

Contenções em Cortinas com Ficha Descontínua – Um Caso de Obra: Comparação entre Métodos Usuais de Projeto e Instrumentação.

Karolyn Resch de Moraes Santos
UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, karolynresch@gmail.com

Bernadete Ragoni Danziger
UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, bernadeterd@hotmail.com

Denise Maria Soares Gerscovich
UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, denisegerscovich@gmail.com

Eduardo Vidal Cabral
UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, eduardo.cabral@sigma1.eng.br

RESUMO: Cortinas com ficha descontínua são empregadas com frequência como contenção de paredes de subsolo e de valas para execução de obras subterrâneas. Esta técnica se mostra como uma solução econômica, quando comparada a outros tipos de estruturas, principalmente quando utilizada em solos mais resistentes e com nível d'água profundo. Poucos estudos para melhoria do projeto deste tipo de estrutura foram realizados até o momento. O presente trabalho ilustra uma comparação entre alguns procedimentos simplificados, comuns na prática, e o método de Weissenbach, tradicionalmente proposto em recomendações de obras de escavações, como a da Sociedade Geotécnica Alemã. Um caso de obra bem caracterizado e instrumentado será utilizado nesta comparação. A instrumentação consistiu em inclinômetros junto a perfis de contenção. A obtenção do perfil de deslocamento previsto para diferentes etapas construtivas e o previsto pelo método de Weissenbach comprova a adequabilidade da sugestão do emprego do método nas recomendações. O trabalho discute algumas limitações dos procedimentos simplificados e conclui sobre a vantagem da utilização da metodologia proposta pela Sociedade Geotécnica Alemã.

PALAVRAS-CHAVE: Ficha descontínua, Perfis com Pranchada, Contenção, Escavação.

1 INTRODUÇÃO

As cortinas com ficha descontínua são empregadas com frequência como contenção de paredes de subsolo e de valas em obras subterrâneas. O tipo mais comum consiste na cravação de perfis metálicos, anterior à escavação, e o prosseguimento da execução da escavação com o posicionamento de pranchas de madeira, apoiadas nos perfis com auxílio de cunhas, à medida em que a escavação avança, até sua cota final, Figura 1. Dependendo da profundidade escavada, a cortina pode trabalhar em balanço ou ter um ou vários níveis de apoio.

Costuma-se também utilizar, no trecho escavado, pranchas pré-moldadas de concreto ou mesmo uma blindagem metálica, entre os perfis cravados, esta última alternativa sendo empregada quando da presença de camadas de argila de baixa consistência.

Os manuais de projeto tratam do assunto de uma forma simplificada.

No Brasil, quando do início da construção do Metrô no Rio de Janeiro, os consultores alemães introduziram algumas diretrizes de projeto que incluía a consideração da ficha descontínua. Tais diretrizes tiveram por base as pesquisas de Weissenbach (1962).

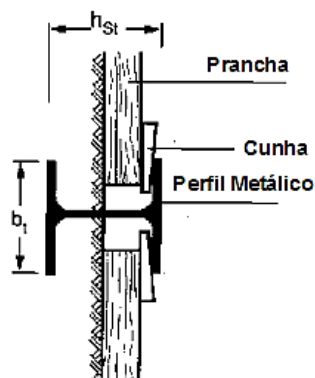


Figura 1. Solução em perfil metálico com pranchada.

O objetivo deste artigo é de se proceder a uma comparação entre as propostas de cálculo mais simples recomendadas na prática, e aquela proposta pelo EAB (2008), baseada na contribuição de Weissenbach (1962). A comparação é procedida num caso de obra bem documentado cujo comportamento foi acompanhado através de instrumentação.

2 MODELOS DE CÁLCULO

2.1 Velloso (1958)

Velloso (1958) resumiu a consideração de alguns autores visando nortear o projeto de cortinas com ficha descontínua, bem como outras situações em que o efeito de arco se mostra presente nas fundações. O relatório elaborado por Velloso (1958), documento interno da empresa Estacas Franki, encontra-se detalhado em Santos (2016).

Velloso (1958) destaca na Figura 2, que para valores de espaçamento “ a_t ” entre perfis suficientemente pequenos, pode-se admitir que a cortina funcione como se a ficha fosse contínua. Aumentando-se o espaçamento “ a_t ”, o cálculo pode ser ainda feito como se fora uma cortina contínua, levando em conta o efeito de arco entre os perfis verticais, porém reduzindo-se o empuxo passivo. Aumentando-se ainda mais o espaçamento se chegará a um certo valor de “ a_t ” para o qual os perfis verticais trabalharão de forma independente, como estacas verticais submetidas a esforços horizontais.

Com base no trabalho de Dorr (1922), e para o caso particular de condições drenadas,

Velloso (1958) chega a um valor limite de $\frac{a_t}{b_t} = 3,3$. Ou seja, se o espaçamento entre perfis for igual ou inferior a 3,3 vezes a sua largura, para uma dada altura de escavação h , a ficha necessária é a mesma que se obteria para uma ficha contínua. Para espaçamento a_t entre eixos de perfis superior a $3,3 b_t$, Velloso (1958) sugere que o cálculo seja feito como se fora uma cortina com ficha contínua, porém multiplicando o empuxo passivo mobilizado por um fator de redução dado por $3,3 b_t / a_t$. Velloso (1958) esclarece ainda que no caso das cortinas de contenção do subsolo do Edifício Avenida Central foi adotado o valor de 3, ao invés de 3,3, sendo, o fator de redução igual a $\frac{3 \cdot 12 \text{ cm}}{60 \text{ cm}} = 0,60$.

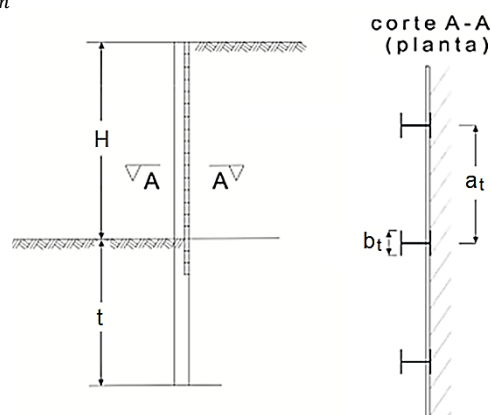


Figura 2. Cortina com ficha descontínua, Velloso (1958).

2.2 Manual Canadense de Fundações

O *Canadian Foundation Engineering Manual*, versão de 2006, CGS (2006), enfatiza que para perfis trabalhando com ficha descontínua, as tensões desenvolvidas no solo no trecho da ficha devem ser computadas, de forma conservativa, como três vezes o valor da largura do perfil, desde que o espaçamento entre eixos dos perfis seja superior a três vezes a sua largura. Para espaçamentos menores, a cortina deve se comportar como se tivera ficha contínua.

2.3 Método de Weissenbach (2003)

Embora o método original seja de 1962, Weissenbach et al. (2003) descrevem o método de forma clara e em consonância com a notação utilizada em *Recommendations on Excavations*,

EAB (2008). Porém, enquanto as recomendações não detalham o procedimento, Weissenbach et al. (2003) esclarecem a experiência adquirida pelos autores em várias obras, além de ilustrar os diferentes diagramas de empuxo propostos para as várias etapas executivas. Neste item se apresentará apenas a situação em balanço, por ser esta a estudada nas aplicações do item 4.

O EAB (2008) considera a seguinte notação: componente horizontal, subscrito “h”; tensão ativa, subscrito “a” e passiva “p”; carga permanente de peso próprio do maciço, subscrito “g”; sobrecarga móvel infinita, subscrito “p”; parcela coesiva, subscrito “c”.

No trecho ativo utiliza-se a teoria de Coulomb, considerando uma cunha de ruptura plana e o ângulo de atrito entre o solo e a parede como $\delta_a = +2/3 \phi'$. Embora a teoria de Coulomb não considere o diagrama de tensões, são adotados os diagramas de Rankine com os coeficientes K_{ah} da componente horizontal de Coulomb, diagramas ilustrados na Figura 3.

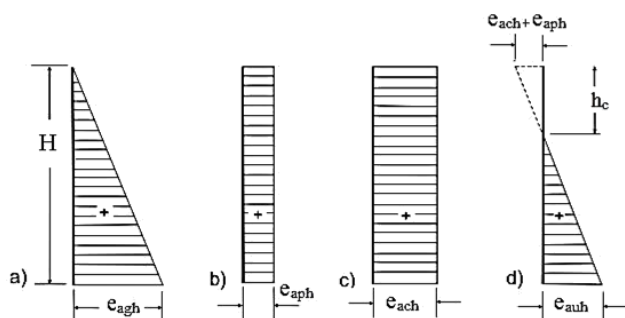


Figura 3. Tensão horizontal ativa para $e_{aph} < |e_{ach}|$: a) Tensão horizontal devida ao peso do solo; b) Devida à sobrecarga; c) Devida à coesão; d) Superposição das tensões, sendo e_{auh} a resultante no nível da escavação.

O procedimento de Blum (1931) tem sido usado na determinação dos esforços internos e comprimento de ficha em cortinas em balanço. A ideia daquele autor consiste na simplificação do procedimento convencional, mais extenso e, portanto, demorado. Blum (1931) sugere que o diagrama das tensões horizontais resistentes (passivo mobilizado) pelo solo abaixo do centro de rotação, Figura 4.b e c, seja substituído por um diagrama triangular simplificado, Figura 4.d. Desta forma, a área da resistência mobilizada em excesso ao diagrama triangular deve ser adicionada do lado oposto da cortina, de forma a não interferir com o equilíbrio de

forças e momentos, Figura 4.e. Abaixo do centro de rotação, o diagrama real do empuxo passivo resistente é combinado com o diagrama em excesso e substituído pela força resistente resultante “C”, Figura 4.e, resultando num sistema estaticamente determinado.

O método EAB sugere a aplicação de um coeficiente de redução do coeficiente de empuxo passivo, K_{ph} , resultando no coeficiente reduzido, K'_{ph} . No caso de perfis metálicos, o coeficiente de empuxo passivo espacial (com o efeito de arco) é identificado como ω'_{ph} .

A superposição dos diagramas ativo e passivo reduzido em solos homogêneos resulta no diagrama da Figura 5.b e c (para coeficiente de empuxo passivo espacial).

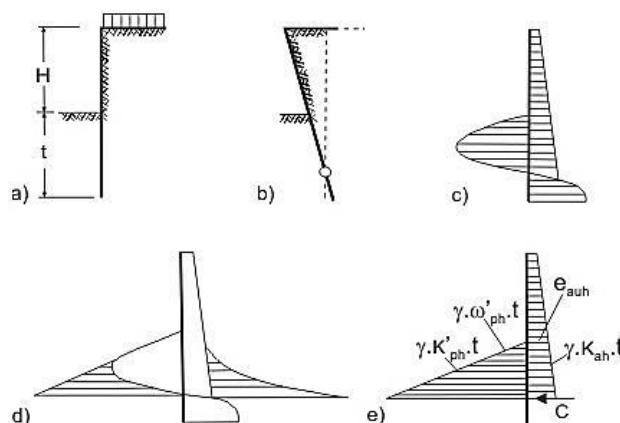


Figura 4. Tensão horizontal para paredes em balanço de acordo com Blum: a) Seção transversal da escavação; b) Deformação da cortina; c) Tensões reais; d) Complementação do empuxo resistente em excesso; e) Simplificação de Blum.

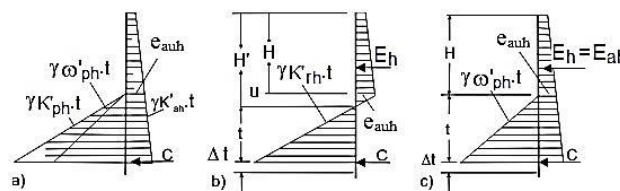


Figura 5. Tensão horizontal para paredes em balanço: a) Simplificação de Blum; b) Distribuição de tensões para paredes de estacas pranchas metálicas; c) Distribuição de tensões para perfis com pranchada.

Na aplicação a paredes de estacas pranchas e cortinas de concreto, a profundidade, abaixo do nível da escavação, onde as tensões são nulas é:

$$u = \frac{e'_{auh}}{\gamma (K'_{ph} - K_{ah})} = \frac{e'_{auh}}{\gamma K'_{rh}} \quad (1)$$

onde: K'_{ph} é o coeficiente de empuxo passivo reduzido; K_{ah} é o coeficiente de empuxo ativo; K'_{rh} é o coeficiente de empuxo horizontal resultante ($K'_{ph} - K_{ah}$).

No caso de cortina em perfis com pranchamento e ficha descontínua, a tensão horizontal ativa abaixo do fundo da escavação é desconsiderada no cálculo da ficha. Assim, a profundidade do ponto de tensões nulas, dado pela equação (1) é zero e o ponto de tensões nulas coincide com o nível da escavação.

No caso do cálculo das tensões passivas, os valores de K_p de teorias de estado plano fornecem projetos antieconômicos, e estudos que contemplam o efeito tridimensional são recomendados. Segundo a proposta de Weissenbach (1962), a resultante do empuxo passivo espacial, E^*_{ph} é dada por:

$$E^*_{ph} = \frac{1}{2} \gamma \omega_R t^3 + 2 c \omega_K t^2 = \frac{1}{2} \gamma \omega_{ph} a_t t^2 \quad (2)$$

onde: γ é o peso específico do solo; t é o embutimento da estaca (ficha); c é a coesão; a_t é o espaçamento entre perfis; ω_R e ω_K são fatores que dependem do ângulo de atrito φ' e da razão entre a largura do perfil, b_t , e a ficha t , Tabela 1. Tais fatores foram obtidos com base na premissa de que as zonas de ruptura do solo mobilizada por cada perfil não coincidam. Deve-se verificar se o cálculo assumindo zonas que se interceptem não resulte numa resistência mobilizada menor, equação (5).

Na prática as estacas metálicas das cortinas com ficha descontínua são calculadas considerando-se a continuidade da cortina. Neste caso, de acordo com a equação (2), o valor de ω_{ph} equivalente à tensão horizontal passiva do caso plano vale:

$$\omega_{ph} = \frac{2 E^*_{ph}}{\gamma t^2 a_t} \quad (3)$$

No caso em que $c = 0$ na equação (2), a equação (3) pode ser escrita como:

$$\omega_{ph} = \frac{\omega_R t}{a_t} \quad (4)$$

Para um pequeno espaçamento entre estacas, as zonas de ruptura se interceptam e, neste caso,

o valor de ω_{ph} equivalente à tensão horizontal passiva do caso plano vale:

$$\omega_{ph} = \frac{b_t}{a_t} [K_{ph(\delta_p \neq 0)}] + \frac{a_t - b_t}{a_t} [K_{ph(\delta_p = 0)}] + \frac{4 c}{\gamma t} \sqrt{K_{ph(\delta_p \neq 0)}} \quad (5)$$

onde δ_p é o ângulo de atrito entre o solo e a cortina.

Para solos não coesivos, o terceiro termo da equação (5) é nulo. Se o perfil metálico é impedido de se deslocar verticalmente e o atrito entre o solo e a cortina pode ser totalmente mobilizado, o valor máximo de δ_p é considerado como $\delta_p = -(\varphi' - 2,5^\circ)$ para solos com $\varphi' \leq 30^\circ$ e $\delta_p = -27,5^\circ$ para solos com $\varphi' \geq 30^\circ$.

Tabela1. Coeficientes espaciais de empuxo passivo para perfis metálicos.

Coeficiente ω_R							
$f_t = \frac{b_t}{t}$	ângulo de atrito φ' em graus						
	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
0,05	0,90	1,13	1,44	1,71	2,09	2,57	3,16
0,10	1,28	1,59	2,04	2,42	2,96	3,63	4,47
0,15	1,56	1,95	2,50	2,97	3,63	4,45	5,48
0,20	1,80	2,26	2,88	3,43	4,19	5,14	6,32
0,25	2,02	2,52	3,22	3,83	4,68	5,74	7,07
0,30	2,21	2,76	3,53	4,30	5,13	6,29	7,75
Coeficiente ω_K							
$f_t = \frac{b_t}{t}$	ângulo de atrito φ' em graus						
	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
0,05	1,50	1,70	1,94	2,1	2,41	2,73	3,10
0,10	2,14	2,41	2,75	3,03	3,41	3,86	4,38
0,15	2,62	2,95	3,37	3,71	4,18	4,73	5,36
0,20	3,03	3,41	3,89	4,29	4,83	5,47	6,19
0,25	3,39	3,81	4,36	4,79	5,40	6,11	6,93
0,30	3,71	4,17	4,76	5,25	5,91	6,69	7,59

O mecanismo de ruptura que resultar na menor tensão resistente deverá ser adotado. O menor valor de K_p deve ser, assim, inserido na equação (5). Weissenbach et al. (2003) propõem os valores de K_{ph} de Streck (1935), Tabela 2. Os valores de K_{ph} considerando o δ_p acima, para o caso de restrição ao deslocamento vertical do perfil, são apresentados na linha indicada por $-\delta_p^*$ da Tabela 2. No caso de δ_p nulo, os valores de Streck (1935) coincidem

com os valores de Coulomb que, por sua vez, coincidem com os de Rankine.

O valor de ω_{ph} pode ser calculado tanto pela equação (3) como pela equação (5), sendo o menor adotado no projeto. De acordo com as recomendações da EAB, os parâmetros característicos de resistência ao cisalhamento do solo são estimados como valores médios do lado da segurança. Os cálculos das tensões horizontais ativas e passivas recomendados levam a valores aproximados próximos aos valores reais. De forma a evitar a ruptura da cortina, as tensões horizontais passivas devem ser reduzidas por um fator de segurança η_p . Para paredes de estacas prancha, paredes diafragma de concreto e paredes de estacas justapostas, tem-se:

$$E'_{ph} = \frac{E_{ph}}{\eta_p} \cong \frac{1}{2} \gamma K'_{ph} t^2 + \frac{2c\sqrt{K_{ph}}}{\eta_p} \quad (6)$$

onde: η_p é o fator de segurança para empuxo passivo.

Para estacas com ficha descontínua, tem-se:

$$E'_{ph} = \frac{E_{ph}}{\eta_p} = \frac{1}{2} \gamma \omega'_{ph} t^2 \quad (7)$$

Sendo,

$$K'_{ph} = \frac{K_{ph}}{\eta_p} \quad e \quad \omega'_{ph} = \frac{\omega_{ph}}{\eta_p} \quad (8)$$

Para paredes contínuas, a tensão horizontal passiva reduzida vale:

$$e'_{pgh} = \gamma K'_{ph} t \quad e \quad e'_{pch} \cong \frac{2c\sqrt{K_{ph}}}{\eta_p} \quad (9)$$

Para solos moles, ou se a escavação é adjacente a edificações, maiores fatores de segurança podem ser escolhidos para limitar os deslocamentos para as condições de trabalho.

Introduzindo os valores K'_{ph} e ω'_{ph} no projeto, o fator de segurança η_p influencia tanto a profundidade da ficha como os esforços cisalhantes. Os esforços na parede podem ser determinados usando um fator de redução de:

$\eta_p = 1,3$ para cortinas de estacas prancha e $\eta_p = 1,5$ para perfis metálico com pranchada (ficha descontínua).

Tabela 2. Coeficientes de empuxo passivo K_{ph}

δ_p	$\phi' \text{ (}^\circ\text{)}$							
	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
$-\delta_p^*$	3,23	3,81	4,51	5,46	6,15	7,12	8,27	9,64
-40								14,00
-37,5							11,30	13,20
-35						9,07	10,50	12,30
-32,5					7,27	8,42	9,78	11,40
-30				5,96	6,71	7,78	9,03	10,50
-27,5			5,24	5,46	6,15	7,12	8,27	9,64
-25		4,35	4,51	5,11	5,84	6,72	7,82	9,12
-22,5	3,70	3,81	4,27	4,86	5,56	6,41	7,41	8,62
-20	3,23	3,62	4,08	4,66	5,31	6,10	7,03	8,15
-17,5	3,09	3,48	3,92	4,46	5,07	5,80	6,67	7,69
-15	2,98	3,35	3,76	4,27	4,83	5,50	6,31	7,24
-12,5	2,87	3,22	3,60	4,07	4,59	5,21	5,95	6,80
-10	2,75	3,08	3,43	3,87	4,35	4,91	5,59	6,36
-7,5	2,64	2,94	3,26	3,66	4,11	4,61	5,22	5,92
-5	2,51	2,79	3,08	3,45	3,86	4,31	4,85	5,48
-2,5	2,39	2,63	2,90	3,23	3,60	4,00	4,48	5,04
0	2,24	2,46	2,72	3,00	3,32	3,69	4,11	4,60

3 CASO EM ESTUDO

A obra situa-se na região central da cidade do Rio de Janeiro / RJ. Há no entorno um terreno não construído, um prédio antigo, um edifício recente e acesso a uma rua movimentada. Um esquema é apresentado na Figura 6, onde as letras 'A' a 'D' indicam o nome dado a cada parede de contenção.

A contenção foi projetada em balanço com perfis espaçados a cada metro (no trecho em estudo), com pranchamento em pré-lajes de concreto no trecho escavado, Figura 7. A altura de escavação foi de aproximadamente 4,4 m. Os perfis foram implantados em estacas raízes de 41 cm de diâmetro, formando assim uma ficha de 7,6 m de perfil mais estaca raiz e 2,0 m apenas de estaca raiz.

O subsolo é composto predominantemente por areia, com nível d'água próximo à superfície. Contém camadas de argila de baixa consistência apenas abaixo de uma

profundidade de 13 m. O nível d'água foi rebaixado por ocasião da escavação até a profundidade de 5,0 m. A Figura 8 ilustra o perfil geotécnico local, a Tabela 3 a descrição das camadas e a Tabela 4 resume os parâmetros geotécnicos, obtidos através de correlações da literatura com SPT.

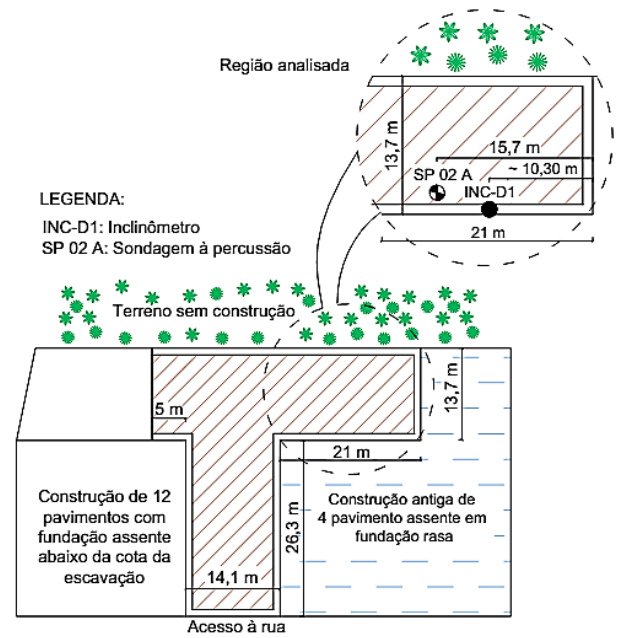


Figura 6. Geometria e situação da obra, Santos (2016).

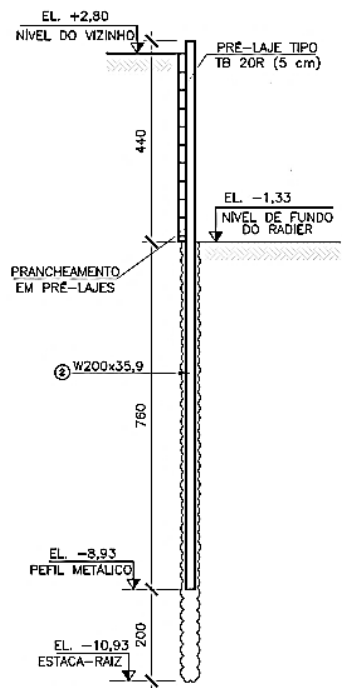


Figura 7. Configuração de projeto, Santos (2016).

O prédio antigo de 4 pavimentos, em fundação rasa, transmite uma sobrecarga de

cerca de 40 kN/m² a uma profundidade de 1,4m abaixo do nível do terreno.

Tabela 3. Descrição das camadas

Camada	Descrição	N _{SPT} médio	Espessura (m)
1	Areia fina	7,1	8
2	Areia siltosa	7,6	5
3	Argila siltosa	2,5	2
4	Areia fina	8,0	3
5	Argila arenosa	12,2	6
6	Silte argiloso	29,3	6

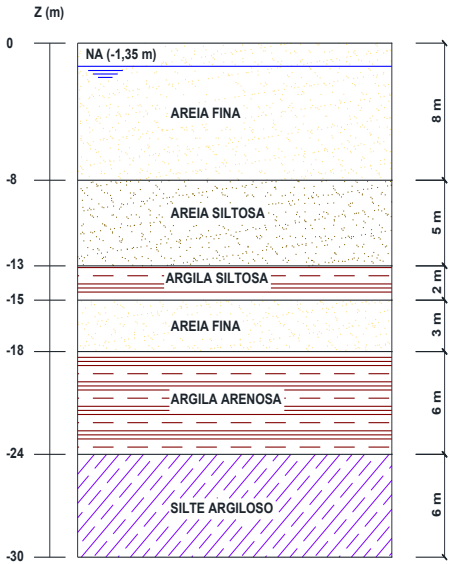


Figura 8. Perfil geotécnico.

Tabela 4. Parâmetros do Solo.

Camada	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	S_u (kPa)
1	17	35	-
2	17	33	-
3	16	-	20
4	19	32	-
5	19	-	100
6	22	-	200

4 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

4.1 Previsão de projeto pelos diferentes métodos

A cortina foi dimensionada pelas propostas resumidas no item 2. No caso dos procedimentos que consideram o efeito de arco de forma simplista, pelo produto do coeficiente de empuxo passivo resistente por a_t/b_t , como no

caso de Velloso (1958) e Manual Canadense de Fundações, foi adotado o método convencional de cálculo da cortina em balanço. Neste método, emprega-se a teoria de empuxos de Rankine. Utilizou-se a segurança pela majoração da ficha em 15%.

No caso do método de Weissenbach (2003), o cálculo dos empuxos e níveis de segurança empregados seguiram o procedimento detalhado no item 2.3. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

O valor de z da Tabela 5 indica a profundidade em que os esforços de flexão são máximos para cada um dos modelos de cálculo.

Tabela 5 - Resultados de comprimento da cortina, momentos fletores e profundidade dos esforços de flexão máximos, segundo as metodologias simplificadas e o procedimento de Weissenbach et. al (2003)

Escavação H=3,0m				
Método	t (m)	l (m)	M _{máx} (kNm)	z (m)
Contínua	4,7	7,7	87,1	4,6
Velloso	6,6	9,6	111,8	5,3
CGS	7,0	10,0	116,3	5,4
Weissenbach (plano)	2,7	5,7	52,9	4,4
Weissenbach (descontínuo)	2,3	5,3	51,8	4,3

Escavação H=4,4m				
Método	t (m)	l (m)	M _{máx} (kNm)	z (m)
Contínua	9,4	13,8	211,9	7,3
Velloso	13,6	18,0	370,2	8,7
CGS	14,4	18,8	380,9	8,9
Weissenbach (plano)	5,2	9,6	198,7	6,9
Weissenbach (descontínuo)	3,8	8,2	194,7	6,7

O modelo de cálculo por Weissenbach forneceu resultados mais econômicos para as 2 etapas analisadas, que correspondem às profundidades onde se tem as leituras dos inclinômetros. O método de Weissenbach mostrou que para o espaçamento de 1m entre perfis, a cortina funciona como contínua. Ao incorporar o efeito do atrito solo cortina, o procedimento de Weissenbach ilustra sua influência relevante na redução do empuxo ativo e no aumento do empuxo passivo, evidenciando a maior otimização do projeto.

Nos demais métodos, foi utilizada a teoria de Rankine, na qual se despreza o atrito solo x cortina. Observa-se que pelo método de Velloso

(1958) e pelas recomendações do CGS (2006), a cortina funciona como descontínua, com menores empuxos resistentes e maiores fichas e esforços de flexão. As diferenças entre Velloso (1958) e CGS (2006) são pequenas, sendo ainda mais desfavoráveis as recomendações da CGS, já que as resistências mobilizadas são menores para a largura de influência de $3b_t$ quando comparada a $3,3b_t$ de Velloso (1958).

O cálculo do empuxo passivo pelo método de Weissenbach para o caso descontínuo (onde as superfícies de ruptura não se interceptam) mostrou-se superior ao empuxo passivo do caso plano, para as duas alturas de escavação. A ocorrência do caso plano, portanto, é mais provável, resultando em comprimentos de ficha superiores ao caso descontínuo, como mostra a Tabela 5.

Cabe salientar também que, uma vez que o método de Weissenbach indicou que a cortina funciona como contínua, a profundidade onde o momento é máximo ficou próximo da cortina contínua da análise convencional, linha superior da Tabela 5. Uma vez que o método de Weissenbach incorpora o atrito entre o solo e a cortina, a profundidade z foi um pouco menor, sendo mais significativa a redução no esforço de flexão.

4.2 Comportamento inferido pela leitura dos inclinômetros.

A posição em planta dos inclinômetros está indicada na Figura 6. Os deslocamentos para as duas profundidades de escavação analisadas são indicados na Figura 9.

O perfil de deslocamentos indica valores de deslocamentos no nível do terreno escavado, da ordem de grandeza daqueles previstos pelo método de Weissenbach. Embora não detalhado neste artigo, face à extensão do assunto, os deslocamentos horizontais previstos pelo método de Weissenbach foram da ordem de 19,1 mm para o balanço de 3m e 52,6 mm para o balanço de 4m, Santos (2016). Nos outros métodos, não há proposta de previsão da ordem de grandeza dos deslocamentos.

A análise do perfil de deslocamentos ilustra que a profundidade onde a rotação e o deslocamento se anulam no caso da escavação de 3m é da ordem de 5m e, no caso da

escavação de 4,4m, da ordem de 8m. Estas profundidades estão compreendidas entre as profundidades de momento máximo e o trecho final da ficha no método de Weissenbach. Para os demais métodos, o perfil de deslocamentos medidos sugere que a ficha calculada é muito longa, muito além do trecho do perfil embutido abaixo do nível de escavação que efetivamente trabalhou.

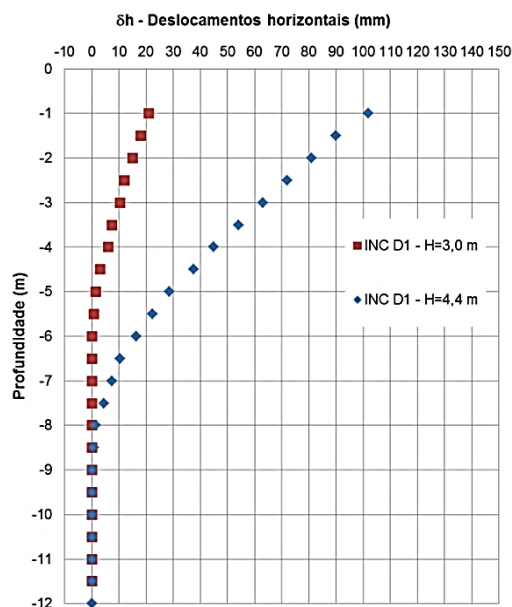


Figura 9. Perfil de deslocamentos horizontais.

Santos (2016) apresenta ainda uma análise numérica detalhada, cujos resultados revelam grande proximidade com os valores previstos analiticamente por Weissenbach (1962) e muita similaridade com os deslocamentos horizontais medidos.

5 CONCLUSÕES

O trabalho resume a metodologia de Weissenbach para o dimensionamento de cortinas de escavação. Embora a aplicação tenha sido restrita à etapa em balanço, as recomendações da EAB (2008) apresentam os diagramas a serem adotados nas diversas etapas construtivas.

A comparação dos quantitativos previstos nas diversas soluções simplificadas adotadas na prática corrente, quer para o comprimento da ficha, quer na previsão dos esforços de flexão, ilustra a otimização significativa dos quantitativos que corroboram para a adoção do

método de Weissenbach na prática corrente, segundo a recomendação do EAB (2008).

O perfil de deslocamentos horizontais medidos pelos inclinômetros nas várias seções da obra em apreço sugere que a solução de Weissenbach é mais compatível com o comportamento real da cortina. O emprego do procedimento proposto por Weissenbach (1962), baseado em modelos reduzidos e instrumentação de casos reais, além de otimizar o projeto e, portanto, os custos da obra, foi mais compatível com o comportamento observado pela instrumentação.

O emprego de estacas do tipo raiz para embutimento dos perfis, e sua extensão além do pé da cortina, teve algum efeito que a análise numérica é capaz de mensurar (Santos, 2016). No entanto, a maior extensão da ficha, além do valor previsto pelo método de Weissenbach, não mostrou efeito mensurável no caso estudado.

AGRADECIMENTOS

À Capes pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

- Blum, H. (1931). *Einspannungsverhältnisse bei Bohlwerken*. Berlin: Ernst & Sohn
- CGS. (2006). Canadian Foundation Engineering Manual - 4th Edition. Canadian Geotechnical Society.
- Dörr, H. (1922). *Die Standsicherheit der Masten und Wände im Erdreich*. Berlin: Ernst & Sohn.
- EAB (2008). *Recommendations on Excavations*. Ernst & Sohn, Second Edition.
- Santos, K. R. M. (2016). *Condições em cortinas com ficha descontínua - um caso de obra contemplando instrumentação, modelagem numérica e métodos usuais de projeto*. Dissertação de M.Sc. Programa de Engenharia Civil da UERJ.
- Velloso, D. A. (1958) Considerações sobre o Cálculo de Cortinas com Ficha Descontínua. Relatório Interno de Estacas Franki.
- Weissenbach, A. (1962). *Der Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen*. *Die Bautechnik* 39, p. 204-211.
- Weissenbach, A.; Hettler, A.; Simpson, B. (2003). *"Stability of Excavations" chapter. Geotechnical Engineering Handbook - Volume 3: Elements and Structures*. Ernst & Sohn.