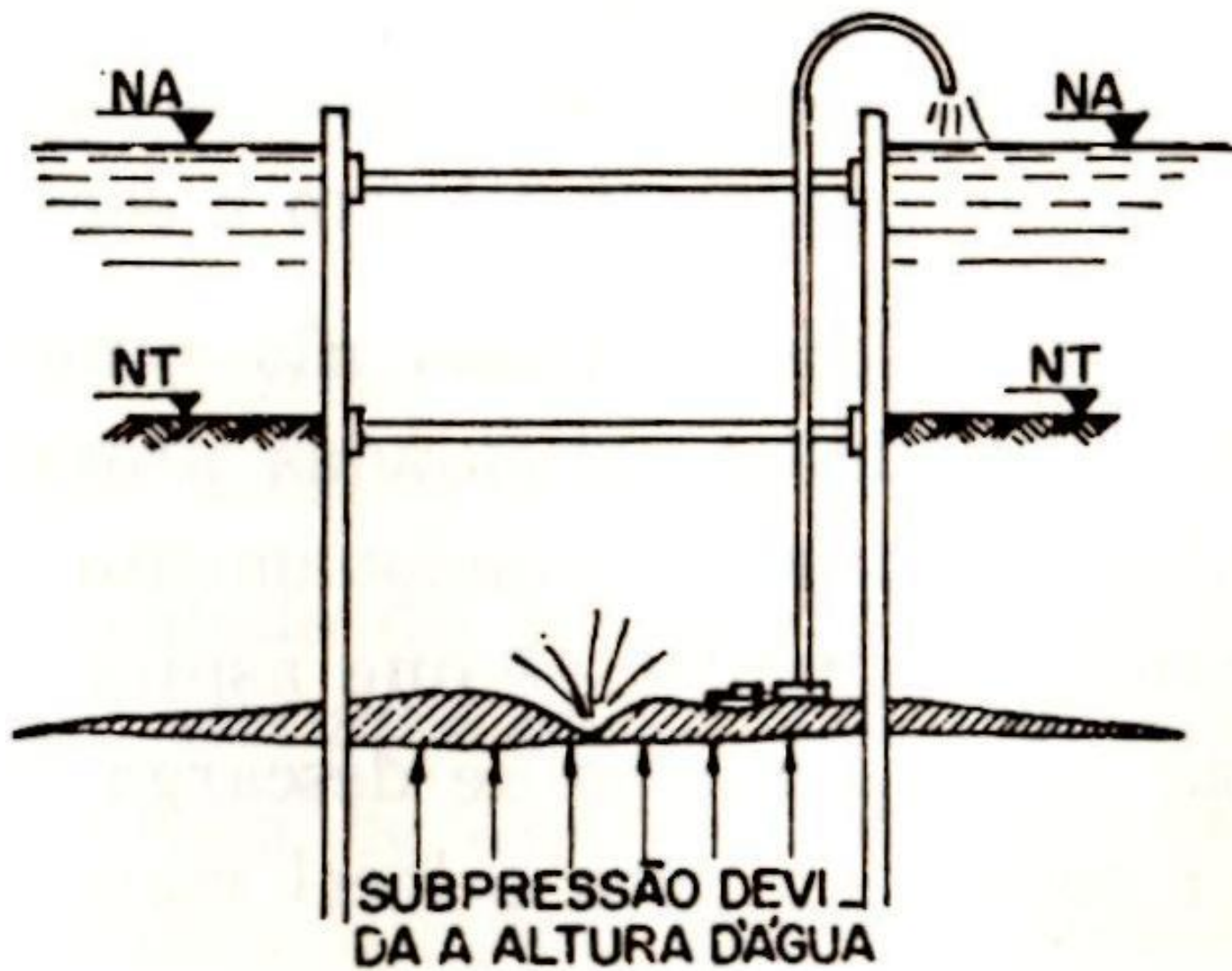
(DHP, DHPV) (*)

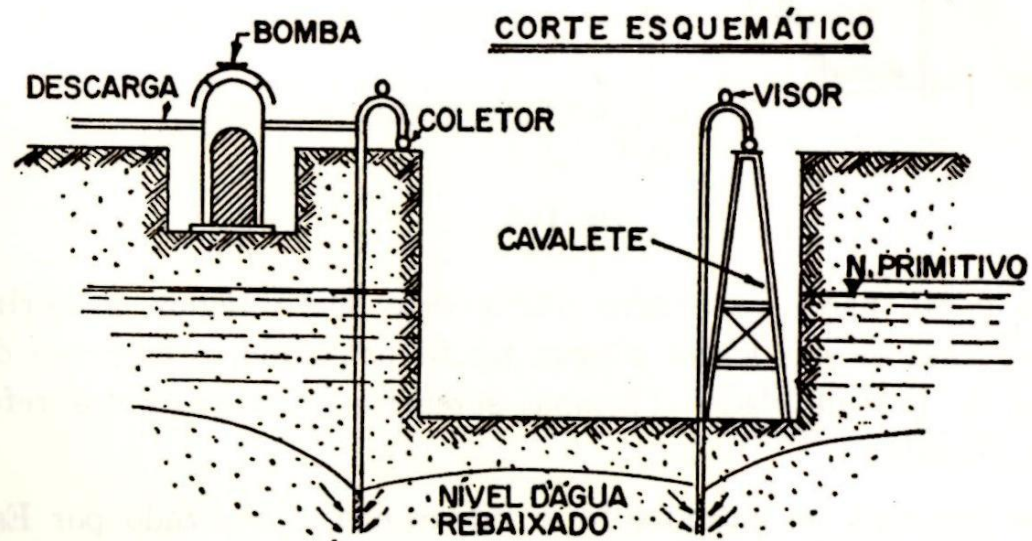
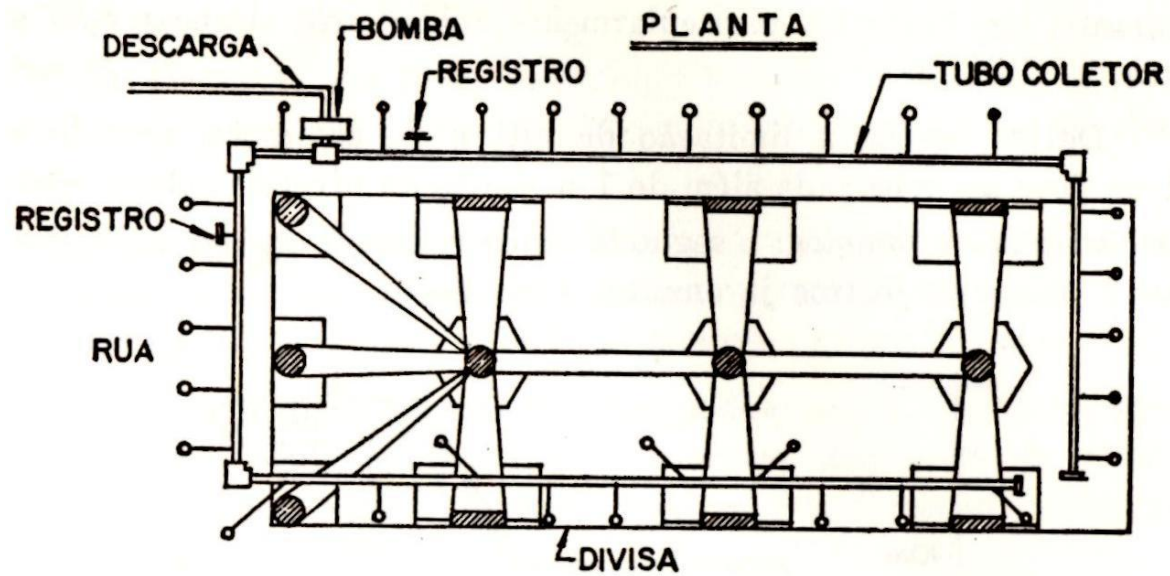
TRATAMENTO

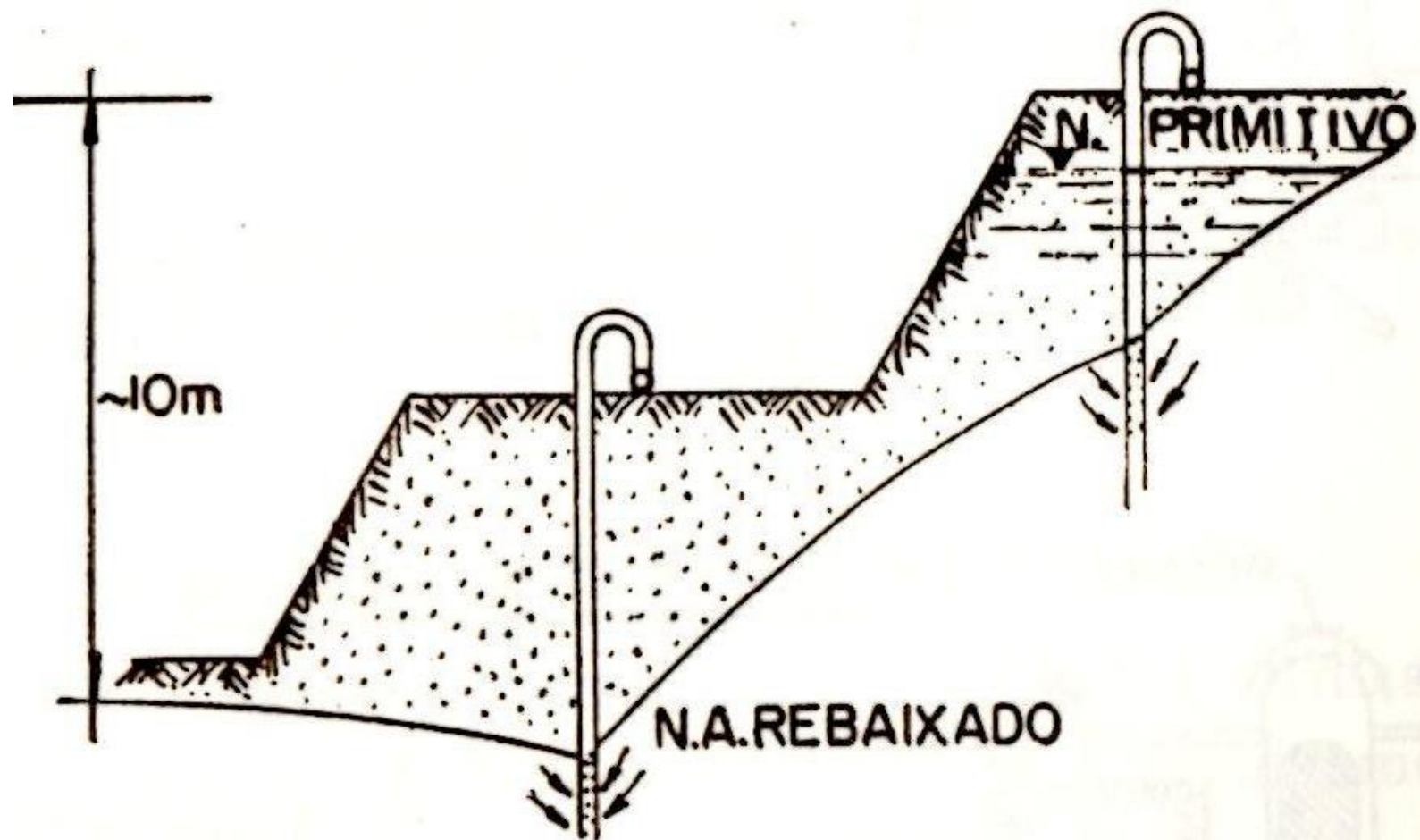
- ELETROOSMOSE**
- INJEÇÕES (*)**
- JET-GROUTING (*)**
- CONGELAMENTO (*)**
- OUTROS (*)**

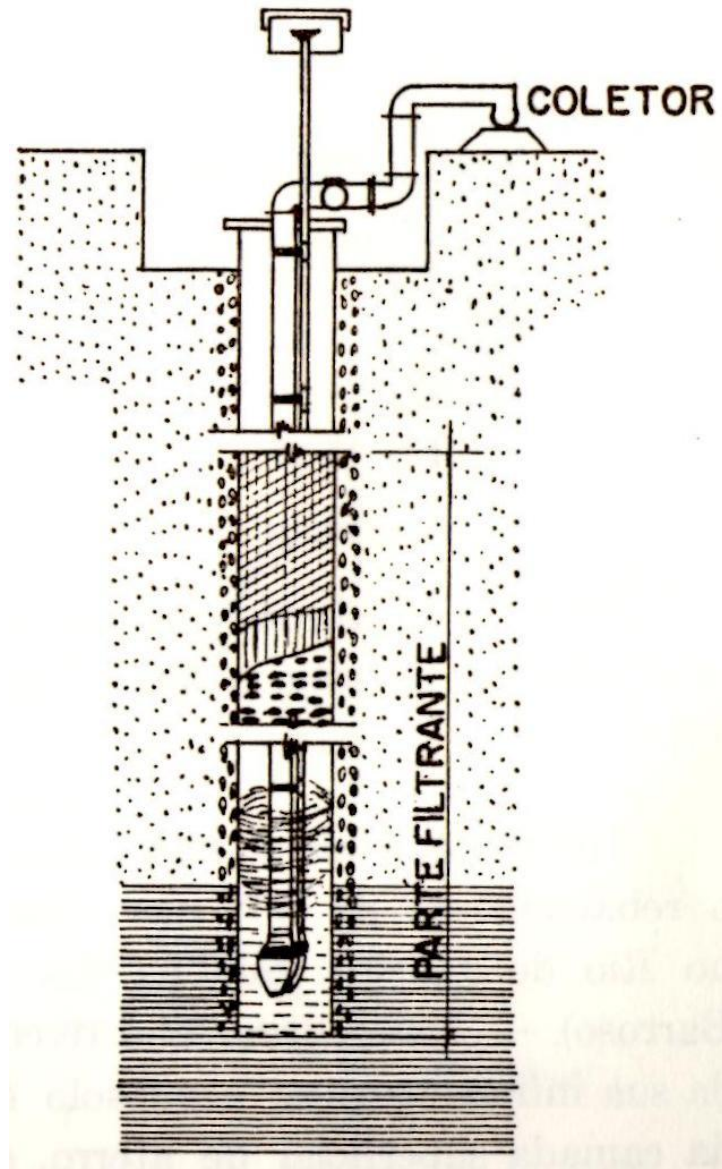
(8) TÚNEIS

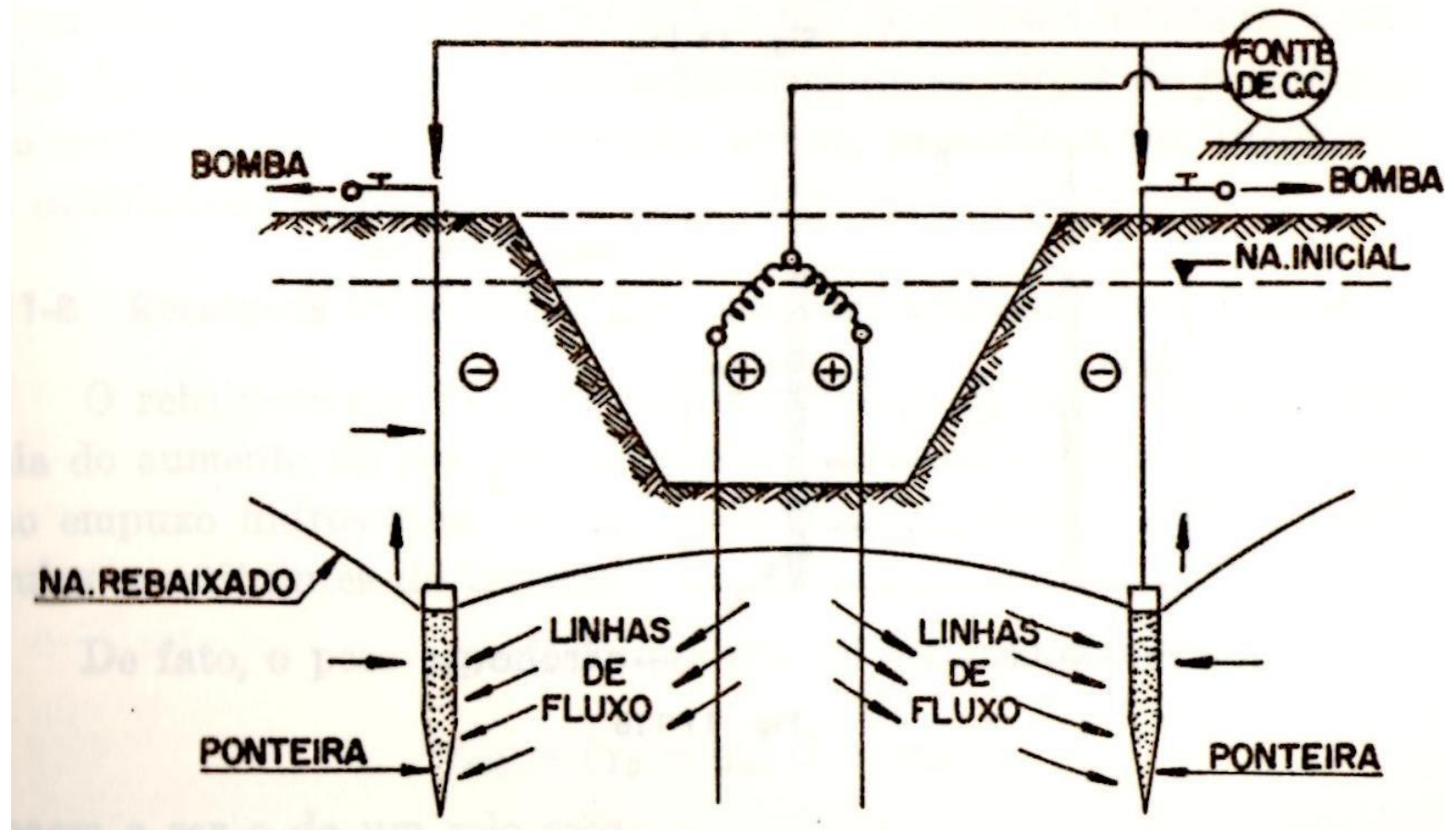






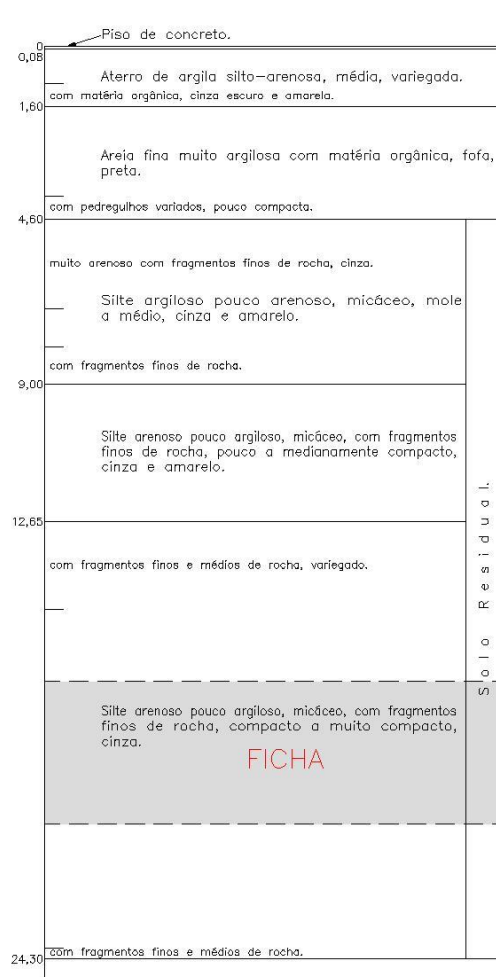




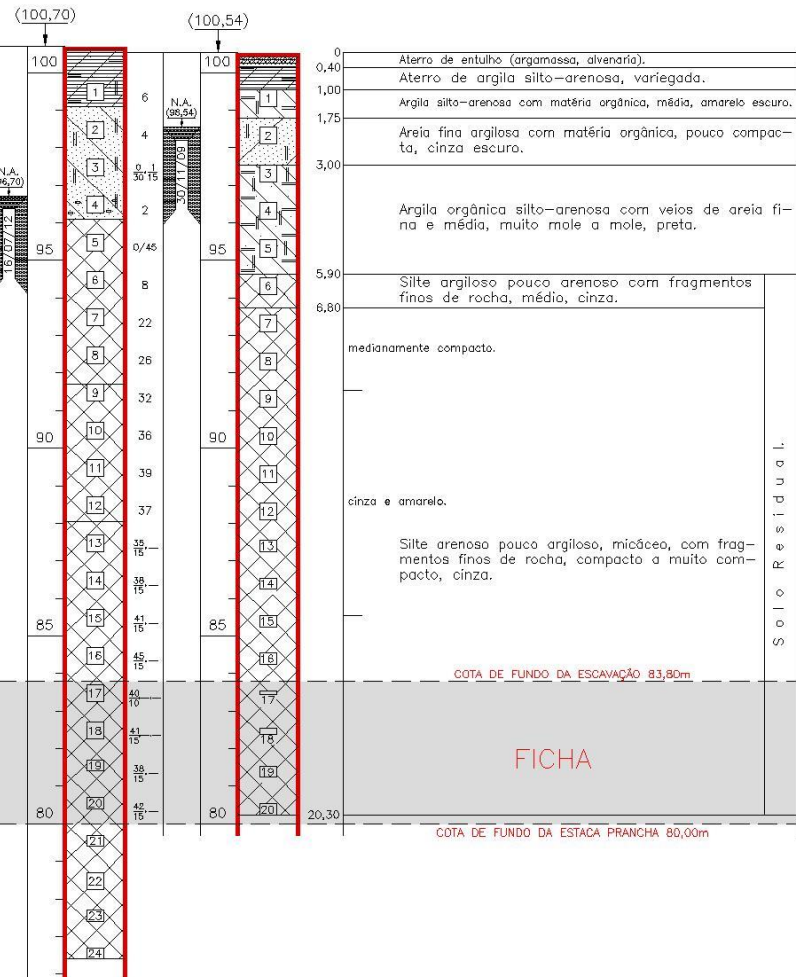


Exemplo de “degradação” do solo residual jovem, silte arenoso micáceo, em virtude do alívio de tensões e gradiente hidráulico

SONDAGEM SP-101

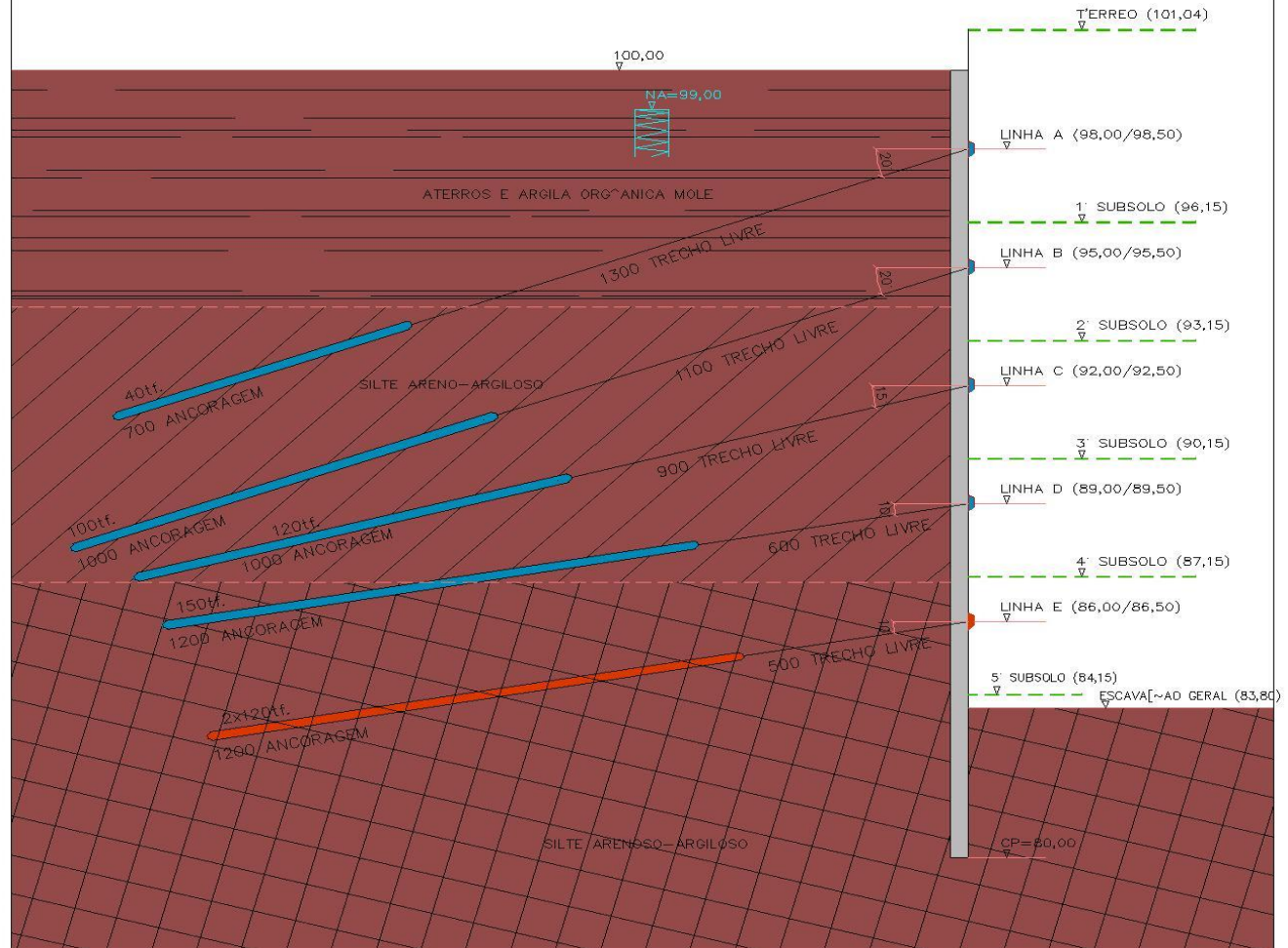


SONDAGEM SP-1



CORTE A-A

ESC. 1:100





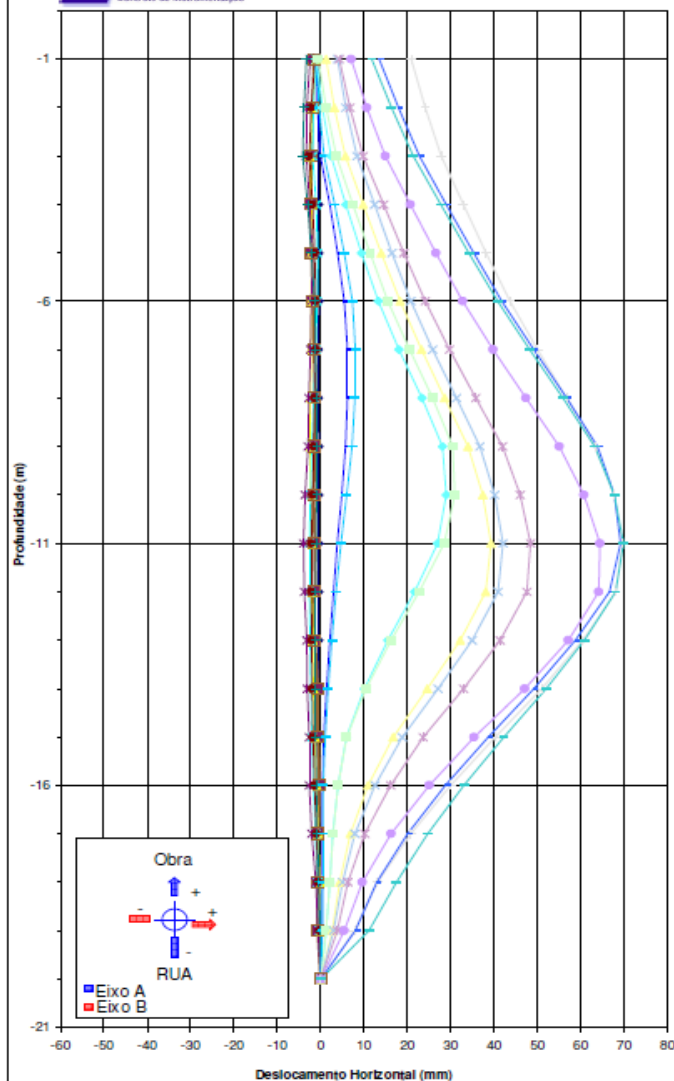
EVENTOS

27/04/2012 - Escavação
09/05/2012 - Escavação
11/05/2012 - Escavação
18/05/2012 - Escavação
23/05/2012 - Escavação
29/05/2012 - Escavação
14/06/2012 - Replotensão da 3ª linha de tirantes

DATA DAS LEITURAS
Zeragem - 11/02/2012 07:49

1. 11/02/2012 07:58
2. 18/02/2012 09:37
3. 08/03/2012 08:33
4. 15/03/2012 13:55
5. 21/03/2012 17:40
6. 28/03/2012 14:00
7. 04/04/2012 13:40
8. 12/04/2012 14:00
9. 18/04/2012 14:00
10. 27/04/2012 11:38
11. 03/05/2012 18:40
12. 11/05/2012 13:40
13. 18/05/2012 13:40
14. 23/05/2012 18:45
15. 29/05/2012 20:00
16. 06/06/2012 10:30
17. 14/06/2012 10:08
18. 21/06/2012 10:50

21/06/2012 14:21



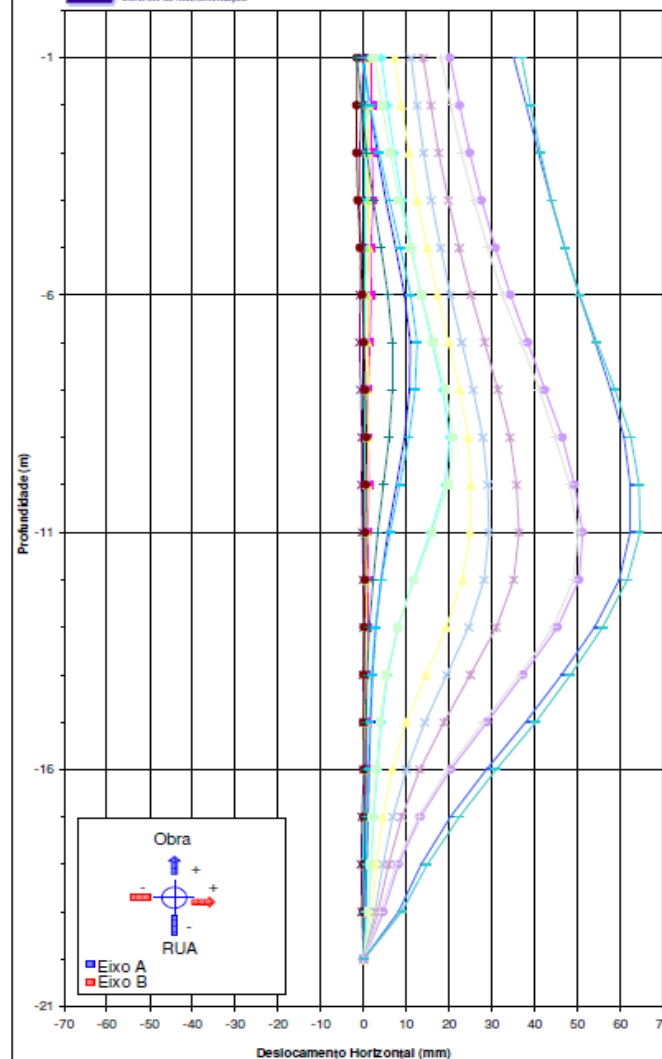
EVENTOS

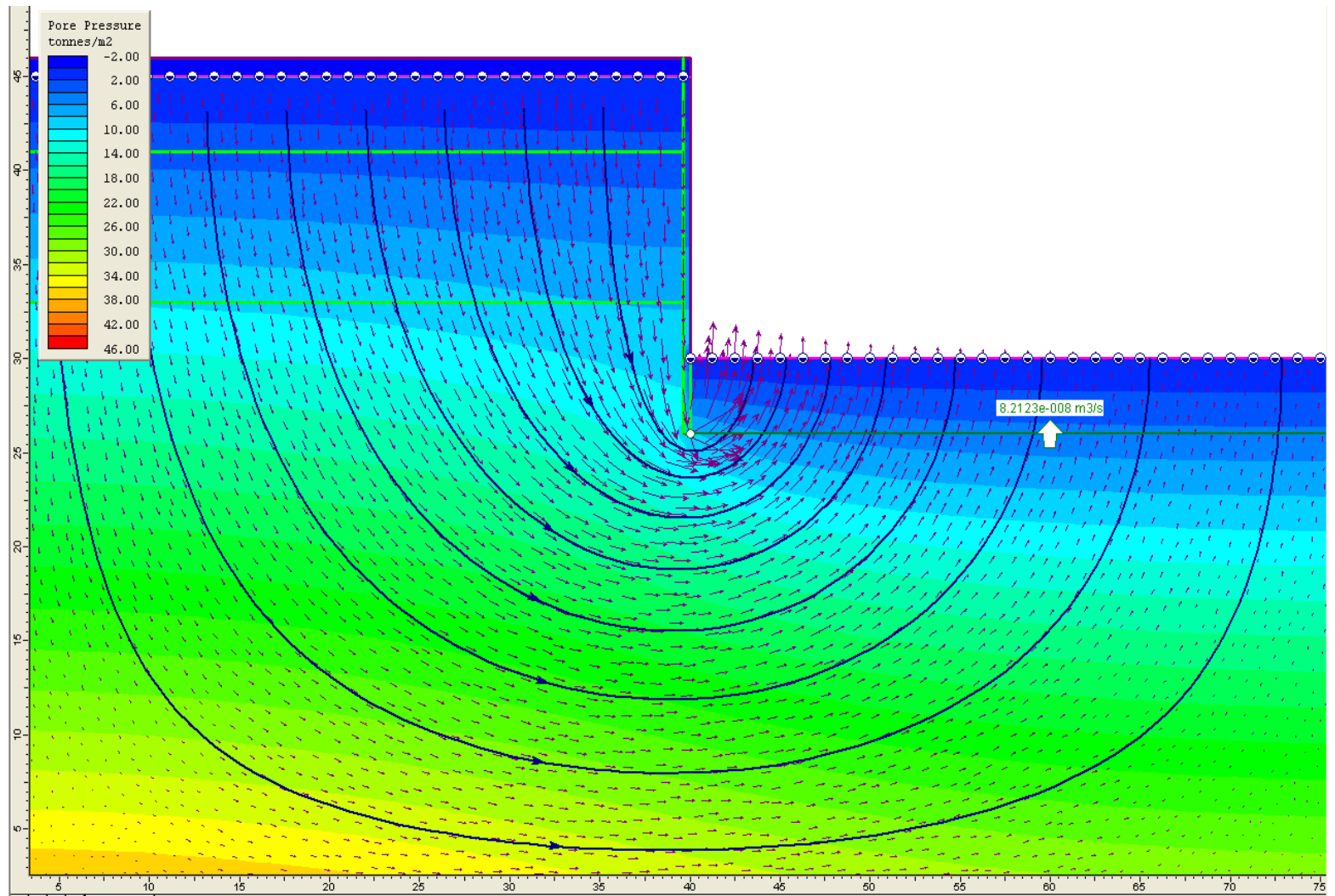
27/04/2012 - Escavação
09/05/2012 - Escavação
11/05/2012 - Escavação
18/05/2012 - Escavação
23/05/2012 - Escavação
29/05/2012 - Escavação
14/06/2012 - Replotensão da 3ª linha de tirantes

DATA DAS LEITURAS
Zeragem - 11/02/2012 08:11

1. 11/02/2012 08:17
2. 01/03/2012 07:13
3. 08/03/2012 09:25
4. 15/03/2012 13:38
5. 21/03/2012 18:00
6. 28/03/2012 14:20
7. 04/04/2012 14:00
8. 12/04/2012 14:20
9. 18/04/2012 14:20
10. 24/04/2012 11:44
11. 03/05/2012 19:00
12. 11/05/2012 14:00
13. 18/05/2012 14:00
14. 23/05/2012 19:00
15. 29/05/2012 20:10
16. 06/06/2012 10:45
17. 14/06/2012 10:21
18. 21/06/2012 11:00

21/06/2012 14:21





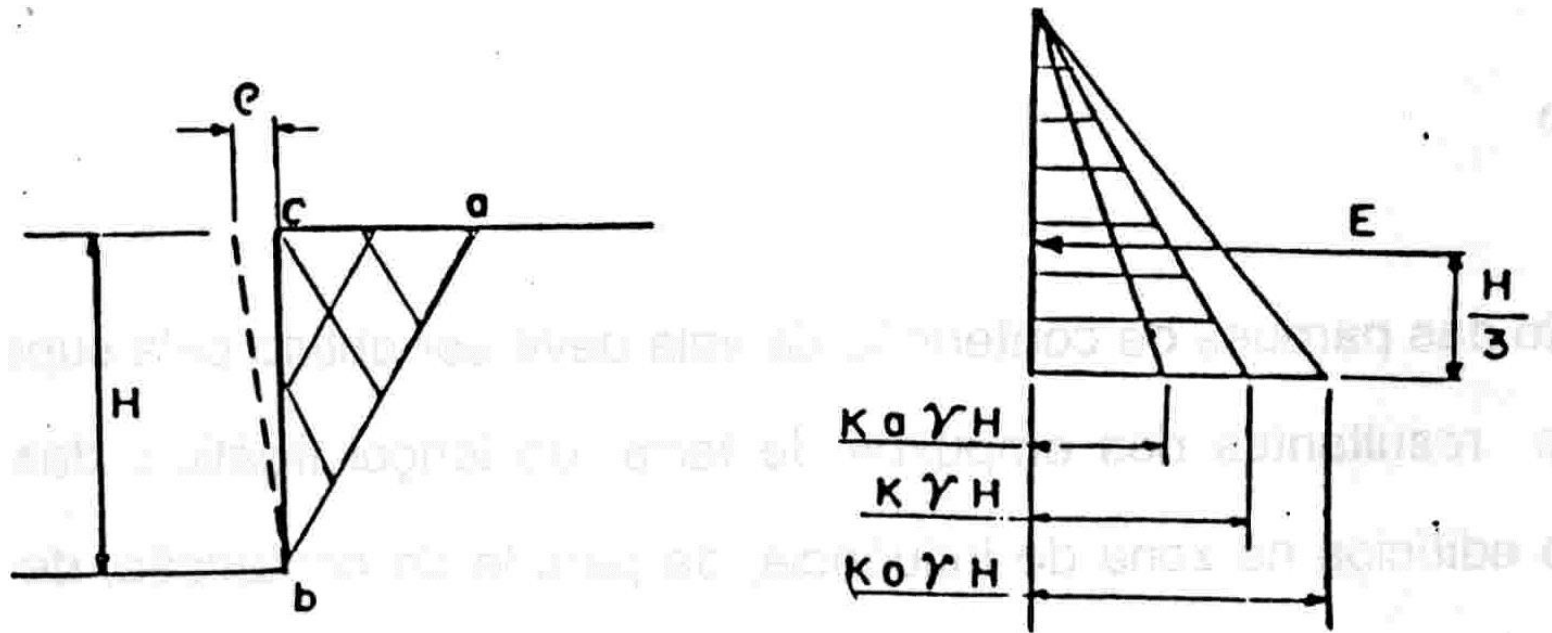
4. EMPUXOS

Carregamento

O carregamento das paredes de contenção da vala deve ser obtido pela superposição das diversas ações resultantes dos empuxos de terra, do lençol freático, das sobrecargas decorrentes de edifícios na zona de influência, da parede de contenção, de depósitos de materiais, de veículos e equipamentos.

Empuxo de Terra: Paredes Flexíveis e Rígidas

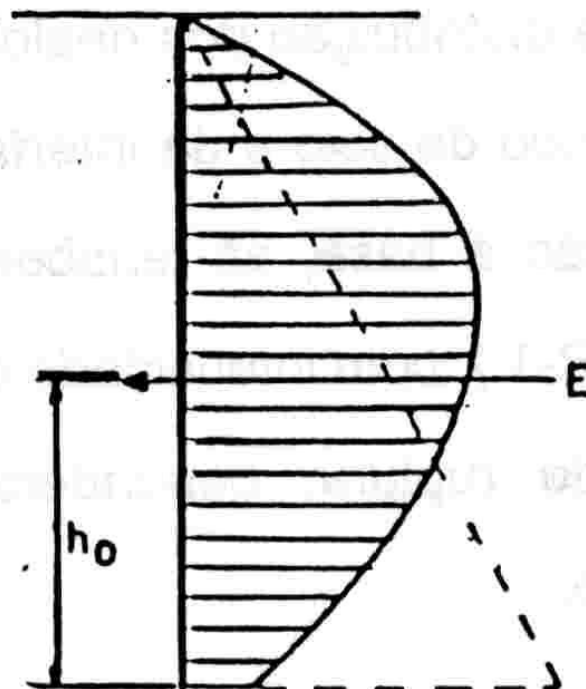
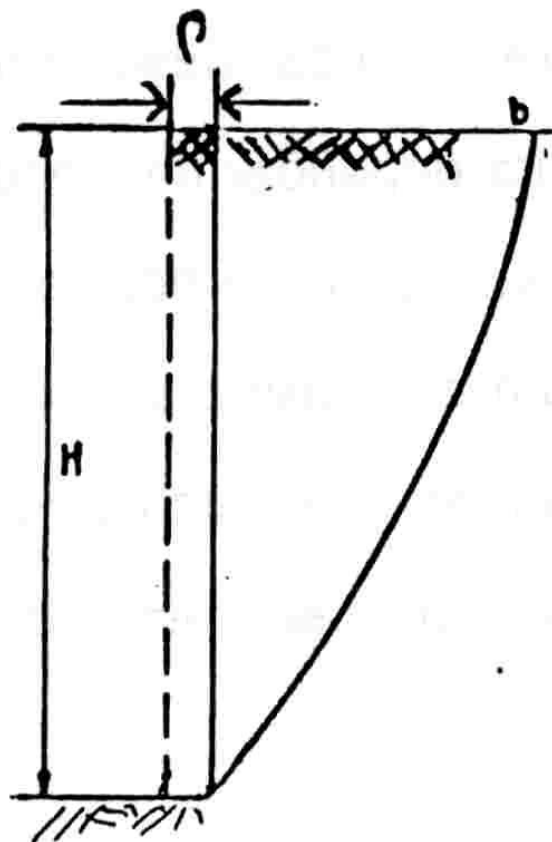
A escavação do maciço de um dos lados da parede, admitida instalada sem qualquer efeito sobre as tensões e deformações iniciais, irá provocar deslocamentos para o lado interno da vala: a distribuição dos deslocamentos irá depender da vinculação e da rigidez da parede, e do tipo de solo e da interface solo-contenção. Se houver rotação da parede (rígida) em relação à base, as tensões que atuam na parede distribuir-se-ão de forma triangular (caso R-1), com intensidade que dependerá do valor do deslocamento " δ " desenvolvido progressivamente.



CASO (R-1) : Parede Rígida (Rotação em torno da base)

Admitindo a translação pura da parede, resultados diversos publicados indicam a forma do diagrama de tensões normais à parede, segundo a figura abaixo (Caso R-2), na qual a altura h_0 do ponto de aplicação de "E", o qual varia entre $0,40h$ e $0,45h$; resultados de medições indicam que, se o estado ativo for alcançado, o valor de "E" difere de 5 a 10%

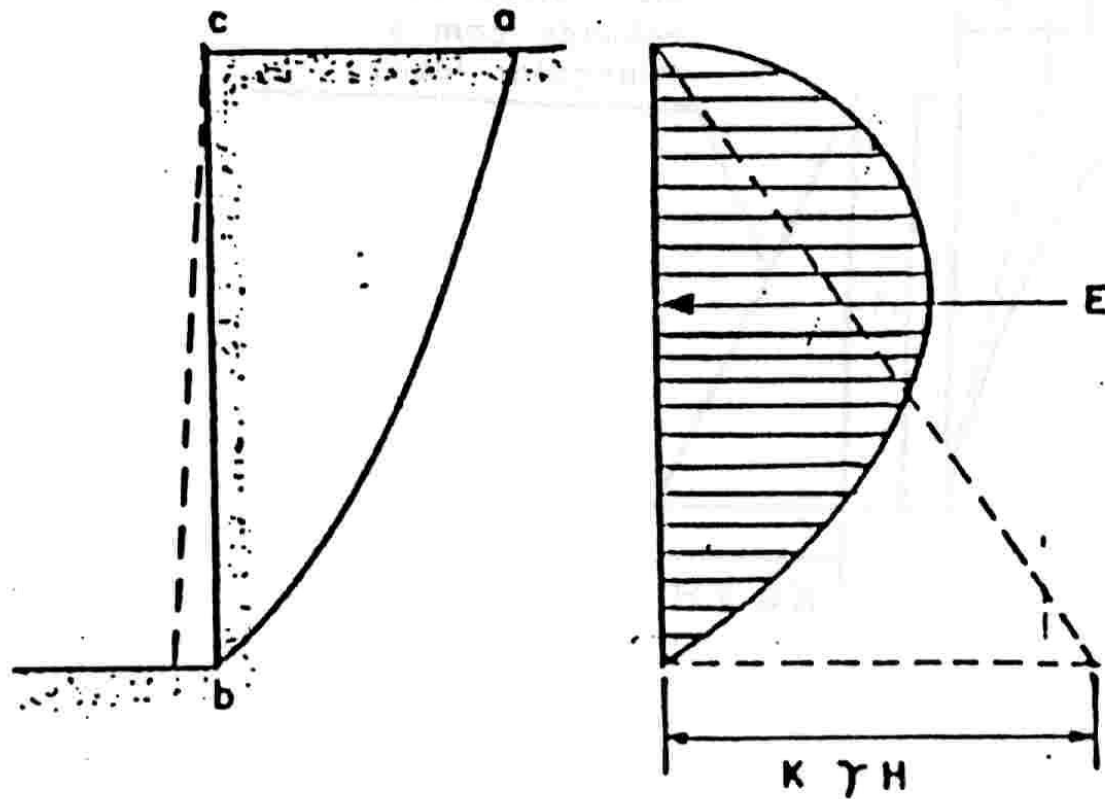
do valor obtido no caso R-1, o que pouco significa quando se consideram as imprecisões na determinação do empuxo ativo.



CASO (R-2): Parede Rígida (Translação)

A rotação da parede em torno do topo provocaria uma redistribuição como indicado na figura seguinte (Caso R-3), admitindo-se preservada a resultante E (área do diagrama triangular ideal); resultados teóricos e de medições indicam que, se o estado ativo for alcançado, o valor do empuxo é cerca de 20% maior que o empuxo ativo triangular ideal, principalmente porque a restrição de deslocamentos impede que o estado ativo seja alcançado na região superior.





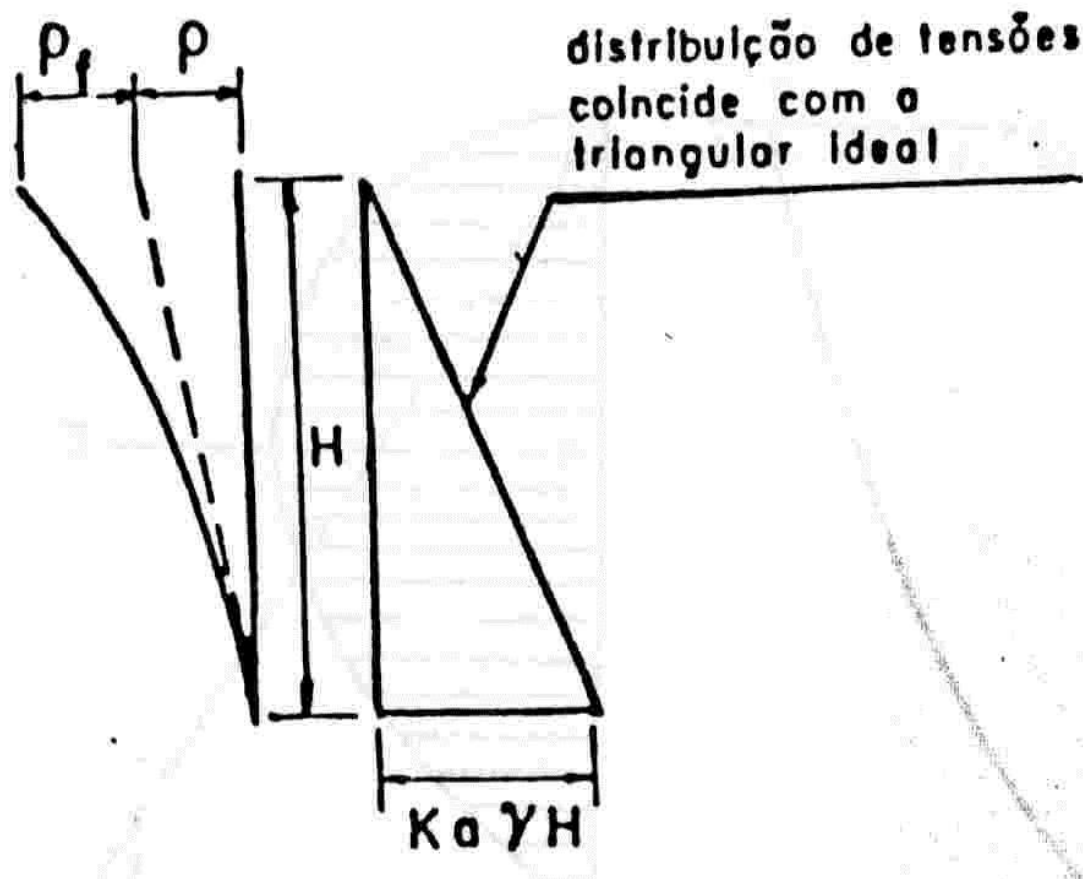
CASO (R-3) : Parede Rígida (Rotação em torno do topo)

Observe-se, ainda, que a redistribuição é limitada à capacidade de arqueamento do solo.

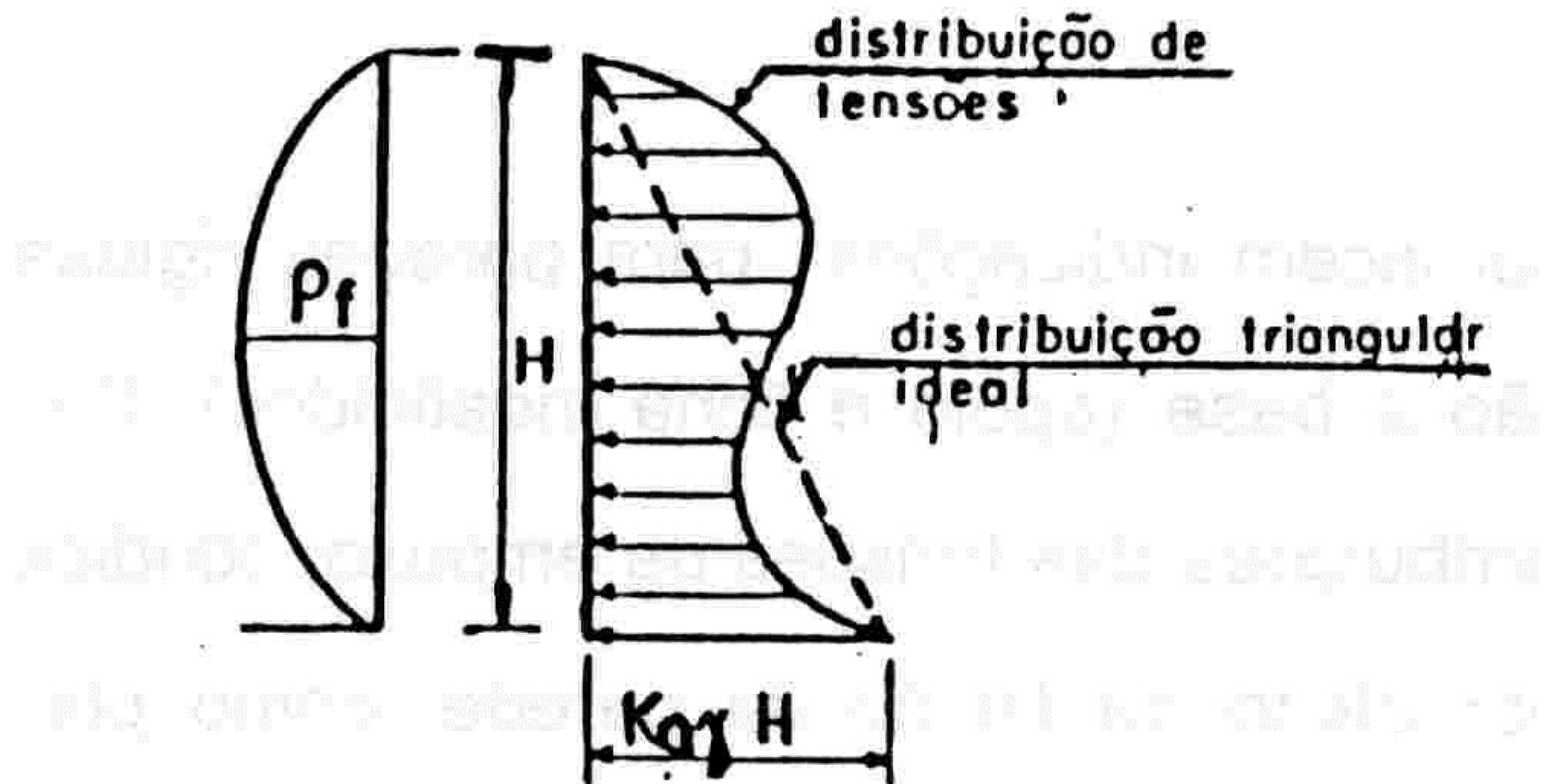
Os casos R-1, R-2 e R-3 fornecem indicações para paredes rígidas, e em condições pouco realísticas com relação à base (apoio e ficha indefinidos). Se as paredes forem flexíveis, haverá outras redistribuições das tensões de empuxo, condicionadas tanto pelos deslocamentos adicionais por efeito da flexão da parede, como por arqueamento. Os deslocamentos globais incrementados geralmente sugerem adotar o valor E_a no dimensionamento de paredes flexíveis.

Para as contenções flexíveis as figuras seguintes apresentam indicações de distribuições idealizadas de tensões, associadas a deslocamentos idealizados, sempre com ausência de consideração do apoio realístico da base.

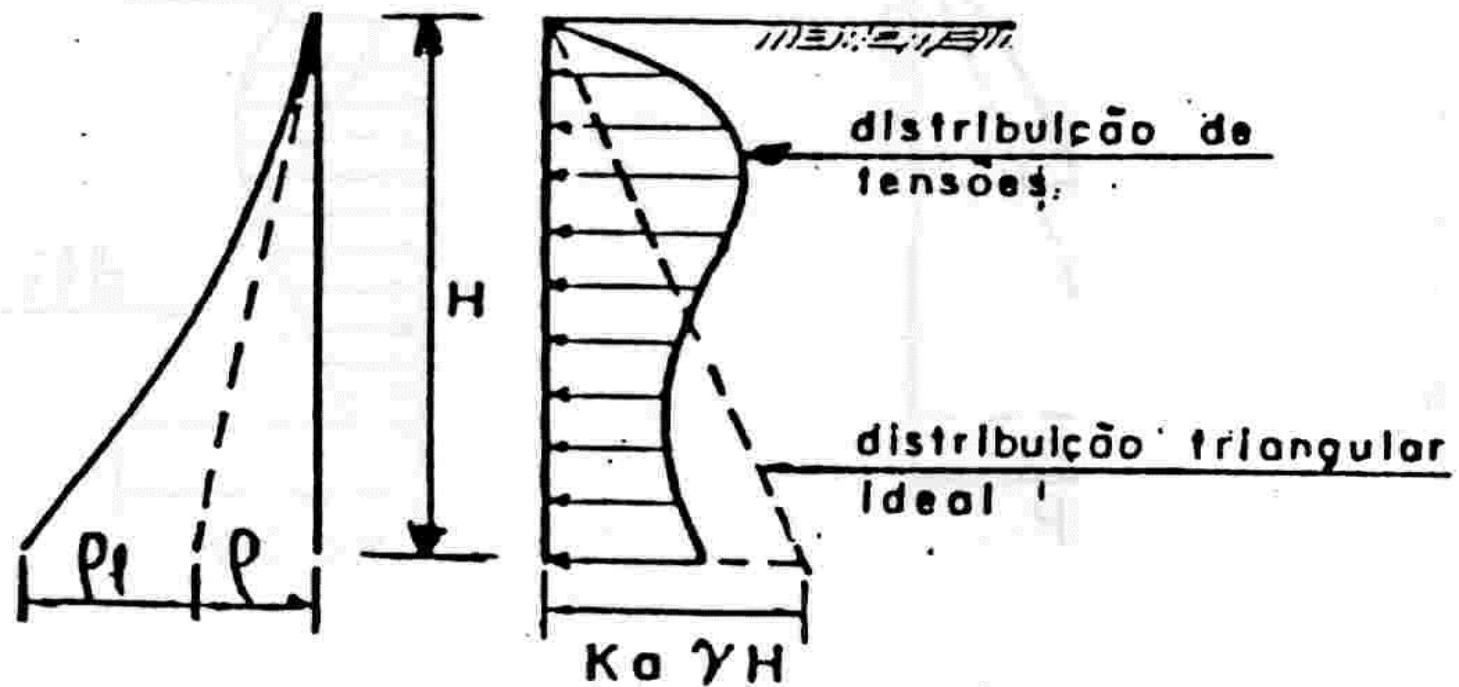




CASO (F-1): Parede flexível (Rotação em torno da base)



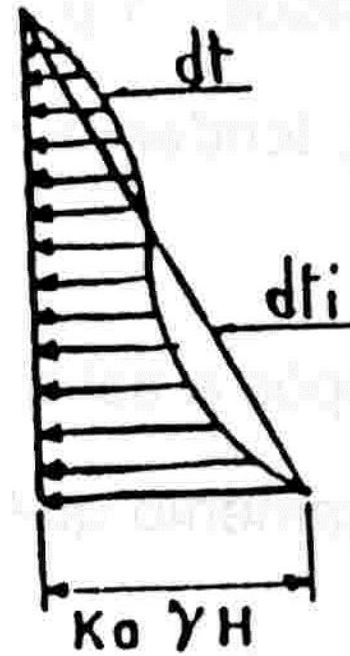
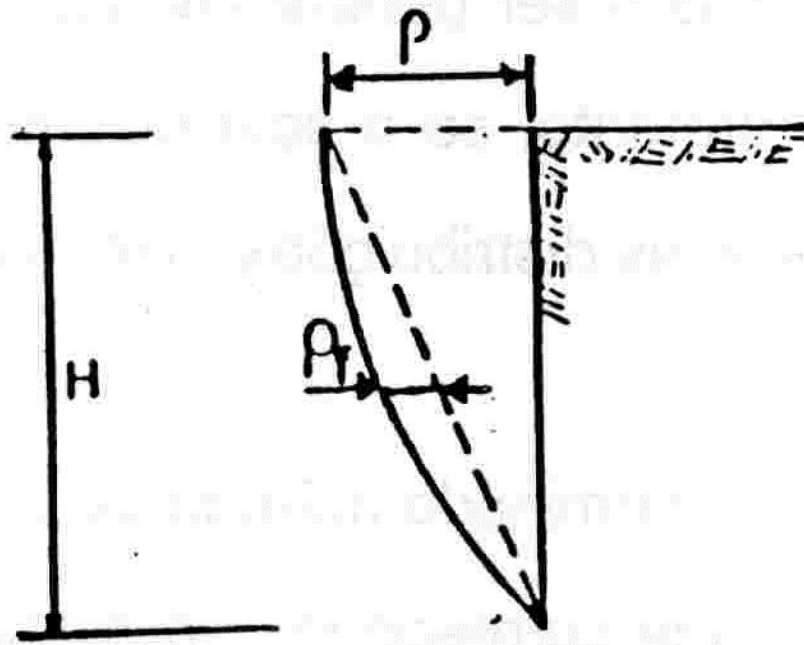
CASO (F-2) : Parede flexível (Topo e base fixos)



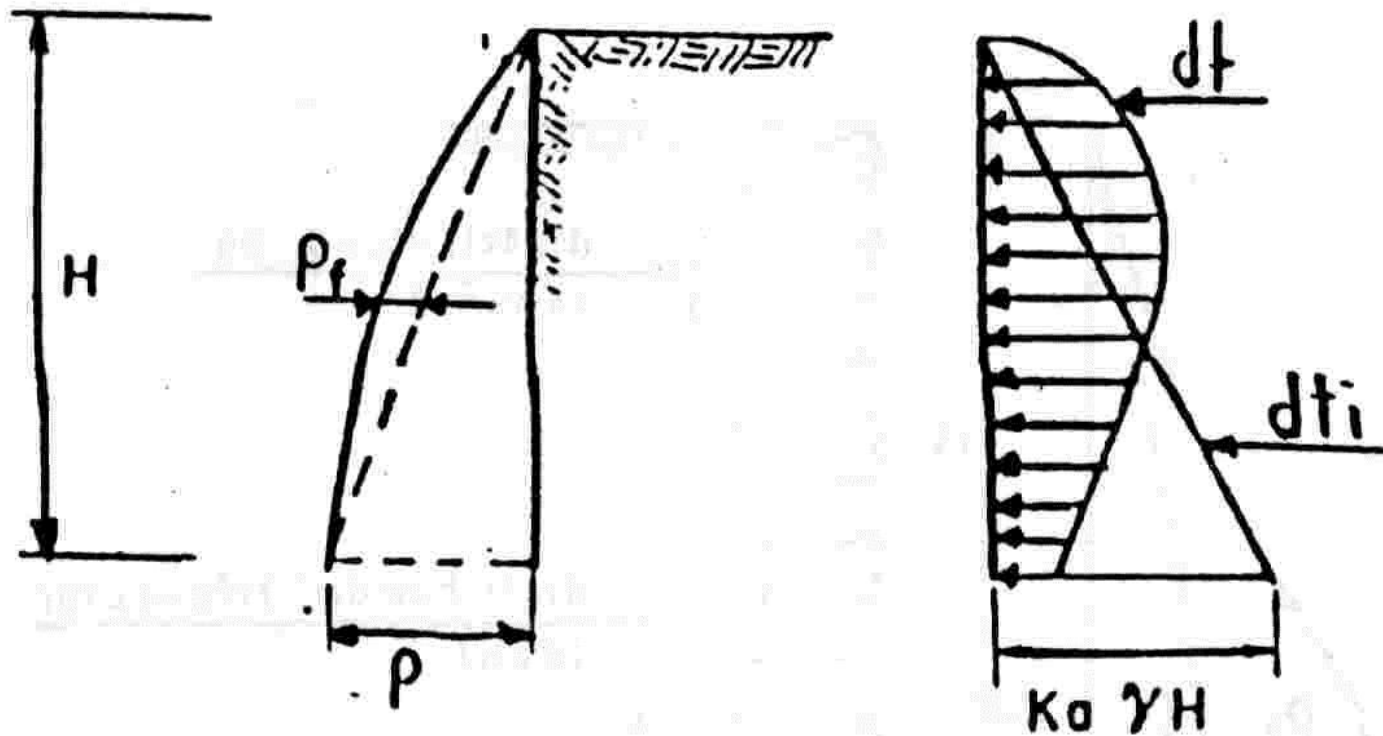
CASO (F-3): Parede flexível (Topo fixo); ρ_f (com flexão); ρ (sem flexão)

A associação de translação aos dois casos de rotação (F-1 e F-3) não modifica substancialmente a distribuição das tensões, diminuindo sempre o valor do Empuxo-força ao ativo.

Já no caso F-2, a associação a outras formas de deslocamento leva às seguintes distribuições:



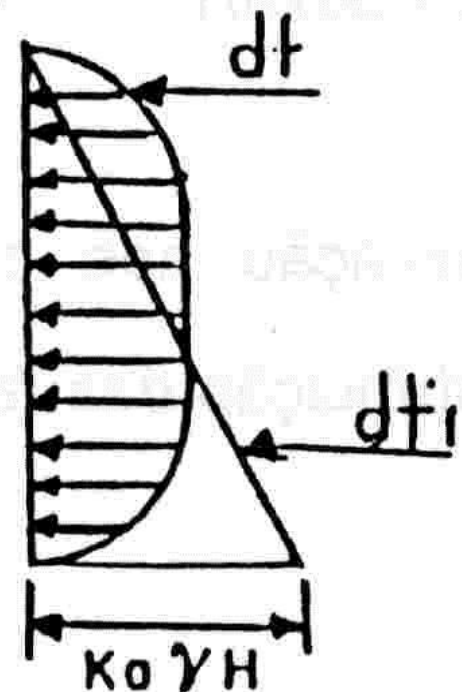
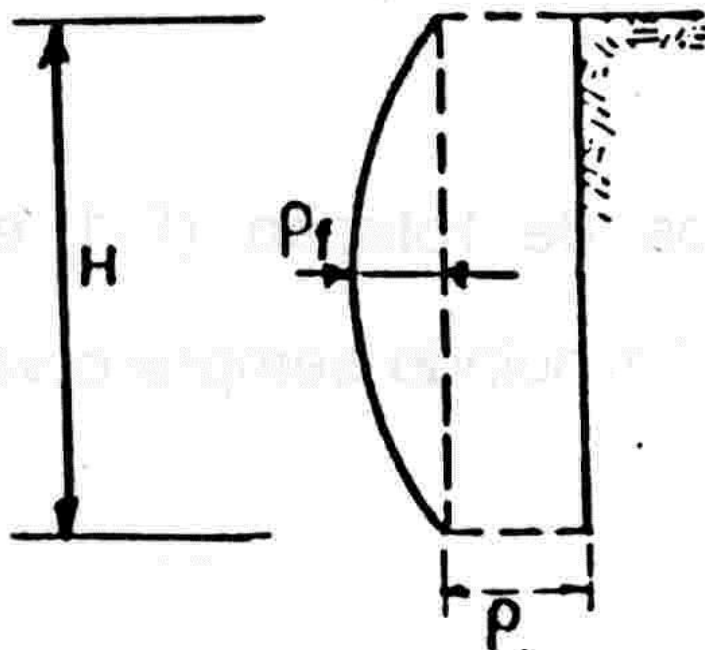
(dt = distribuição das tensões, dti = distribuição triangular ideal)



a) CASO (F-2): Com rotação em torno da base

(dt = distribuição das tensões, dti = distribuição triangular ideal)

b) CASO (F-2): Com rotação em torno do topo



(dt = distribuição das tensões, dt_i = distribuição triangular ideal)

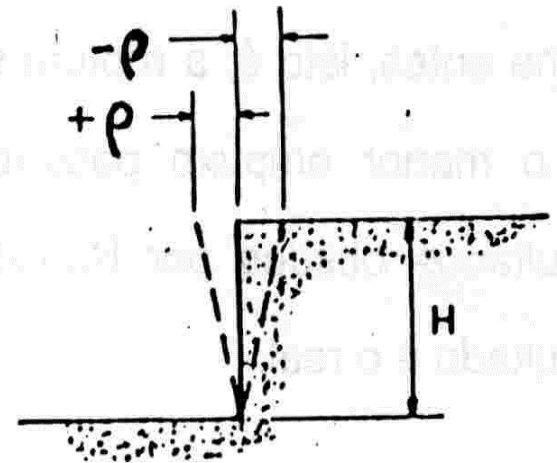
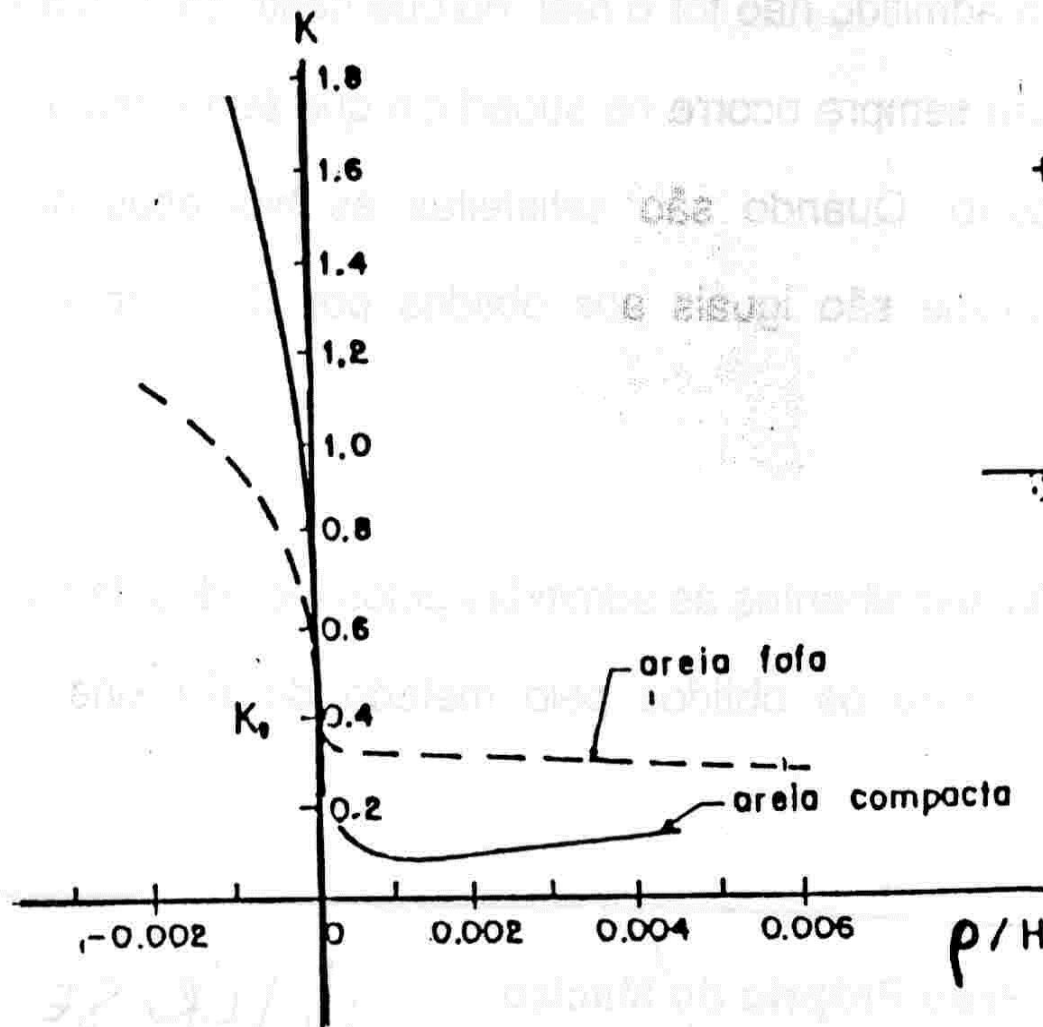
c) CASO (F-2): Com translação e rotação em torno do topo

Não obstante todas as distribuições de tensões terem sido observadas e estimadas para condições específicas, admite-se que possam ser generalizadas, com ajustes criteriosos, para a maioria dos casos da prática. Entretanto, se o solo do maciço arrimado não tem condições de arquear, tendem a prevalecer as distribuições triangulares do tipo geostático.

É possível verificar, após a aplicação de determinado método de cálculo, se a hipótese de distribuição do carregamento que foi adotada corresponde aproximadamente à deformada obtida.

Geralmente, tanto paredes de estacas metálicas como paredes-diafragma, nas dimensões usuais, comportam-se como sistemas flexíveis. Apenas paredes sujeitas a severas restrições de deslocamentos horizontais comportam-se como sistemas rígidos.

O empuxo ativo se desenvolve para deformações muito pequenas; já para o desenvolvimento do empuxo passivo são necessárias grandes deformações.



(TERZAGHI, 1954)

Pode-se utilizar qualquer método para cálculo dos empuxos. O método de Rankine normalmente é mais utilizado pela facilidade de sua aplicação. Este método foi deduzido a partir do círculo de Mohr e da envoltória de resistência do solo. Originalmente as equações foram deduzidas para solos não coesivos, acima do nível d'água, admitindo-se não haver atrito entre a parede de contenção e o solo. Posteriormente, estas equações foram estendidas para solos coesivos.

Os outros métodos de cálculo dos empuxos são os métodos de equilíbrio limite ou métodos cinemáticos. Estes métodos admitem o mecanismo de ruptura, isto é, partem da superfície de ruptura e do equilíbrio de forças. Existem diferentes métodos deduzidos a partir de diferentes formas de superfície de ruptura. O método de Coulomb, por exemplo, admite uma superfície plana de ruptura.

A diferença de resultados entre os diversos métodos varia em função do tipo de solo atingindo o máximo valor de 10% para o empuxo ativo.

O método de Rankine é mais conservador porque admite um campo de tensões que não viola a condição de plastificação, não formando obrigatoriamente o mecanismo de ruptura. Os métodos cinemáticos, que admitem o mecanismo de ruptura podem estar contra a segurança, se o mecanismo admitido não for o real, porque neste caso, o mecanismo real forma antes, isto é, a ruptura sempre ocorre na superfície que tem o maior empuxo ativo ou o menor empuxo passivo. Quando são satisfeitas as hipóteses de Rankine, os resultados obtidos por Rankine são iguais aos obtidos por Coulomb e neste caso o resultado é o real.

Na natureza as rupturas são semelhantes às admitidas pelos métodos de equilíbrio limite e os resultados reais estão entre os obtidos pelo método de Rankine e os Métodos Cinemáticos.

Comparação entre métodos de cálculo de empuxos

Apresenta-se a seguir um gráfico comparando o empuxo obtido por Rankine (válido para as condições ideais já mencionadas) com os obtidos por outros pesquisadores, cada um adotando uma diferente forma de superfície de deslizamento.

Cabem as seguintes observações de interesse:

No empuxo ativo.

O empuxo calculado pela fórmula de Rankine é sempre maior, aumentando a diferença em relação aos “cinemáticos” à medida que aumenta o atrito parede-solo (s).

Todos os empuxos obtidos pelos modelos cinemáticos, também no empuxo passivo são contra a segurança. Entretanto, os que adotam superfície curva são próximos, enquanto o que adota superfície reta (Coulomb) é muito irrealístico para $s = f$. Sobretudo quando $s = f/2$, todos os cinemáticos dão resultados próximos. Como a superfície curva é mais realística, somente deve ser utilizada a superfície reta se o valor de s se limitar a $f/2$.

Na prática se utiliza a expressão de Rankine por facilidade, mas com coeficientes K_a e K_p obtidos dos modelos cinemáticos $\ell_a = k_a \gamma h - 2\sqrt{k_a}$ e $e_p = k_p \gamma h + 2c\sqrt{k_p}$

Como K_a e K_p são obtidos para solos não-coesivos as fórmulas são mais representativas para o caso de pequenos valores de coesão.

Quando a coesão é significativa, são adotados empuxo passivo ou, ainda, ficha mínima da parede.

EMPUXOS

TEORIA

**- APLICAÇÃO DA TEORIA DA
PLASTICIDADE**

**- CÁLCULO PELO TEOREMA CINEMÁTICO
OU PELO TEOREMA ESTÁTICO**

(LAMBE & WHITMAM)

(FUNDAÇÕES – TEORIA E PRÁTICA – D. VELLOSO)

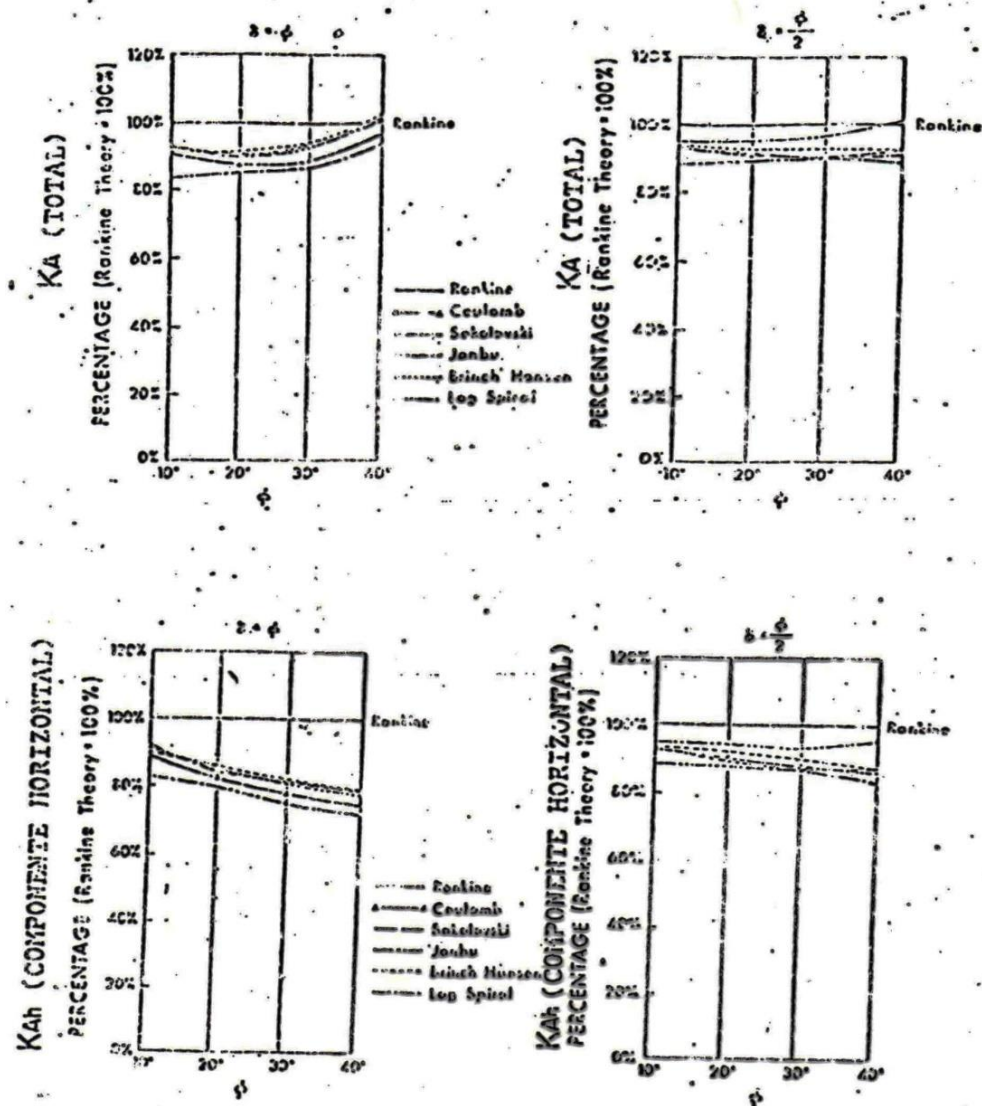


FIGURA E-1 (17) - COMPARAÇÃO ENTRE VALORES DE K_A
(COEFICIENTE DE EMPUJO ATIVO) OBTIDOS
POR DIVERSAS TEORIAS

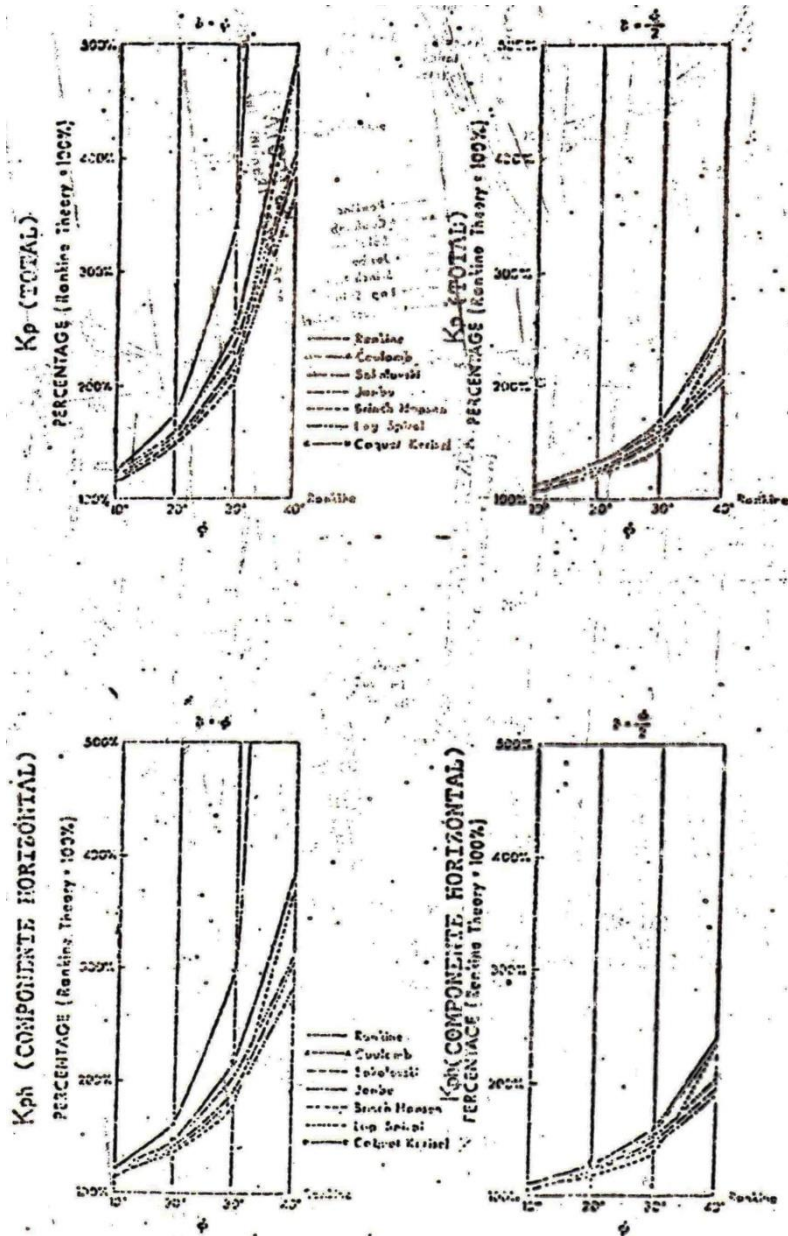


FIGURA E-2 (17) - COMPARAÇÃO ENTRE VALORES DE K_p (COEFICIENTE DE EMPUXO PASSIVO) OBTIDOS POR DIVERSAS TEORIAS

Empuxo Ativo - Repouso

Quando os valores dos deslocamentos da parede de contenção não forem suficientes para a mobilização total do empuxo ativo - o que corresponde à utilização de paredes mais rígidas para limitar deslocamentos - deverão ser considerados valores intermediários entre o empuxo ativo e o empuxo em repouso.

Influência da água

A. No empuxo ativo

A.1 - Terrenos homogêneos

Quando o meio for homogêneo ou puder ser admitido como tal, distinguem-se dois casos extremos: meio permeável e meio impermeável.

Meio Permeável

Se a parede de contenção também for permeável, admite-se que o lençol freático seja rebaixado, por ação da drenagem da parede, ou por um sistema de bombeamento. Neste caso considera-se suficiente calcular o empuxo de acordo com as recomendações anteriores, considerando peso específico natural do solo se a eficiência do rebaixamento for tal que o lençol freático não intercepte a parede acima do fundo da escavação; caso contrário, o empuxo deverá ser determinado por método cinemático através da pesquisa da superfície crítica considerando a interferência do lençol freático, e a piezometria no maciço arrimado.

Se a parede for impermeável e o método construtivo considerar rebaixamento do lençol freático, aplicam-se as mesmas recomendações . Entretanto, não sendo previsto o rebaixamento, o empuxo deve ser calculado admitindo nível d'água estático, isto é, o empuxo hidrostático deve ser somado ao empuxo de terra calculado com peso específico submerso do solo.

Meio Impermeável

Neste caso admite-se que não haja rebaixamento, (exceção feita a casos de solos de comportamento singular). Se a parede for impermeável pode-se adotar o nível d'água como estático e somar o empuxo hidrostático ao empuxo de terra calculado com o peso específico submerso do solo; pode-se ou utilizar métodos de cálculo cinemáticos considerando as redes de percolação com as condições de contorno. No caso de paredes permeáveis, além da parcela devida à permeabilidade e ao gradiente imposto, conta-se também com a contribuição do fluxo pela parede que não é mais um elemento de restrição às vazões defluentes. Assim, a solução consiste em avaliar a posição da rede de fluxo transiente em determinados instantes, compatíveis com o avanço da escavação.

Os procedimentos de cálculo usualmente empregados ou desprezam a influência da água (admitindo que a parede provoque o rebaixamento do lençol) ou consideram um nível d'água estático-fictício (equivalente a uma certa altura da parede). Estes somente podem ser utilizados se for comprovado que não conduzem a resultados desfavoráveis em relação à segurança; caso contrário, recomenda-se que sejam traçadas as redes de fluxo (incrementalmente ou não, conforme o caso) e se considere o efeito da água na superfície crítica. O mesmo procedimento deve ser aplicado a paredes tornadas permeáveis por meio de drenos ou de furos.

Terrenos estratificados

No caso de meios estratificados aplicam-se os mesmos conceitos já apresentados, com as devidas adaptações , levando em conta, principalmente, a eventual falta de eficiência do rebaixamento; assim, se houver rebaixamento devem ser aplicados métodos cinemáticos para determinação da superfície crítica, quer a parede seja impermeável ou não; se não houver rebaixamento e a parede for permeável aplica-se também o mesmo critério, mas se a parede for impermeável, pode-se superpor o empuxo hidrostático ao empuxo de terra calculado com peso específico submerso. Os mesmos critérios são aplicados também no caso de lençóis empoleirados, lembrando-se apenas que no caso de redução da pressão hidrostática com a profundidade, o empuxo de terra deve ser calculado com o peso específico submerso do solo somado às pressões de água.

Observações:

- No caso de utilização de drenos no maciço impermeável, é preciso traçar redes de fluxo para determinar a superfície crítica, levando em conta o efeito da água.
- Em princípio o nível d'água a ser considerado deve ser o indicado pelas sondagens; porém levando em consideração a época de sua execução, as condições hidrogeológicas e topográficas do local, pode ser adotada sobreelevação do nível.

B. No empuxo passivo

Face à importância do empuxo passivo para a estabilidade da parede, principalmente na última fase de escavação, utiliza-se peso específico submerso. Em casos excepcionais, com reforço efetivo do sistema de rebaixamento de forma a garantir ausência de água na cunha de empuxo passivo, pode ser utilizado o peso específico natural do solo. Nas fases intermediárias de escavação, existindo rebaixamento, não deve ser considerada a presença de água, a não ser em casos excepcionais por falta de eficiência do rebaixamento.

O coeficiente de segurança no empuxo passivo deve ser aplicado apenas às tensões efetivas, calculadas com peso específico submerso.

C. No empuxo em repouso

Se o meio puder ser considerado permeável e a parede também for permeável, haverá necessariamente rebaixamento do lençol freático; se este for eficiente a ponto de manter o nível d'água junto à parede abaixo do fundo da escavação, calcula-se o empuxo em repouso com peso específico natural do solo; se o nível d'água interceptar a parede acima do fundo da escavação, o empuxo deve ser calculado através de meio contínuo considerando as forças de percolação e a restrição aos deslocamentos da parede. Se a parede for impermeável e o lençol for rebaixado, aplicam-se os mesmos procedimentos; se o lençol não for rebaixado, considera-se o nível d'água estático e superpõem-se as pressões hidrostáticas às tensões horizontais devidas ao empuxo de terra, calculado com peso específico submerso.

Este mesmo procedimento aplica-se ao caso de meio impermeável com parede impermeável. Finalmente, no caso de meio impermeável (sem rebaixamento, portanto) e parede permeável, o cálculo deve ser realizado através de meio contínuo considerando a restrição a deslocamentos horizontais da parede e levando em conta, como já mencionado no item A, a velocidade de escavação e a velocidade de rebaixamento do nível d'água.

Se o meio for estratificado, valem os mesmos conceitos considerando a falta de eficiência do rebaixamento.

Definição das sobrecargas de cálculo

Devem ser consideradas no cálculo das obras provisórias do método em trincheira, as cargas adicionais decorrentes da existência de edificações situadas nas imediações das estruturas de contenção e da possibilidade de acesso, próximo a vala, de veículos e equipamentos de construção.

Para edifícios em fundação direta o nível de aplicação do carregamento é o próprio nível das sapatas. Em se tratando de fundações profundas, torna-se necessário analisar caso a caso, estimando-se a distribuição do atrito lateral e a carga de ponta e a influência na parede da vala a partir de soluções da Teoria da Elasticidade.

Para atender ao depósito de materiais de construção e ao tráfego de veículos e equipamentos na faixa lateral à vala, definem-se dois tipos de sobrecargas equivalentes a sobrecarga geral uniformemente distribuída ($P=10\text{kN/m}^2$) abrange as cargas provenientes dos depósitos de materiais de construção (tais como terra, aço e pedra) e também as cargas provenientes do tráfego de veículos.

No empuxo passivo.

No cálculo do empuxo passivo quaisquer sobrecargas acidentais não devem ser consideradas.

Empuxo Assimétrico

Os empuxos de um e de outro lado da vala escorada podem ser diferentes e, neste caso, deve ser verificada a parede de maior carregamento. No caso extremo das cargas serem muito diferentes, deve-se verificar se existe um coeficiente de segurança mínimo de 2, em relação ao empuxo passivo que pode ser mobilizado pela parede menos carregada. Aplica-se a este método de cálculo que supõe estroncas pré-comprimidas (método para Sistemas de Contenção Rígidos). Pode-se, também, considerar as duas paredes simultaneamente se os deslocamentos da parede menos carregada implicarem em redistribuição das forças nas estroncas; neste caso, as paredes passam a ser representadas, estruturalmente, por pórticos.