



O Uso do Jet Grouting em Solos Moles – Obras no Sul

Akira Koshima

Novatecna Consolidações e Construções S.A, São Paulo, Brasil, akira@novatecna.com.br

Miriano R. Pieroni

Novatecna Consolidações e Construções S.A, São Paulo, Brasil, pieroni@novatecna.com.br

José Ricardo Lopes

Novatecna Consolidações e Construções S.A, São Paulo, Brasil, ricardo@novatecna.com.br

José Enrique Garces

Novatecna Consolidações e Construções S.A, São Paulo, Brasil, jose.enrique@novatecna.com.br

Luis Augusto S. Moreira

Novatecna Consolidações e Construções S.A, São Paulo, Brasil, luis.augusto@novatecna.com.br

RESUMO: Após uma descrição da tecnologia do jet grouting e os seus principais fundamentos são abordadas as propriedades oriundas da mistura de solo-cimento. Assim, solos fracos de baixa resistência tornam-se bastante resistentes, com valores superiores a 2 MPa. Com base na transformação das propriedades dos solos fracos em solos resistentes diversas obras marcantes e inusitadas da região sul foram executadas buscando a consolidação, melhoria, estabilização e vedação de maciços de grandes estruturas, ao longo de 39 anos de experiência no uso do jet grouting. Serão abordadas 7 obras de forma resumida. Essas aplicações resultaram em obras bem-sucedidas, tanto em termos de qualidade final para a construção da obra, bem como no cronograma, servindo como inspiração para outras aplicações similares.

PALAVRAS-CHAVE: Jet Grouting, Solos Moles, Transformação em Solo Resistente, Fundação, Contenção.

1 JET GROUTING E OS CUIDADOS EXECUTIVOS

Na engenharia brasileira está disponível desde o ano de 1980, portanto há 39 anos. Foi introduzida no Brasil por Giorgio Guatteri e Romano Colla que são pioneiros desta tecnologia com a criação da empresa Novatecna Consolidações e Construções Ltda, (Novatecna, 2006). Para o registro histórico da tecnologia, na Itália, foi Romano Cola o precursor, com a empresa CCP Itália, que introduziu o jet grouting (CCP) na Europa. Recebeu a transferência e registro da patente japonesa de Wataru

Nakanishi em 1976, no concurso para estabilização da Torre de Piza (Colla, 2015).

O jet grouting tem como conceito básico a desagregação do terreno “in situ” através do alto impacto do jato de calda de cimento, que atinge uma velocidade da ordem de 800 a 1.000 km/h. Esse jato é formado no bico jateador, (diâmetro variável de 2 a 6 mm) fixo na lateral do hidromotor, que fica na extremidade inferior da haste, de 7,5 a 10 cm. A calda é bombeada com pressão entre 200 a 500 kg/cm² que corresponde a energia potencial e se transforma em energia cinética através da passagem do jato hidráulico pelo bico.



Com combinações de parâmetros executivos de forma adequada e associado ao tipo de terreno a ser tratado podem ser obtidas colunas de jet grouting de diversos diâmetros (por exemplo, variação de 30 a 200 cm ou mais). No caso das obras executadas pela Novatecna na região sul os diâmetros nominais de projeto mais adotados foram de 70 a 120 cm.

O diâmetro nominal de 70 / 80 cm, em geral, se deve ao uso da técnica chamada CCP – “cement churning pile”, com o uso de haste simples sem ar comprimido. Era a única técnica disponível no seu início no Brasil. Para as colunas de diâmetro superior a 100 cm, em geral, utiliza-se o método chamado de Jumbo Grout (JG ou JSG – sendo S de “special”) desde 1985. Usa-se haste dupla concêntrica. Durante a fase de execução da coluna a calda de cimento passa pela haste central, e no espaço anelar entre as hastes passa o ar comprimido de alta vazão e alta pressão com uso de compressor (por exemplo, 033 e/s e 7 kg/cm²). No bico jateador o ar comprimido envolve o jato de calda de cimento para minimizar a sua dispersão e permitir maior alcance ao jato. Essa técnica foi introduzida em 1985, entre nós.

O consumo médio de cimento tem sido da ordem de 500 ± 50 kg/m³ de solo tratado (volume nominal da coluna) para solos arenosos e argilosos inorgânicos. Esse valor pode variar para mais, se o solo “in situ” for argiloso e orgânico ou mesmo turfoso / mangue com pH ácido. Neste caso requer-se, além da análise geotécnica usual, uma análise química do solo, definindo, por exemplo, a acidez Baumann Gully e dosagem prévia de mistura solo-cimento em laboratório. Assim pode-se avaliar eventual problemas na cura da mistura e, pesquisar os aditivos corretivos (Koshima, 2016).

O jet grouting se aplica, em geral, a uma ampla faixa de materiais, desde os solos argilosos moles até as areias e cascalhos, inclusive com presença de blocos de rocha. Em terrenos com grandes vazios e pedregosos com presença de blocos ou, mesmo bota fora com blocos, as soluções não são mais convencionais. Neste caso exigiria equipamentos adequados

para perfuração como martelo de fundo. Envolve um trabalho inicial de preparo do maciço com eventuais preenchimentos dos vazios existentes com materiais finos e aglutinantes adequados como já ocorreu em algumas obras.

A sequência de execução das colunas, em geral, recomenda fazer as colunas isoladas, distantes uma das outras, por exemplo, pular 3 a 5 colunas de uma mesma fila (primária). Depois fazer intermediárias da malha (secundária) até atingir a condição de coluna de fechamento (terceária).

Se for o caso de uma laje de tampão de fundo de um shaft ou poço prefere-se uma malha de distribuição triangular (equilátero ou isóceles, ver figura 1);

Entretanto, pode ocorrer a necessidade de aplicar uma sequência especial como nas colunas justapostas à parede diafragma, ou entorno das estacas de fundação que foram executadas antes das colunas. Neste caso pode ser necessária uma sequência diferenciada para evitar que uma coluna executada previamente venha a provocar “sombras” na ação do jato e prejudicar a aderência e a consolidação uniforme da área tratada. Também, pode ocorrer em certos casos a utilização da sequência chamada “fresh and fresh” isto é, executar as colunas adjacentes em sequência contínua, antes do ganho de resistência final da mistura solo cimento.

Áreas onde estão projetadas os blocos de concreto das estacas profundas ou dos poços de elevador devem ser consolidados já considerando essas geometrias finais. Assim, evita-se uma demolição inútil, à posteriori, em maciço já consolidado e muito resistente.

O controle de diâmetro da coluna é, em geral, feito de um modo indireto e empírico quando são inacessíveis para uma inspeção direta através de uma escavação. Procura-se, então, formar alguns blocos de colunas e se faz a reperfuração nas áreas de intersecção entre 3 colunas (ver figura 1), antes do início da execução sistemática das colunas. Esses furos devem ser sempre reinjetados.

O controle de locação e acompanhamento da



coluna são fundamentais para se evitar falhas humanas. Por isso, devem-se ter diversos critérios de registro e controle como: marcação com coordenadas topográficas, cravação de piquetes no eixo do furo com numeração de cada coluna, guarda do piquete pela equipe de obra e acompanhamento no mapa de projeto das colunas, etc. A equipe de obra/fiscalização também deve ser conscientizada e participar ativamente desse sistema de controle.

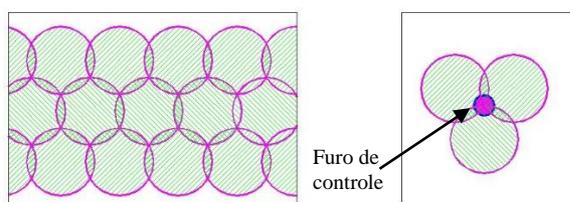


Figura 1. Distribuição das Colunas em Malha Triangular e Furo de Controle.

Caso haja alguma dúvida, a coluna deve ser repetida, à posteriori. O controle da verticalidade da haste e das condições do piso de apoio da máquina perfo-injetora também fazem parte do controle de qualidade da obra; bem como uma limpeza contínua da área para boa mobilidade do equipamento. Em furo muito profundo deve-se medir o seu desvio do furo, se possível. O desvio deve estar considerado na sobreposição entre colunas no projeto.

2 PROPRIEDADES GEOTECNICAS PRINCIPAIS DO JET GROUTING

Conforme é mostrado na figura 2 (Novatecna, 2006) a faixa de variação de resistência à compressão simples da coluna de jet grouting depende principalmente da granulometria do solo, da natureza geomorfológica, consumo e tipo de cimento e eventuais tipos de aditivos.

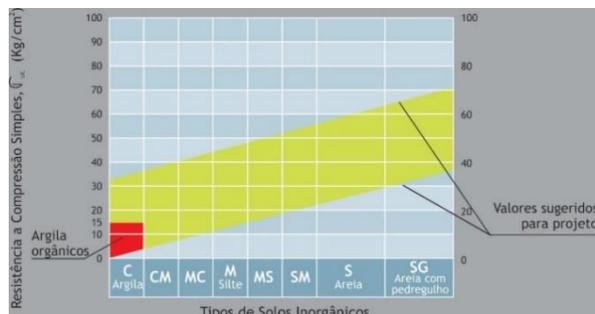


Figura 2. Faixa de Variação da Resistência (apud Novatecna, 2006).

Tabela 1. Correlação Preliminar entre Diversos Tipos de Resistências com Compressão Simples - sugerida e a ser verificada (Apud Novatecna, 2006).

CLASSE DE SOLOS (Inorgânicos)	ARGILA	SILTE	AREIA
$r_1 = \frac{\sigma_{ti}}{\sigma_{uc}}$	0,19	0,14	0,10
$r_2 = \frac{\sigma_{tf}}{\sigma_{uc}}$	0,28	0,20	0,14
$r_3 = \frac{\sigma_{ad}}{\sigma_{uc}}$	0,14	0,11	0,08
$r_4 = \frac{C}{\sigma_{uc}}$	0,30	0,25	0,19

Relação entre as resistências σ_{ti} : tração indireta, σ_{tf} : tração na flexão, σ_{ad} : adesão, C: cisalhamento puro e σ_{uc} : resistência a compressão simples

Com relação aos diâmetros das colunas o atual estado da arte no Brasil é ilustrado na figura 3, para as duas técnicas de execução CCP e JG.

O diâmetro tem uma relação, em geral, com a resistência dada pelo SPT (argila) solo e sua natureza em primeira aproximação, se coesiva ou não coesiva (areia). Entretanto, depende muito da experiência de cada executor.

Os japoneses que desenvolveram esta tecnologia na década de 1970, continuam a pesquisar/desenvolver novas técnicas no sentido dos grande diâmetros, que ainda são blindadas por patentes e não são tão aplicadas no Brasil.

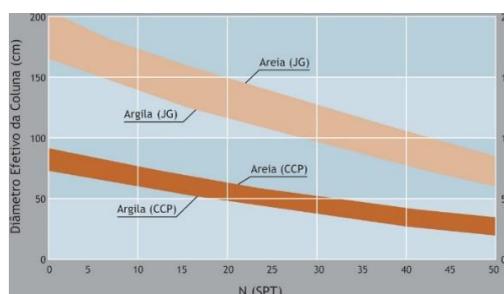


Figura 3. Faixa de Variação de Diâmetro x SPT - sugestão preliminar (apud Novatecna, 2006).



3 OBRAS COM USO DE JET GROUTING

As soluções de obra com uso do jet grouting seguem basicamente o conceito de melhorar/transformar as propriedades do solo “in situ” em um novo material, de solo-cimento. Permite, assim, o incremento médio das suas propriedades como resistência, módulo de deformação, redução da permeabilidade, entre outras, do maciço tratado. Também, deve-se destacar que o jet grouting pode ser aplicado em um trecho específico a tratar, como o tampão de fundo.

As obras, como apresentadas a seguir, constituem-se em combinações adequadas de colunas justapostas formando blocos ou não, que podem ser armadas também, através da introdução da armadura em função das solicitações envolvidas no dimensionamento do projeto.



Figura 4. Poço Circular de 6,0m de diâmetro escavado com 11,0m de profundidade em solo mole.

Como pode ser visto na tabela 1 a melhor propriedade a se explorar é a resistência à compressão simples.

Conforme relatado por Guatteri et al 2006 a primeira obra de escavação com contenção em jet grouting (1982), foi uma obra pioneira em colunas justapostas, tipo CCP, dentro de uma indústria em operação, em solo aluvionar saturado, bastante heterogêneo (argila muito mole e areia fofa saturada). Posteriormente a esse caso, inúmeros outros muros e paredes de contenção, tipo gravidade, foram projetados e executados. Tornou-se uma das soluções

alternativas de projeto imprescindíveis em grandes e profundas escavações em solos moles aluvionares ou marinhos.

A adoção de formatos circulares ou elípticas trazem vantagens adicionais em relação as fossas de formato linear.

No caso de formato circular, como se sabe, a solicitação principal na parede é de compressão, obtendo-se o máximo proveito das colunas, sem solicitação de tração na flexão (ver figura 4).

3.1 Obras de Escavação como: Moega / Shaft Profundo / Túnel Raso em Solos moles em Paranaguá – PR e São Francisco do Sul – SC

Diversas obras de ampliação, remodelação e novas construções de armazéns a graneis em regiões portuárias para exportação e importação tem requeridas estruturas enterradas tanto nos portos do Paraná como em Santa Catarina. Assim, tem se executados diversos tipos de obras como moegas, shafts, túneis rasos e obras de reformas e construção de cais portuários que serão abordados a seguir.

Diferentemente das áreas portuárias de São Paulo (Santos e Guarujá), no Paraná e Santa Catarina não ocorrem grandes espessuras de sedimentos marinhos argilosos muito moles. Predominam em profundidade os sedimentos fluvio-marinhos mais silto-arenosos ou arenosos muito finos. Essa condição geológica tem exigido mais precisão e cuidados executivos, durante a escavação abaixo do NA. Localmente tem áreas aterradas que avançaram sobre o mangue e em argila muito mole feitas através de aterros de ponta com uso de blocos rochosos. Isto costuma trazer dificuldades especiais devido as misturas caóticas desses materiais. Entretanto, não são muito espessas, em média menor que 5 m nas obras executadas.

Em contenções de estrutura linear a solução da parede de jet é do tipo gravidade e uma laje em jet para combate a subpressão. Conforme o projeto e as dimensões da laje ao de tampão de jet podem ser associada colunas mais profundas e armadas. Esses elementos atuam como ancoragem/tração e como estaca de carga (obra



do TGG em Guarujá – SP, Koshima, et al 2012).

3.1.1 Moega – São Francisco do Sul - SC

A obra descrita é uma moega rodoviária em forma de L em planta, cujas dimensões principais são as indicadas nas figura 5 e 6. A geologia local representada por duas sondagens a percussão indicaram a predominância de solo arenoso fino nas paredes laterais da escavação e o fundo em duas profundidades diferentes (4 e 5,2 m).

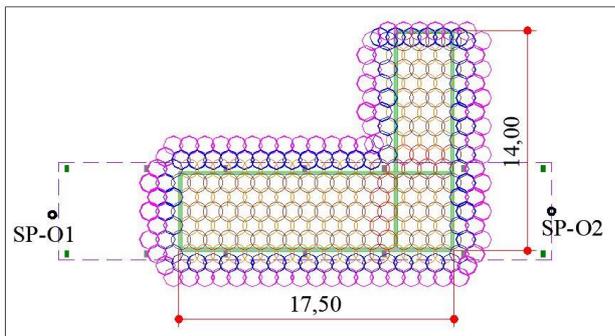


Figura 5 – Moega Rodoviária – planta

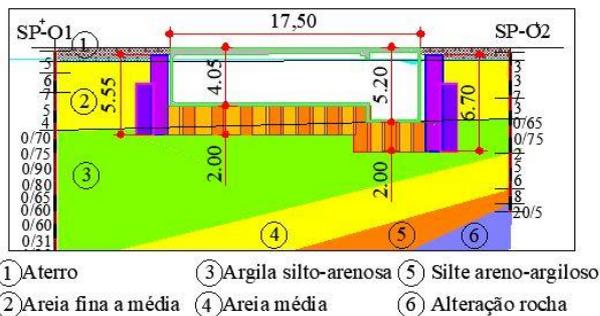


Figura 6. Moega Rodoviária – corte longitudinal.

Poderiam ser citadas outras também, obras executadas, principalmente em Paranaguá, entre elas a construção de um tunel/galeria de concreto fechado para transporte de granéis em esteira de grande extensão, cerca de 200m, dentro de uma área de um galpão em remodelação. A seção de escavação tinha um gabarito um pouco maior do que o descrito anteriormente e com profundidade similar porém, com uma camada inicial de argila fluvio-marinho muito mole e na base um

sedimento mais arenoso fofo. Outras moegas consolidadas pela empresa atingiram, em geral, profundidades maiores nos shafts em sedimentos silto-arenosos com lentes argilosas. Também foi construída uma obra de moega rodoviária com contenção em jet, similar a descrita, para uma indústria, com shaft de 7,5 m de profundidade na várzea do rio Gravataí – RS (Koshima, et al 2012).

3.1.2 Elevatória de Esgoto – Guaíba – RS

Obras de saneamento nas regiões litoraneas em São Paulo e Rio de Janeiro, tem adotado soluções com uso de jet para escavações de elevatórias e poços profundos, mormente nos solos sedimentares fluviais e marinhos moles (Koshima, et al 2012).

Trata-se, no caso, de uma estação elevatória de esgoto, situada entre a margem do rio Guaíba e a Av. Beira Mar.

As 03 sondagens executadas no local da obra indicavam um aterro de cerca de 1m , após o que ocorria uma camada espessa, da ordem de 7 m de espessura de argila orgânica fluvial com resistência muito baixa (peso/45 a 2 golpes), sotoposto a uma camada de areia média a grossa espessa, com SPT superior a 15.

Segundo o projeto, o uso do jet dispensa o rebaixamento do lençol freático de uma cava que deve atingir ~11,0m de profundidade na beira do Lago Guaíba” (Talles, 2011).

A figura 7 mostra a concepção básica e o esboço do projeto da estrutura de vedação e contenção da cava da elevatória.

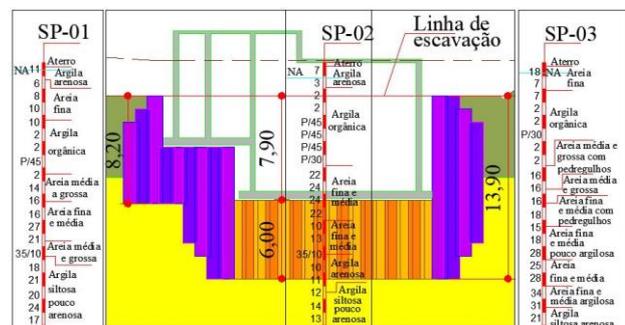


Figura 7. Elevatória de Esgoto - Contenção de JG.



O projeto de escavação adotou uma otimização com uma escavação geral na área de cerca de 2,5 m (1,0 m abaixo do nível d'água). Depois, uma parede de escavação vertical de 8 m de profundidade, que atravessou a camada de argila orgânica e engastou na camada arenosa. O tampão de fundo também ficou na camada de areia. O projeto de contenção lateral apresentava até 4 filas de colunas externas e um tampão de jet de 6 m de espessura. O diâmetro nominal de coluna foi de 120 cm.

3.2 Fundação – Reforço

Esse tipo de aplicação do jet em geral envolve colunas secantes entre si, formando blocos ou radier de fundação direta de edifícios. Outro modo de aplicação é utilizar coluna isolada com fuste de diâmetro menor, por exemplo 80 cm e, no topo criar coluna de diâmetro maior (superior a 120 cm) formando capitel. Inclusive as colunas podem ser armadas, quando for o caso. Essa configuração tem sido muito usada em subfundação de lajes industriais e também em aterros. Problemas de recalques diferenciais e de estabilidade tem sido resolvidos evitando-se a demolição das lajes, ou em fundações de aterros em solos moles espessos, sem troca de solos; como nos encontros de aterros com pontes para garantir transição mais suaves entre eles e o efeito Tschebotariouf nas estacas das pontes (Koshima, et al 2012).

No caso abordado o jet grouting foi utilizado como uma solução vantajosa em relação às estacas de reforço. O problema era de recalque diferencial de um aterro de encontro, contido lateralmente por muro de concreto em contraforte, em L, como fundação direta. A altura máxima do aterro foi de 7 m e a superestrutura do viaduto tinha fundação profunda. De um lado do muro foi constatada presença de uma camada de cerca de 2,5 m de espessura, em forma lenticular, de uma argila orgânica, muito compressível, que desaparecia no muro do outro lado, na seção transversal do aterro (figura 8). O adensamento desta camada

estava provocando uma movimentação de tombamento do muro (vertical e horizontal do topo) em relação ao viaduto, tendo sido medidos valores cada vez mais crescentes ao longo dos meses, atingindo cerca de 20 cm. Análises em modelos matemáticos projetavam valores de deslocamentos finais superiores a 60 cm na vertical e deslocamentos laterais de mais de 50cm o que levaria ao inevitável tombamento / colapso da estrutura de contenção do aterro. Deste modo, o reforço projetado atingiu o caráter de obra emergencial.

A solução final indicada pelo projeto foi a execução de reforço com colunas inclinadas e verticais formando um leque contínuo, conforme ilustrado na figura 8 (Azambuja, 2007). O diâmetro nominal da coluna foi de 70 cm, espaçada a cada 70 cm, tipo CCP. O serviço iniciou-se com os furos verticais (90° com a horizontal), em seguida a coluna inclinada, intermediária, de 66° e, finalmente a mais inclinada com 45°, todos em relação a horizontal. Todas as colunas foram feitas juntas ao muro.

Houve um acompanhamento contínuo durante a execução das colunas para estabelecer o ritmo mais adequado da estabilização.

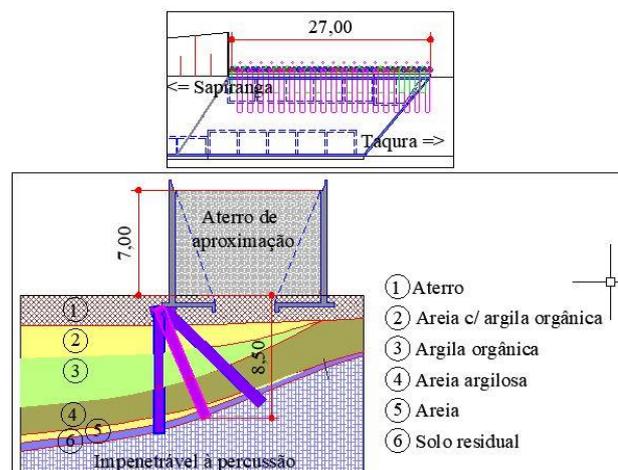


Figura 8. Distribuição das Colunas – planta e sessão

Destaca-se que a aplicação desta solução, criou uma integração e solidarização do muro vertical com as colunas de jet, sem necessitar a



execução da viga de transferência de carga. Isto não ocorreria na solução alternativa com reforço em estacas verticais externas que poderia criar momentos críticos na obra.

3.3 Estabilização – Recuperação de Aterro.

Nesse tipo de projeto, em geral, as colunas são aplicadas isoladas e armadas ou não, ou em forma de pequenos blocos para não criar barreiras que possam reter o fluxo de água no maciço que drena para o pé do aterro. Caso seja necessária, a solução ainda é complementada com a drenagem subhorizontal profunda (Novatecna, 2006).

Vários casos foram recuperados com uso do jet sem rupturas de aterros rodoviários, em operação, na região sul. O jet evita ou minimiza a remoção do solo causador da instabilidade, que pode estar profundo (Koshima, et al, 2012). Um dos pioneiros a analisar essa configuração em blocos espaçados foi De Mello para recuperação de uma grande área instável, com plano de fraqueza pré-estabelecido. (California – USA). Inclusive, foi feita uma prova de carga, em escala de protótipo, “in situ” (De Mello, 1984)

3.3.1 Recuperação de Escorregamento de Aterro Rodoviário.

A obra ilustrada ocorreu na rodovia federal, já concedida no Paraná. A área rompida atingiu mais de 50 m de extensão, de um aterro rodoviário com cerca de 14 m de altura. A massa rompida continha diversas interferências como cabo de fibra ótica, rede de tubulação de gás e rede elétrica aérea. A causa principal da ruptura deveu-se a elevação do nível freático no corpo do aterro e na fundação devido ao prolongado e intenso período chuvoso. A presença de uma camada espessa de solo silte argiloso com SPT entre 5 e 8 golpes que se saturou foi também um forte condicionamento. A saturação reduziu a resistência ao cisalhamento dessa região. Mais um fator constatado foi presença de cicatrizes antigas de rastejos da fundação do aterro; situado em plano inclinado, registradas nas árvores

encurvadas.

A solução adotada está ilustrada nas figuras 9 e 10. Foram 9 blocos espaçados, formados por 21 colunas de jet de diâmetro nominal de 120 cm, com comprimento médio de 13 m. Entre os blocos foram executados 9 drenos horizontais profundos de 30m, espaçados a cada 8 m, feitos a partir do pé do talude.

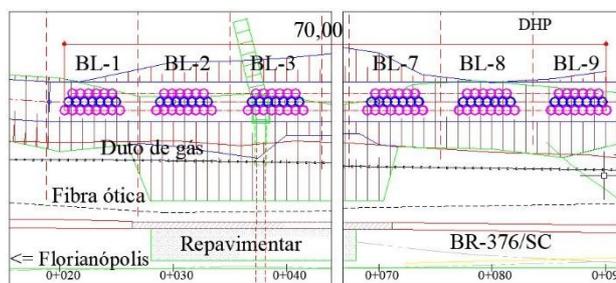


Figura 9. Blocos de Colunas - planta

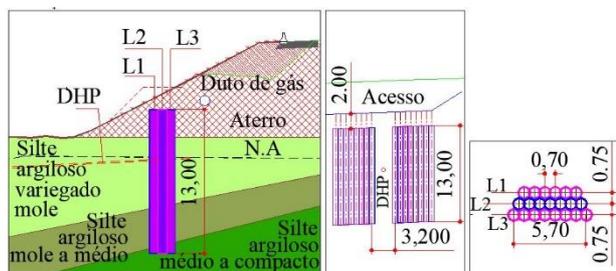


Figura 10. Bloco de Jet Grouting - seção e detalhes.

3.4 Obras Portuárias – Rebaixo de Calado e Estabilização do Cais.

3.4.1 Porto de Paranaguá – Rebaixo Calado

Um dos cais portuário foi rebaixado utilizando o jet grouting armado, conforme ilustração nas figuras 11 e 12. Essa solução permitiu o rebaixado do calado da cota -10 a -13,7 m. Foram duas filas de colunas de diâmetro nominal de 120 cm, espessadas a cada 90 cm e armadas com perfil metálico PW 310x21 (no eixo do furo). Esse maciço contínuo de jet armado foi executado à montante das estacas prancha de concreto pela água.

O rebaixo do calado de 3,7m indicou a necessidade de se criar uma “cortina de maciço



consolidado e resistente” à montante das estacas prancha para estabilizar a nova condição de solicitação do cais. O serviço de jet foi executado em sincronia com a operação do cais.

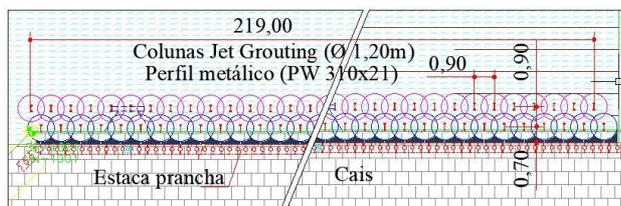


Figura 11. Reforço do Cais - Colunas Armadas – planta

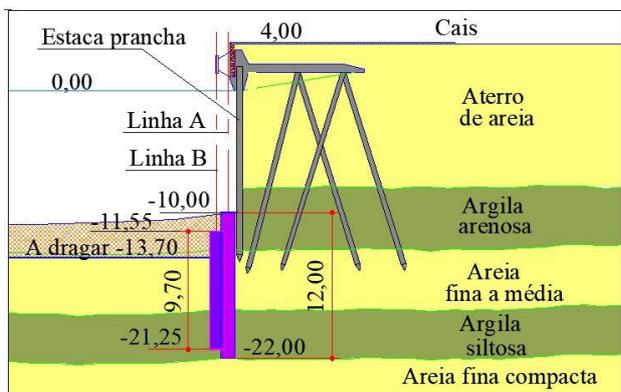


Figura 12. Reforço do Cais – Corte Típico.

3.5 Túnel– Emboque – Estabilização pré-contenção.

3.5.1 Emboque Sul do Túnel Morro Alto - RS

O emboque sul deste túnel foi implantado em encosta formada por colúvio espesso de basalto depositado sobre antigo corpo de tálus com blocos e, na sequência vinha, o solo residual, o saprolito e a rocha, todos de origem basáltica. Inicialmente o emboque ocorreu no colúvio superficial em corte taludado de modo convencional. Entretanto, logo percebeu-se a instabilização com a movimentação do maciço à montante. Assim houve a paralisação do serviço. Após re-análise geotécnica mais detalhada e melhor compressão do fenômeno envolvido, projetou-se um novo emboque com uma pré-contenção em jet grouting em forma de arco, ancorado em blocos de jet formando contra-

fortes com inclusão de estacas raiz. Utilizou-se para essa área colunas de 80 cm de diâmetro nominal devido a instabilidade. Nos demais trechos descritos a seguir utilizou-se jet de 120 cm.

Para a estabilização geral da encosta foram projetadas barreiras laterais nas regiões dos pés direito dos túneis e dois novos arcos formando compartimentos de jet engastados na rocha. O topo das colunas foi projetado até atingir a calota do túnel ou o lençol freático (ver figura 13, 14 e 15).

Portanto, a geometria de tratamento visava às seguintes funções estruturais:

- formar colunas de apoio do arco para servirem de fundação dos túneis no saprolito de basalto;
- travar dos pés direito, como rebite, uma vez que os tratamentos nas laterais dos túneis, região dos pés direito, transferia tensões horizontais do maciço instável, em rastejo, para a camada mais resistente e profunda;
- formar septos transversais em arco que interceptavam os contatos colúvio/tálus – residual/saprolito de basalto.
- criar contrafortes de jet grouting como apoio dos arcos de emboques dos túneis com inserção de estacas raiz, que suportavam os esforços oriundos dos arcos; e
- finalmente, fornecer com o conjunto de 6 câmaras de jet incremento de resistência ao deslizamento da encosta, garantindo a estabilização definitiva.

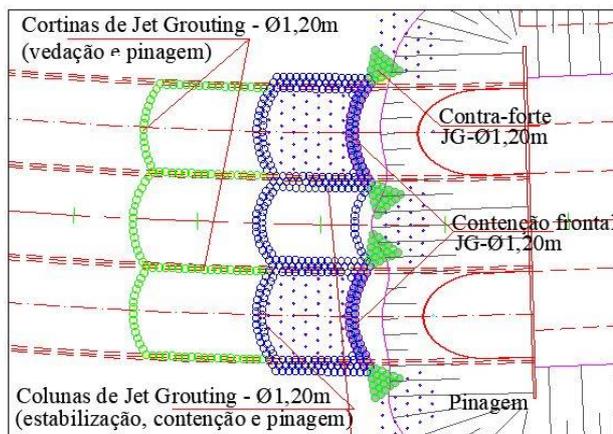


Figura 13. Tratamento do Emboque Sul - planta e perfil longitudinal.

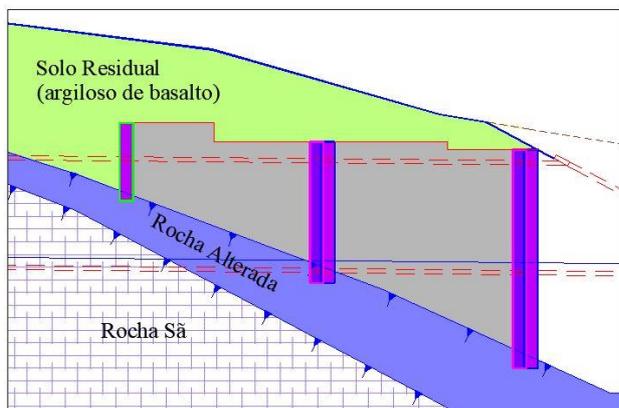


Figura 14. Emboque – corte longitudinal.



Figura 15. Emboque – início de escavação.

3.6 Barragem – Cortina de Vedação

Esse tipo de aplicação do jet grouting, em geral, envolve colunas secantes entre si. Elas devem formar uma cortina vedante na camada permeável tratada e devem engastar em camadas impermeáveis tanto na ponta como no topo.

3.6.1 Barragem do Arroio Jaguarí – Tratamento da Areia com Cascalho para Cortina de Vedação.

A cortina foi projetada para interceptar o fluxo preferencial pela fundação da barragem. As investigações indicaram uma camada arenosa de terraço aluvionar, constituído por areias grosseiras com cascalho depositadas sobre o topo rochoso. A espessura máxima era de cerca de 10m. A cortina projetada era de uma fila de

colunas justapostas de diâmetro nominal de 120 cm, engastando no topo da rocha granítica alterada.

O topo da coluna ficou engastado 1,0m no corpo do aterro compactado da barragem (ver figuras 15 e 16).

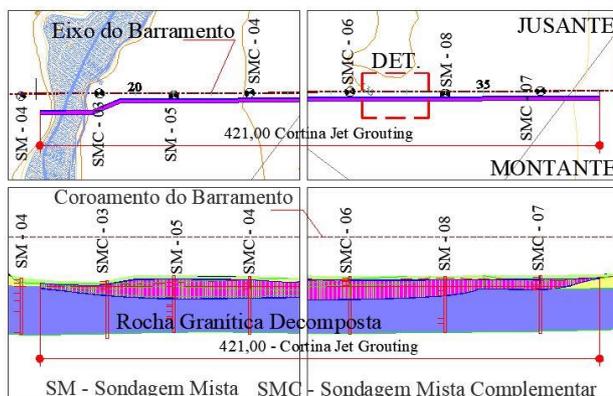


Figura 16. Cortina de Vedação – planta e perfil longitudinal

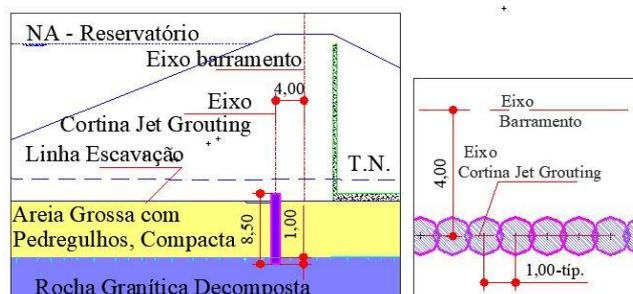


Figura 17. Cortina de vedação - Detalhes das Colunas

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram abordados os conceitos principais do jet grouting, a melhoria das propriedades dos solos fracos com a mistura do solo “in situ” desagregado pela ação do impacto do jato hidráulico, quase sônico, da calda de cimento. Resulta, assim, na formação de um novo maciço de solo cimento, com resistência superior a 2,0 Mpa Teixeira e Guatteri (1987). Os diâmetros adotados foram entre 70 e 120cm nos casos descritos.

A compenetração (“secância”) entre as colunas que na prática é a forte aderência de uma coluna,



resistente e endurecida pela coluna adjacente recém executada. Com este princípio pode-se projetar várias soluções nas obras de engenharia civil e, se necessário podem ser armadas. São descritos sucintamente 7 casos de obras feitas na região sul do Brasil. Acredita-se que o texto apresentado possa servir de inspiração, principalmente aos jovens engenheiros.

cap. 17, sub-item 17.2 – *Jet Grouting*, publicado pela Oficina de Textos - ABMS ABEF, com vários editores e autores, 3ª edição.
Novatecna Consolidações e Construções S.A (2006) *Catálogo Técnico Impresso*.
Talles, A. A.; (2011) – *Memória / Técnico a Respeito das Condições Geotécnicas da Estrutura da EBE – 3 de Guaíba, RS* – CORSAN e ECOPLAN
Teixeira, A.H., Guatteri, G. (1987) – *Improvement of Soft Clays by Jet Grouting Technology*; VIII CPMSEF, Cartagena, Colombia.

AGRADECIMENTOS

Os autores dedicam um especial agradecimento e gratidão à Giorgio Guatteri, pioneiro, introdutor do jet grouting no Brasil, fundador e presidente da Novatecna S.A. falecido em 24/03/2019.

Os autores também registram um agradecimento e gratidão à Romano Colla, introdutor do jet grouting na Itália e ex-sócio da Novatecna falecido em 2018.

Registramos o falecimento recente do Engº José Enrique Garces com muita saudade e gratidão.

REFERÊNCIAS

- Azambuja Eng., (2007) – Diagnóstico e Projeto de Estabilização dos Aterros de Aproximação e Reforço de fundações do Viaduto na Interseção da RS/239 com a RS/115 do DAER.
- Colla, Romano (2015) – *Depoimento pessoal em Parma, Itália*. Informações gravadas, obtidas por Akira Koshima.
- De Mello, V.F.B. e Assoc. (1984) *Relatório de Projeto de Estabilização de Escorregamento com Colunas CCP - San Clement, California (interno da Novatecna)*.
- Guatteri G.; Koshima A; Pieroni M.P; Lopes J.R.; Moreira L.A.S.; Garces J.E. (2006) – *Síntese das Obras de Escavações e Contenções Escoradas com Jet Grouting*; XIII COBRAMSEG 2006 / IIICLBG, Curitiba.
- Koshima, A.; Guatteri, G.; Lopes, J. R.; Pieroni, M. R.; (2012), *Consolidação de Solo Mole com Jet Grouting em Obras de Estabilização, Escavação e Fundações de Grandes Estruturas*; XVI COBRAMSEG, Porto de Galinhas, PE.
- Koshima, A.; *Livro Fundações: Teoria e Prática* (2019),