

4. Aspectos Gerais da Obra Estudada.

4.1. Cortina Ancorada

A estrutura de contenção estudada foi projetada para a duplicação da ferrovia Santos - São Paulo, Km 74 (FEPASA) e consiste em uma cortina ancorada composta por painéis contínuos concretados “in situ”, geralmente compreendendo dois tirantes em cada unidade, com altura entre 1,5 m e 2,0 m e comprimento igual a 4,5 m. O comprimento total da cortina é aproximadamente 205 m, com altura máxima de 19 m no trecho central decrescendo em direção às extremidades, e apresentando seis juntas de dilatação ao longo de sua extensão. A estrutura possui um total de 89 seções, espaçadas de 2,0 m, cada qual correspondendo a uma fila de tirantes, determinada pelo nível final do trecho da cortina, que varia entre o nível superior (Nível A) até o nível inferior (Nível L), compondo um quadro de 786 tirantes em total. Cada tirante é designado pelo número da seção a que pertence, seguido da letra correspondente ao nível no que esta encontra localizado. Sendo assim, o tirante situado ao nível B da seção 54, é denominado Tirante 54B. O esquema da cortina ancorada, em seu trecho instrumentado, é apresentado na Figura 48 e a seção típica é apresentada na Figura 49.

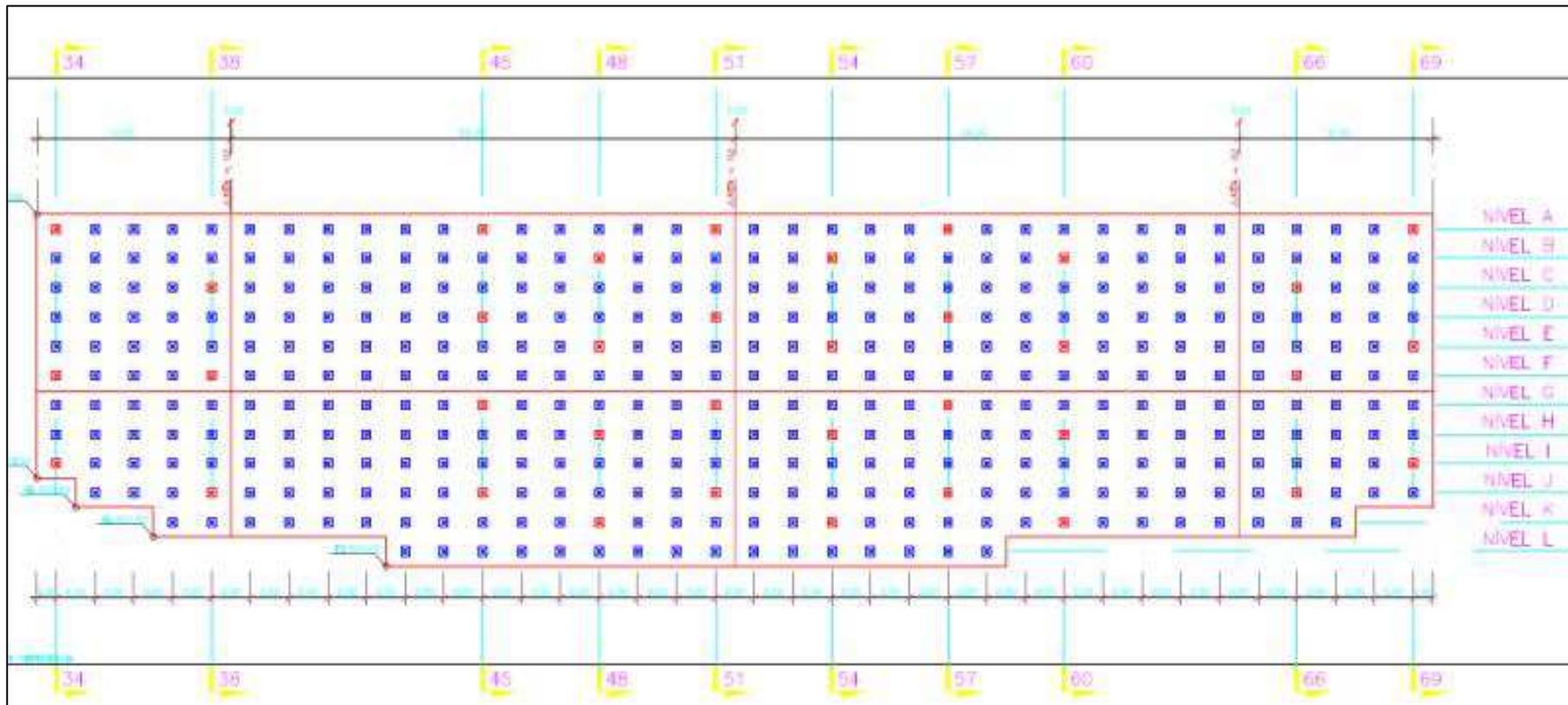


Figura 48. Esquema da Cortina Ancorada. (Adaptado de Zeitoune, 1982).

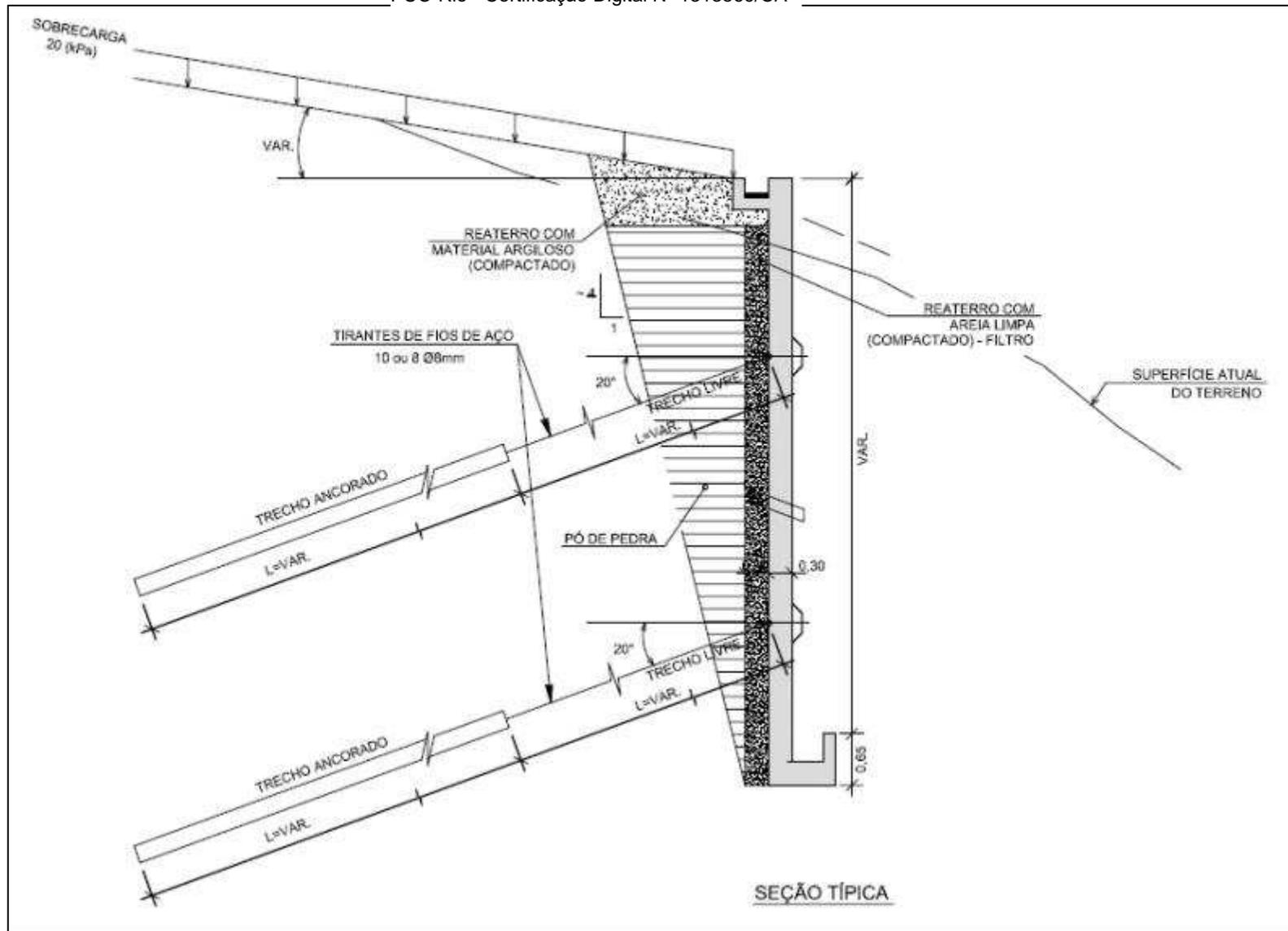


Figura 49. Seção típica da Cortina Ancorada. (Adaptado de Zeitoune, 1982).

4.2. Tirantes Utilizados

4.2.1. Materiais

A continuação é listada as propriedades estruturais dos tirantes

- ✓ Aço: BEMA CP – 150 RB8
 $\varnothing = 8 \text{ mm}$
 Área = $50,3 \text{ mm}^2$
 Carga convencional de Escoamento = 67,90 kN
 Carga mínima de ruptura = 75,45 kN
 Modulo de elasticidade: $210.000.000 \text{ kN/m}^2$
- ✓ Bainha: em polipropileno
- ✓ Tubos de injeção: plástico polipropileno
- ✓ Espaçadores: anéis metálicos e/ou plásticos
- ✓ Vedações: Tubos PVC
- ✓ Cones de ancoragem - compreendendo cones machos e fêmea: argamassa fortemente fretada

4.2.2. Montagem dos Tirantes

Os tirantes foram montados em bancada, situada em lugar abrigado de maneira a garantir a integridade de todos os seus componentes até seu transporte para à área de emprego.

O trecho de ancoragem é constituído por fios de aço descoberto, protegidos por uma tinta plástica e dispostos, em torno de “tubos manchetes” (Tubo PVC perfurado, envolvido por membrana de borracha) usando espaçadores e fixados na extremidade final à peça passiva, conforme o apresentado nas Figura 50 até Figura 52. Durante a atividade de injeção sob pressão, a membrana do tubo de manchete se dilata, deixando passar a nata de cimento que irá ancorar o tirante ao maciço.

O tirante no trecho livre tem os fios recobertos um a um por tubos conduíte plástico (Bainha), além do envolvimento de toda a extensão do trecho livre através de um tubo PVC, a fim de proteger este trecho de nata de cimento, durante as fases de injeção.

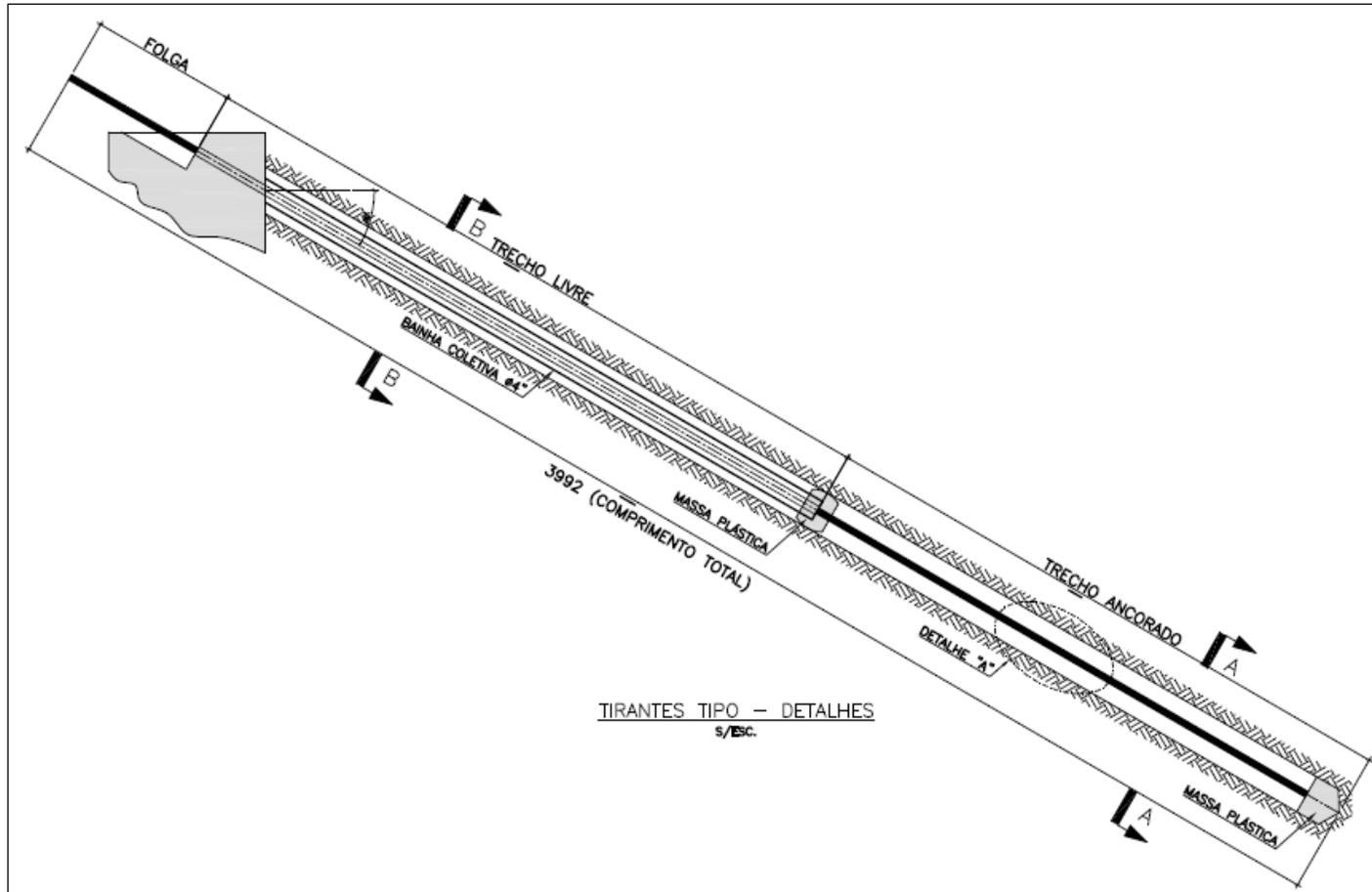


Figura 50. Esquema do Tirante Tipo Utilizado. (Adaptado de Zeitoune, 1982).

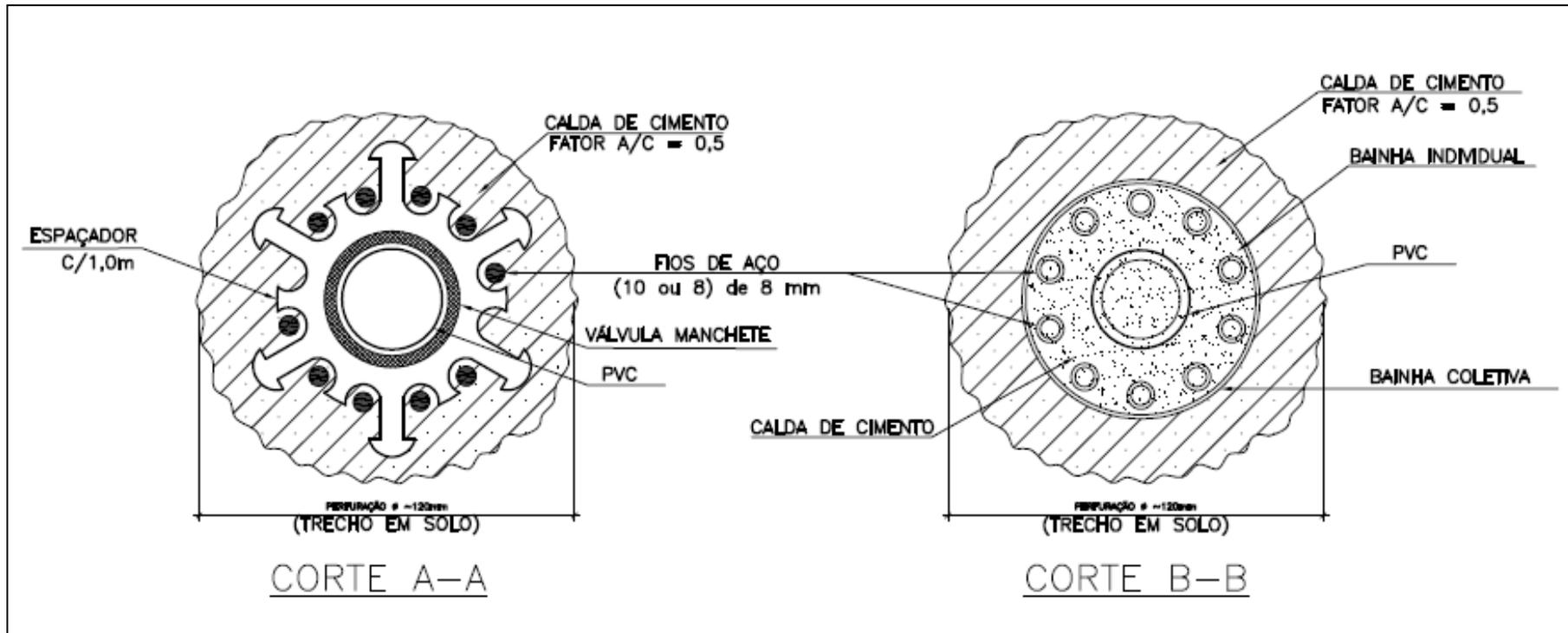


Figura 51. Seção Transversal do Tirante Tipo Utilizado. (Adaptado de Zeitoune, 1982).

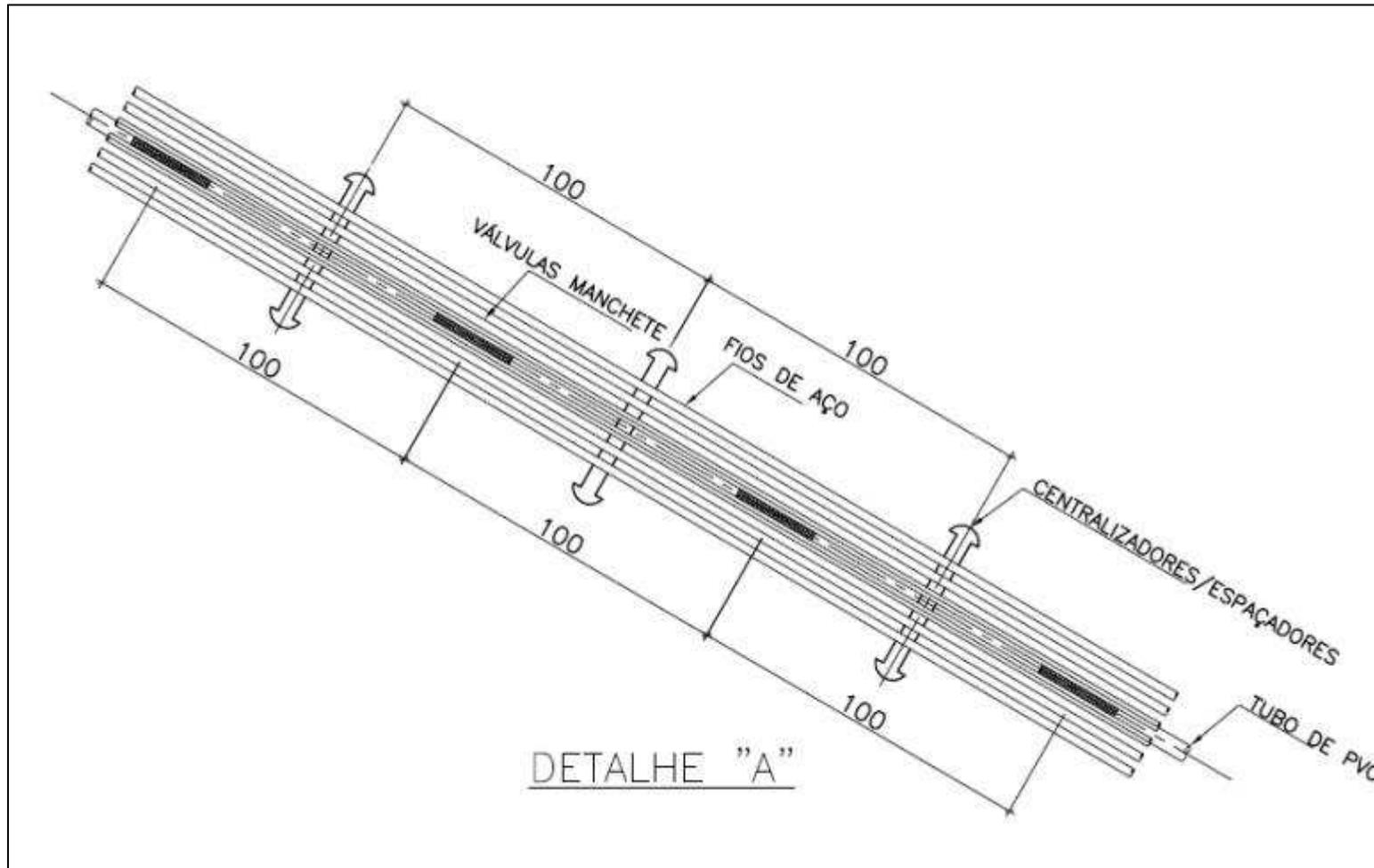


Figura 52. Detalhe "A" que apresenta o esquema do trecho ancorado dos tirantes. (Adaptado de Zeitoune, 1982).

4.2.3. Instalação dos Tirantes

As perfurações para os tirantes foram feitas em coroas de diâmetro NX (76 mm), com devido alargamento para colocação do revestimento, no processo convencional e, de 115 de diâmetro no processo rotopercursor.

Previamente à inserção dos tirantes nas perfurações, foram feitas verificações quanto ao estado de limpeza dessas, ao comprimento relativo perfuração-tirante, ao estado de oxidação do aço e à integridade dos componentes do tirante.

Após do processo de perfuração foram feitas as fases de injeção com duas finalidades, a primeira fixar o tirante ao maciço através do trecho ancorado, e a segunda a proteção do tirante contra a corrosão com o decorrer do tempo, por ser este um tirante permanente, foi preenchido em todo seu comprimento com nata de cimento após da protensão e cravação do tirante.

Na fase de protensão, o tirante é tensionado com um atuador hidráulico, ligado a um conjunto bomba-manômetro previamente calibrado. A tensão aplicada diretamente ao comprimento livre é transmitida ao maciço através do comprimento de ancoragem, resultando uma zona de terreno comprimido entre a parede da cortina e o ponto de ancoragem.

Os tirantes utilizados são dos tipos 10ø8mm e 8ø8mm, com carga de trabalho de 350 kN nos níveis B, C, D, E, I, J, K e 250 kN instalados nos níveis A, F, G, H respectivamente e formando todos um ângulo de 20° respeito à horizontal.

Os comprimentos totais estão na faixa entre 13,9 m e 31 m, sendo o trecho ancorado de 5 metros e 6 metros.

O primeiro tirante foi instalado no dia 04 de agosto de 1981 e o ultimo no dia 06 de janeiro de 1982.

Antes da cravação de cada tirante, foi feito um ensaio de recebimento, segundo a norma vigente no momento da construção da estrutura denominada de NB-565, em que o tirante é protendido gradualmente em estágios de carregamento, sendo efetuadas leituras de

alongamento, equivalente à deformação elástica do comprimento livre, representados pelo deslocamento do pistão do macaco. O ciclo de carregamento corresponde a iguais acréscimos de carga, desde o valor inicial igual a 20% da carga de trabalho até a carga de ensaio, igual a 1,4 vezes a carga de trabalho. Após de constatar a permanência desta por 15 minutos é feito o ensaio de descarregamento até o valor de carga inicial e então o tirante é levado até a carga de instalação, correspondente à carga de incorporação adicionada as perdas, devida ao processo de cravação – relaxação do aço, atrito e acomodação do cone, entre outros. Os estágios de carregamento, descarregamento e recarregamento para os dois tipos de tirantes analisados estão apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6.

Tabela 5. Sequência de ensaio de recebimento para os tirantes tipo 8ø8mm.

Ensaio de Recebimento					
Carregamento		Descarregamento		Recarregamento	
Carga (KN)		Carga (KN)		Carga (KN)	
0,2xCT	50,00	1,4xCT	350,00	0,2xCT	50,00
0,4xCT	100,00	1,2xCT	300,00	Instalação	~=450
0,6xCT	150,00	1,0xCT	250,00		
0,8xCT	200,00	0,8xCT	200,00		
1,0xCT	250,00	0,6xCT	150,00		
1,2xCT	300,00	0,4xCT	100,00		
1,4xCT	350,00	0,2xCT	50,00		

Tabela 6. Sequência de ensaio de recebimento para os tirantes tipo 10ø8mm.

Ensaio de Recebimento					
Carregamento		Descarregamento		Recarregamento	
Carga (KN)		Carga (KN)		Carga (KN)	
0,2xCT	70,00	1,4xCT	490,00	0,2xCT	70,00
0,4xCT	140,00	1,2xCT	420,00	Instalação	~=350
0,6xCT	210,00	1,0xCT	350,00		
0,8xCT	280,00	0,8xCT	280,00		
1,0xCT	350,00	0,6xCT	210,00		
1,2xCT	420,00	0,4xCT	140,00		
1,4xCT	490,00	0,2xCT	70,00		

Onde

CT corresponde á carga de trabalho do tirante.

Com os dados da realização dos ensaios de recebimento fornecidos, compara-se a deformação elástica obtida, com os limites estabelecidos pela norma, sendo aprovado o ensaio, o tirante é cravada para sua carga de instalação.

Além deste procedimento, foi testado um a cada dez tirantes para uma carga de 1,8 vezes a carga de trabalho.

A norma atual denominada de NBR-5629 de abril de 2006, define os ensaios apresentados acima de ensaio Tipo A e ensaio Tipo B, os estágios de carregamento desta norma tem uma leve diferença com os estágios realizados nos tirantes.

O ciclo completo de carregamento e descarregamento que antecede a protensão final do tirante tem como objetivo final verificar o seu comportamento, tanto de ancoragem que deve resistir aos esforços de arrancamento, quanto dos fios de aço que devem sofrer deformações elásticas dentro dos limites de proporcionalidade.

4.3. Sequência de construção

O processo construtivo compreendeu três frentes de serviço, sendo adotadas para diferentes segmentos da cortina ancorada.

A primeira frente foi caracterizada por não apresentar aterro de preenchimento, sendo que sua execução teve início em corte, pelo primeiro nível de tirantes. A segunda frente encontrava-se predominantemente em área cujos três primeiros níveis de tirantes foram preenchidos com material escolhido, devidamente compactado, proveniente da escavação da primeira frente. A sua execução foi iniciada no terceiro nível de tirantes, realizando-se o aterro, para então continuar em corte os demais níveis inferiores. Finalmente, a terceira frente, em condições análogas a segunda frente, teve sua iniciação pelo quarto nível de tirantes.

A seguir, são apresentadas as etapas de execução da obra para os trechos em corte e em aterro referente a cada nível da cortina.

Corte

- ✓ Primeira etapa: Regularização e escavação do terreno.
- ✓ Segunda etapa: Execução e incorporação dos tirantes.
- ✓ Terceira etapa: Escavação dos painéis, armação e concretagem da cortina.
- ✓ Quarta etapa: Protensão dos tirantes e execução de obras de drenagem.

Aterro

- ✓ Primeira etapa: Regularização do terreno.
- ✓ Segunda etapa: Execução e incorporação dos tirantes.
- ✓ Terceira etapa: Escavação dos painéis, armação e concretagem da cortina.
- ✓ Quarta etapa: Reaterro, protensão dos tirantes e execução de obras de drenagem.

A Sequência acima descrita das fases de construção dos segmentos em aterro iniciou-se no terceiro nível para a segunda frente e no quarto nível para a terceira frente, prosseguindo até o primeiro nível referente ao topo da cortina. Após a execução destas fases referentes ao trecho em aterro, executaram-se os níveis inferiores, seguindo os procedimentos referentes aos trechos em corte.

Após o término da execução de todos os níveis da cortina dos trechos em corte quanto em aterro, foram realizados os seguintes serviços complementares:

- ✓ Concretagem das cabeças dos tirantes.
- ✓ Acabamento do terreno ao pé da cortina através de hidrossemeadura.
- ✓ Impermeabilização.
- ✓ Drenagem superficial.
- ✓ Escada de acesso.
- ✓ Guarda-corpo.
- ✓ Limpeza geral.

4.4. Caracterização do subsolo

O aterro do Km 74 do trecho da ferrovia analisado, abrange o trecho compreendido entre as estacas 1837 e 1850, e sua plataforma se desenvolve aproximadamente na cota 638. A topografia é acentuada, ficando o aterro situado à meia encosta, e limitando a esquerda por corte íngreme com desnível da ordem de 80 metros, e a direita por desnível da mesma proporção. A inclinação, tanto para corte quanto para o aterro, é variável entre 45° e 80°.

O aterro é constituído de uma areia variada siltosa, micácea, de cor marron acinzentada variegada, com fragmentos de rocha. Sua espessura varia entre 8 a 12 metros com comprimento em torno de 250 metros.

Desde o ponto de vista geológico o local da obra encontra-se em uma região representada por gnaisses Pré-cambrianos de textura média, com bandas xistosas e bandas graníticas intercaladas. O solo de alteração local é caracterizado por uma areia siltosa amarelada, variegada, micácea, com intercalações de rocha alterada.

Essas intercalações se comportam como matações, uma vez que são descontínuas, conferindo ao maciço de solo uma grande heterogeneidade. A espessura desse material é aproximadamente de dez metros.

A fundação do aterro é constituída de solo de alteração em toda sua extensão, abaixo desta camada de solo ocorre uma camada de rocha alterada mole com intercalações de solo, e abaixo desta o topo de rocha alterada dura e sã. A seção geológica - geotécnica esta apresentada na Figura 53.

As sondagens executadas não atingiram o lençol freático, que deve existir a grande profundidade (além de 50 metros). A alteração existente nas superfícies de fraturas interceptadas caracteriza o maciço rochoso como um caminho preferência I para as águas de infiltração, funcionando como um dreno natural.

Entre as estacas 1837 e 1841 foi constatada a existência de “bota-fora” provavelmente da época de construção da ferrovia. Apresentou-se

como um patamar com largura máxima de 30 metros, e em continuidade com o aterro, confundindo-se a sua saia com a saia do mesmo. Sua espessura não foi determinada não devendo ser maior de 10 metros, e sua constituição semelhante à do aterro no que diz respeito a rocha matriz.

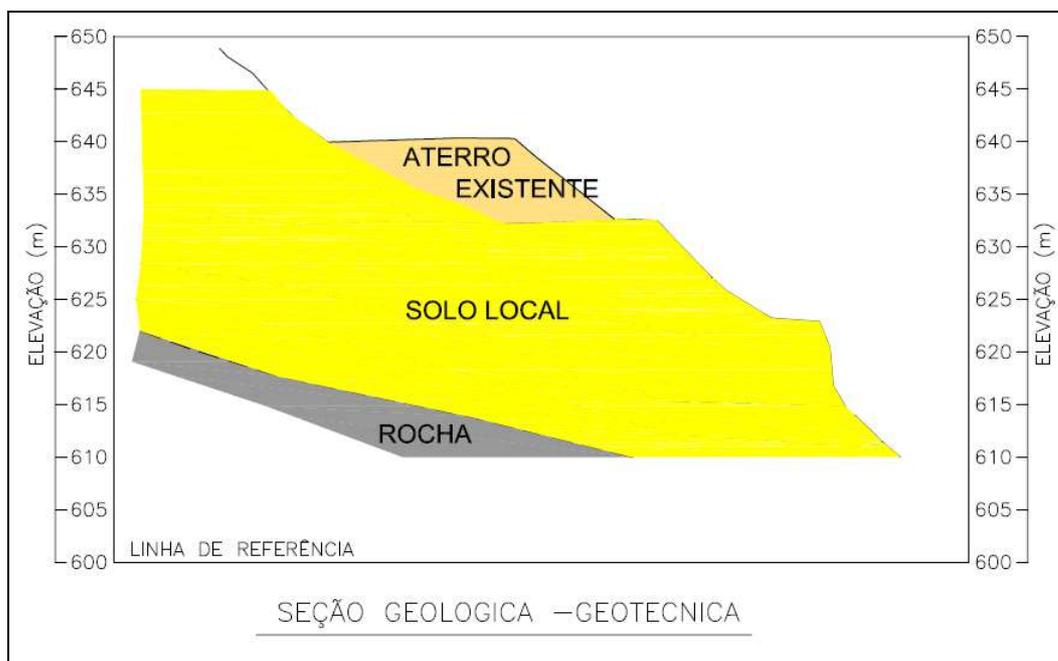


Figura 53. Seção geológico-geotécnica no local de estudo. (Adaptado de Zeitoune, 1982).

Segundo os estudos realizados sobre o local, os fatores preponderantes e fundamentais, responsáveis pelo alto grau de erodibilidade, são a inclinação acentuada do terreno natural onde se assentou o aterro, e as condições deficientes dessa fundação. Quanto ao sistema de drenagem existente, foi garantido o bom desempenho deste contra os efeitos de erosão, através da existência de tratamento superficial da encosta com extensa rede de drenagem, canaletas de plataforma, poços profundos, como também de drenagem sub-superficial. Deve-se levar em conta apenas o efeito da água da chuva que penetra pela saída do aterro, fator que, independente do sistema de drenagem, influi na queda da resistência ao cisalhamento do solo devido à perda da sucção pelo aumento da saturação das camadas de solo.

Outro a ressaltar, diz respeito à dificuldade quanto à definição do perfil geológico que apresentava grandes possibilidades de matações e blocos, próximos à zona de transição entre solo residual e rocha alterada, além do fato do maciço ser resultante de alteração de gnaiss e xisto e, conseqüentemente, apresentava intemperismos diferenciais nos locais.

4.5. Descrição Geral da Instrumentação da estrutura de Contenção

Dez seções, ao longo do trecho central da cortina, foram instrumentadas a fim de se medirem as cargas nos tirantes ao longo do tempo durante e após da construção da mencionada estrutura. Cada seção tinha uma coluna de entre nove a doze tirantes no máximo, dos quais três ou quatro tirantes foram instrumentados.

A locação dos tirantes é apresentada na Figura 48, são apresentados de cor vermelho os tirantes instrumentados.

A instrumentação dos tirantes foi feita com células de carga que utilizaram extensômetros elétricos, instalados na cabeça dos tirantes, conforme mostrado na Figura 54.

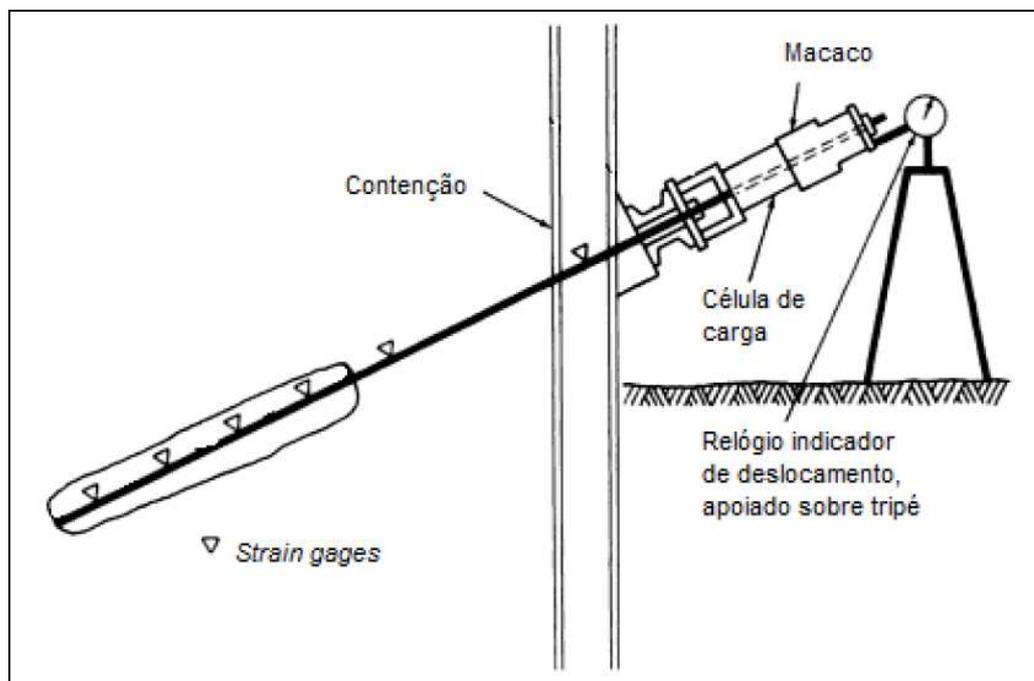


Figura 54. Esquema de instrumentação de tirante durante a sua protensão (Dunnicliff, 1988).

As células de carga que utilizam extensômetros elétricos são unidades mecânicas que transformam força (ou peso) em grandezas elétricas (pequena voltagem) através da propriedade específica dos extensômetros instalados internamente na parte “sensível” das células de carga. Essa parte “sensível” que pode ser do tipo coluna ou diafragma é um corpo elástico, deformável quando sujeito a um carregamento e que conseqüentemente transmite uma deformação aos extensômetros elétricos colados nessa peça provocando então uma variação na sua resistência elétrica. Obviamente, nesse processo de interação, a deformação específica, é a quantidade fundamental envolvida. O termo deformação específica refere à deformação linear como um resultado da variação das forças externas e na utilização geral em engenharia é definida como a razão entre a variação do comprimento e o comprimento original. A deformação é uma grandeza adimensional e comumente expressada em “micro strain” que corresponde a 10^{-6} centímetros/centímetro.

O extensômetro elétrico foi o equipamento fundamental para a instrumentação objeto dessa análise, suas vantagens de utilização podem ser resumidas nos seguintes itens:

- ✓ Grandes precisões nas medições.
- ✓ Pequeno tamanho, peso leve.
- ✓ Excelente resposta a processos dinâmicos.
- ✓ Excelente linearidade.
- ✓ As medições são possíveis em grande faixa de temperaturas.
- ✓ Aplicáveis submersos à água ou em atmosfera corrosiva com tratamentos adequados.
- ✓ Aplicados como transdutor para medidas de várias grandezas físicas (Força, pressão, torque, aceleração, deslocamento, etc)
- ✓ Possibilidade de medição a distância.

O extensômetro elétrico é colado na parte “sensível” das células de carga e consiste de um condutor elétrico. Esse condutor elétrico possui uma área transversal infinitamente pequena comparada com o seu comprimento, e isso permite que o mesmo fique solidário na peça em

questão com muita segurança. Isso permite que as deformações sejam transferidas diretamente do objeto solicitado para o condutor (extensômetro) sem nenhum ou quase nenhum deslizamento significativo entre o objeto e o conduto. Essas pequenas variações no comprimento do condutor causadas por cargas aplicadas no corpo solicitado induzem pequenas variações na resistência elétrica do condutor e essas variações na resistência elétrica do extensômetro são então detectadas pelo equipamento de medição.

A relação entre a deformação específica (ϵ) e a variação de resistência do condutor elétrico (R) é dada por:

$$K_s = \frac{\Delta R}{R} \quad \text{Equação 21}$$

Onde K é chamado de “gage factor” ou sensibilidade do material à deformação específica e dependente da resistividade do material empregado no extensômetro.

A metodologia de instalação das células de carga, de modo a eliminar fontes de erros na medição de carga real aplicada nos tirantes, fontes essas devidas a fatores de instalação e não inerente ao desempenho ao sistema de medição das células de carga cumpriu as especificações expostas no relatório interno da PUC-Rio, e foram as seguintes:

- ✓ A face exterior da cortina próxima à região da cabeça dos tirantes deve apresentar-se plana, vertical e sem rugosidades. Com isso se visa a obter um bom contato entre a placa de aço e a cortina.
- ✓ A cunha de normalização deve:
 - Possuir as bases de apoio com dimensões iguais ou superiores à base da célula de carga.
 - Possuir as bases de apoio lisas para permitir um bom contato entre a cunha e a célula de carga.
 - Possuir o ângulo de normalização igual ao ângulo de inclinação dos tirantes (20 graus) evitando a possibilidade de ocorrência de carregamento inclinado.

- ✓ O peso do atuador hidráulico de protensão deverá ser aliviado, de modo de não introduzir uma componente vertical e, conseqüentemente, uma resultante inclinada em relação ao sistema de reação.
- ✓ O manômetro da bomba do macaco devera ser devidamente calibrado