

Jet Grouting – Uma Técnica para Melhoramento de Solos com Grauteamento a Alta Pressão

Capitão-Tenente (EN) Roberto Cruxen Daemon D'Oliveira

Ajudante da Divisão de Estruturas da DOCM. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestrando em Engenharia de Transporte pelo Instituto Militar de Engenharia.

1 - INTRODUÇÃO

O Jet Grouting, assim como todas as técnicas de grauteamento de solos e rochas, se desenvolveu a partir da prática. A necessidade de melhoramento das propriedades mecânicas de um substrato, pelos mais diversos motivos, incentivou o desenvolvimento destas técnicas, que conforme foram sendo utilizadas, passaram a ser mais bem estudadas, e suas teorias mais desenvolvidas.

Neste trabalho é apresentada, inicialmente, uma breve descrição das técnicas de grauteamento de solos. Em seguida são apresentadas as aplicações, a metodologia executiva e os principais parâmetros intervenientes na técnica.

2 - GRAUTEAMENTO DE SOLOS

Grauteamento consiste em forçar a entrada de um material (graute) sob pressão suficiente para que o mesmo preencha cavidades, fendas, vazios e/ou outros defeitos em rochas, solos, concretos ou materiais similares (WARNER, 2004).

O primeiro grauteamento de solo data de 1802, no qual o engenheiro francês Charles Bérigny utilizou água com cimento pozolana para preencher cavidades das fundações de uma eclusa que sofria problemas de recalque.

Com o desenvolvimento de ligantes hidráulicos e a invenção do cimento Portland em 1821, a técnica começou a se desenvolver, chegando às aplicações mais relevantes após

o desenvolvimento das modernas bombas hidráulicas com controle de pressão e vazão, ocorrido após a segunda Guerra Mundial.

Os fundamentos básicos do grauteamento já eram conhecidos desde o início da Primeira Guerra Mundial. Segundo KUTZNER (1996), a necessidade de conhecimento e controle da pressão de grauteamento, do excesso de água, das formas de preenchimento dos vazios, da finura do material empregado e da permeabilidade do meio que se pretende tratar, eram e são, até os dias de hoje, considerados aspectos essenciais na execução de grauteamentos de solos e rochas.

Segundo WARNER (2004), os métodos de grauteamento de solos, em função do mecanismo pelo qual o solo é melhorado, podem ser classificados de quatro formas distintas. São elas o grauteamento de solos por Compactação, Permeação, Fratura ou Substituição e Mistura (Jet Grouting). A Figura 1 mostra os métodos e os respectivos resultados no solo tratado, indicando de forma comparativa a diminuição da permeabilidade do solo tratado em função do método de grauteamento.

2.1 - GRAUTEAMENTO POR COMPACTAÇÃO

O objetivo deste tipo de grauteamento, como o próprio nome sugere, é promover uma compactação do solo mediante injeções. Em torno do tubo por onde o material de grauteamento é injetado ocorre um deslocamento do solo. A pressão de injeção promove uma densificação do solo no local injetado e na região circundante ao

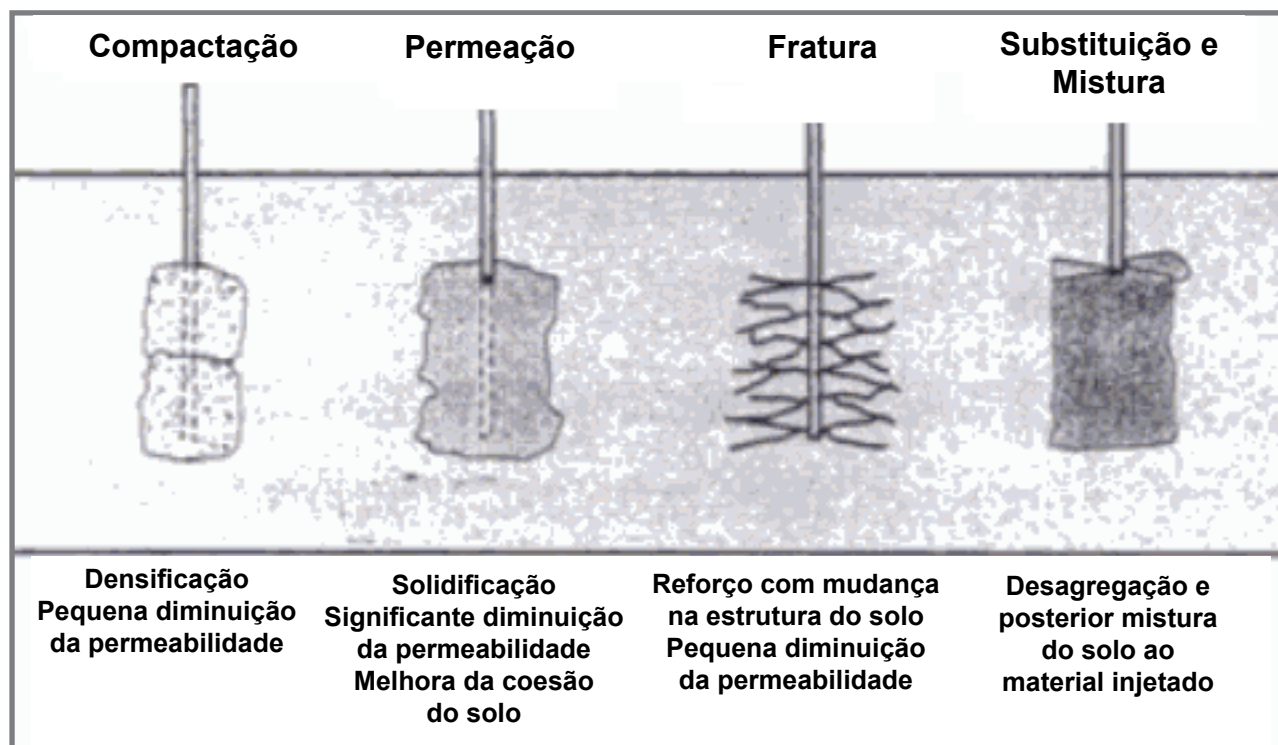


Figura 1 – Tipos de grauteamento e seus resultados no solo tratado.

tubo de injeção. Isto ocorre devido ao aumento das tensões de confinamento provocado pela pressão de injeção.

Justamente por ser um grauteamento por compactação, a sua faixa de aplicabilidade é grande, pois não depende da penetração, pelo solo, do material grauteado. Pode ser aplicado para todas as faixas de areia e silte. No caso de argilas, fica restrito à existência de permeabilidade suficiente para que ocorra uma satisfatória dissipação das poro-pressões geradas.

Trata-se de um método que não exige grande infraestrutura para execução, podendo ser utilizado em locais de difícil acesso. Por outro lado, não pode ser executado em locais próximos a estruturas existentes, pois os deslocamentos provocados no solo podem ocasionar danos.

O grauteamento por compactação promove um aumento da capacidade de carga do solo. Entretanto, o ganho de coesão é muito pequeno

e os melhoramentos das tensões de cisalhamento não são tão bons. Baseado no custo por metro cúbico de solo tratado, o grauteamento por compactação é o menos caro dos métodos para melhoramento de solos.

2.2 - GRAUTEAMENTO POR PERMEÇÃO

O grauteamento por permeação tem como propósito a injeção para preenchimento de poros, cavidades e aberturas, sem que ocorram alterações consideráveis na estrutura dos vazios do solo.

A ideia de grauteamento de solos remete diretamente a este tipo de tratamento, no qual as partículas do solo são aglutinadas umas às outras por meio de permeação do material grauteado. Neste método, razoáveis acréscimos na capacidade de carga e na tensão de cisalhamento do solo podem ser obtidos, além de uma significativa diminuição da permeabilidade. No caso de uma aplicação que preencha completamente os

vazios do solo, pode-se atingir um bloqueio por completo do fluxo de água, criando um material impermeável.

O uso deste método de grauteamento é limitado pela permeabilidade do solo tratado, uma vez que o mesmo deve ser permeável suficiente para que o fluido grauteado penetre adequadamente no solo. Sob um ponto de vista prático pode-se considerar que este tipo de grauteamento se aplica à faixa granulométrica de areias e pedregulhos, entretanto, dependendo do material utilizado no grauteamento, alguns solos com presença de partículas de silte podem ser tratados. O grauteamento químico, por exemplo, que normalmente emprega líquidos que apresentam baixíssimas viscosidades, é capaz de permear solos com permeabilidades mais baixas.

Justamente por apresentar um comportamento fluido quando injetado no terreno, o grauteamento por permeação apresenta um alto risco de falhas no controle de injeção, podendo inclusive ocorrer fugas de material e fraturas hidráulicas no solo tratado. Baseado no custo por metro cúbico de solo tratado, este tipo de grauteamento pode ser considerado relativamente caro.

2.3 - GRAUTEAMENTO POR FRATURA

No grauteamento por fratura o tratamento do solo é realizado com injeções para preenchimento de cavidades, poros e juntas, com considerável mudança na estrutura do solo. Em adição aos vazios naturais, novos vazios são criados artificialmente devido à pressão de injeção do material grauteado e, subsequentemente, são preenchidas as fendas criadas com a ruptura da estrutura do solo.

O fraturamento intencional do solo deve ser realizado de forma controlada, de modo que

a taxa de bombeamento do graute apresente pressão suficiente para que ocorram as fraturas hidráulicas no solo. Entretanto, como a direção e a configuração das fraturas não podem ser controladas, este tipo de grauteamento fica limitado a uma localização específica que se deseja tratar. Esta limitação, devido à dificuldade de controle das fraturas, faz com que este método fique mais restrito a solos em que os demais métodos de grauteamento não podem ser empregados, tais como as argilas.

2.4 - GRAUTEAMENTO POR SUBSTITUIÇÃO E MISTURA (JET GROUTING)

Esta técnica de grauteamento de solos, mais conhecida como Jet Grouting, se diferencia por ser um método relativamente recente que, apesar de ter surgido como uma evolução das outras técnicas, pouco tem a ver com os fundamentos básicos dos métodos descritos anteriormente, uma vez que seu princípio executivo prevê a desagregação e posterior mistura do solo ao material injetado. Enquanto nas demais técnicas são aplicadas pressões de injeção da ordem de 4,0 MPa, no método de Jet Grouting as pressões de injeção são da ordem de 60 MPa.

Segundo WARNER (2004), a mistura do material injetado a alta pressão no solo promove a criação de uma massa por ele chamada de “solocreto”, que virtualmente substitui o solo original, sendo por isso denominado um método de mistura e substituição.

Por se tratar de um método que promove a completa destruição da estrutura do solo original, pode ser aplicado, em princípio, em qualquer tipo de solo. Este tipo de tratamento confere ao solo um ganho de resistência e diminuição da permeabilidade.

3 - A TÉCNICA DE JET GROUTING

O Jet Grouting é uma técnica para melhoramento de solos que pode ser executada sem a necessidade de escavação prévia. Essa técnica consiste em bombear, a alta pressão, jatos horizontais de calda de cimento, água e/ou ar no subsolo. A elevada energia cinética do jato, que é injetado no subsolo a velocidades da ordem de 250 m/s, promove a desagregação da estrutura do solo. O solo desagregado se mistura com a calda

de cimento jateada, formando um material de melhores características.

A Figura 2 ilustra a diferença de resultados obtidos entre o método convencional de injeção e o Jet Grouting. A Figura 2a mostra uma coluna de “solocreto” formada pelo método de Jet Grouting, comparando-a com o resultado da Figura 2b, referente a uma aplicação de grauteamento pelo método convencional, com permeação por injeção a baixa pressão.



Figura 2:

a) Colunas de “solocreto” formadas pelo método de Jet Grouting;

b) Massa de solo tratada pelo método convencional de grauteamento por injeção a baixa pressão (Fonte: Bilfinger Berger Foundations).

3.1 - LIMITES PARA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO

Embora comumente o método de Jet Grouting seja mencionado como aplicável em qualquer tipo de solo, verifica-se que, em função da resistência do solo, existe uma faixa de aplicação deste tipo de tratamento de solo. Essa faixa se refere principalmente à viabilidade financeira do

método. Ou seja, mesmo sendo tecnicamente possível utilizar a solução, ela deixa de ser viável em virtude de seu baixo rendimento quando executada em determinados tipos de solos.

Ao contrário dos outros métodos de grauteamento de solos, onde as faixas de aplicações dos métodos se referem à permeabilidade do solo, onde vazios existentes

no solo devem ser suficientes para que possa ocorrer a permeação, o Jet Grouting tem uma faixa de aplicabilidade em função da resistência. Para que seja vantajoso, o sistema de jateamento horizontal deve conseguir, de forma eficaz, desagregar e misturar o solo tratado sem que se torne um processo muito moroso e/ou dispendioso.

Segundo KUTZNER (1996), solos coesivos com resistência não drenada de 40 MPa e limite de liquidez de 40% são vistos como valores limites para aplicação de Jet Grouting. O que se observa na prática é que em solos coesivos a limitação do método é financeira, pois a velocidade de translação da subida da haste de injeção deve ser tão pequena e/ou a quantidade de material passa a ter que ser tão grande que o custo para se obter o elemento desejado se torna inviável.

Em solos não coesivos, mais uma vez a viabilidade do método se refere ao aspecto financeiro. Solos com granulometrias muito graúdas são de mais difícil movimentação, tornando mais vantajosa a utilização de outros métodos de grauteamento. Isto ocorre, pois o Jet Grouting não é capaz de promover uma desagregação suficiente da estrutura de solos graúdos e a injeção acaba agindo de forma similar a outros métodos de grauteamento por permeação. Segundo KUTZNER (1996), um limite superior para aplicação do método em solos não coesivos pode ser dado por pedregulhos de 60mm de diâmetro.

3.2 - PROCESSO EXECUTIVO

O processo executivo de melhoramento de solos com Jet Grouting pode ser basicamente dividido em três fases distintas: corte, mistura e cimentação. Na fase de corte a estrutura do solo é quebrada por jatos horizontais de calda de

cimento, água e/ou ar, dispersando as partículas de solo. Na fase de mistura uma parte das partículas ou fragmentos do solo é substituída e a outra parte é misturada intimamente com a calda injetada. Por fim, na fase de cimentação as partículas ou fragmentos de solo são aglutinados entre si promovendo a cimentação propriamente dita e formando um corpo consolidado.

A sequência executiva de uma perfuração com Jet Grouting é mostrada na Figura 3. Inicialmente a sonda é posicionada nivelada, com o eixo da haste de injeção coincidente com o eixo da coluna de Jet Grouting que se pretende formar. No caso de se pretender obter um painel, o eixo da haste de injeção deve ser coincidente com a extremidade do painel. Em seguida, a haste de injeção é introduzida no terreno por meio de um movimento rotacional, com a ajuda de um jato de água vertical, até que os bicos de injeção atinjam a profundidade inferior desejada. Finalizada a perfuração, a saída de água inferior (vertical) é fechada através de uma válvula e inicia-se o processo de injeção com jatos horizontais de calda de cimento, água e /ou ar.

Durante o processo de injeção, no caso de se pretender obter uma coluna de Jet Grouting (geometria cilíndrica) se impõe à haste de injeção um movimento rotacional. No caso dos painéis de Jet Grouting não há rotação durante a subida da haste de injeção.

Iniciado o jateamento horizontal da calda de cimento, procede-se ao mesmo tempo a subida da haste de injeção no interior do furo, com uma velocidade constante, de modo que o período de tempo correspondente à ascensão da haste para um determinado comprimento fixo estipulado, designado por passo vertical, seja constante. Concluída a execução da coluna ou painel, retira-se a haste do furo, preenchendo-o por gravidade com calda de cimento até o topo.

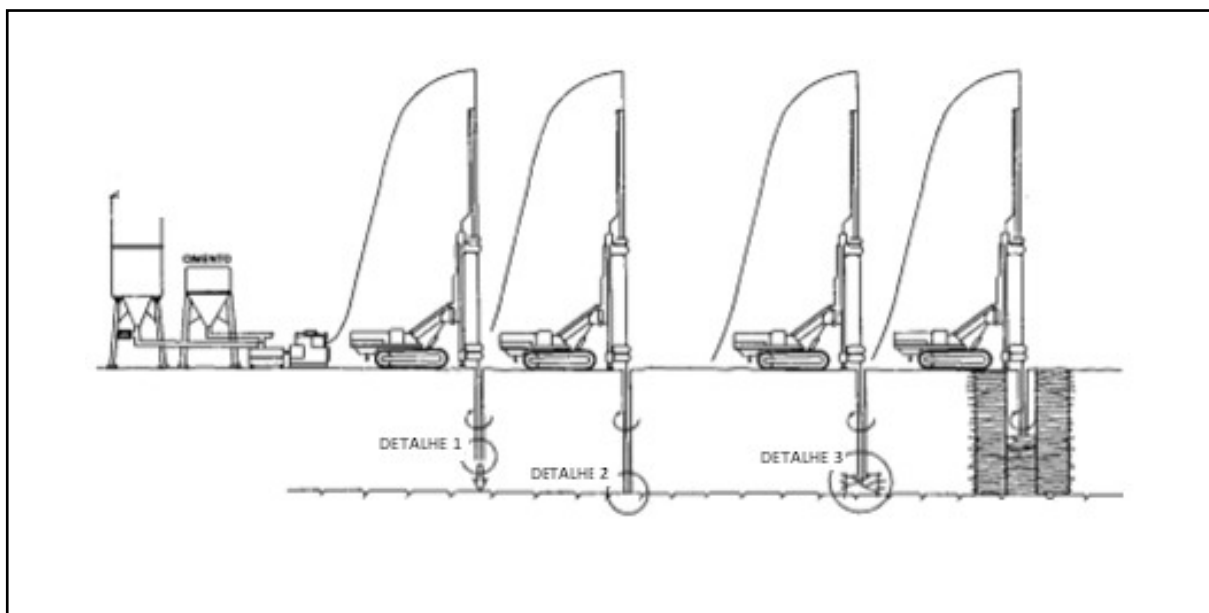


Figura 3 – Sequência executiva esquemática do método de Jet Grouting (CARRETO, 2000).

3.2.1 - SISTEMA DE JATO SIMPLES

No sistema de jato simples são utilizados apenas jatos horizontais de calda de cimento, que têm a finalidade de simultaneamente realizar a desagregação e a mistura das partículas de solo com o material injetado. A designação “jato simples” se deve ao fato do mesmo ser realizado apenas com calda de cimento, sem a presença de água ou ar. Entretanto, no jateamento simples podem ser utilizados um ou mais bicos de injeção de calda de cimento.

Por se tratar de um sistema de jateamento com baixo poder de desagregação, sua utilização fica mais restrita a solos que apresentem menor resistência ao jateamento e demandem um esforço energético menor para desagregação. Segundo CARRETO (2000), a aplicação deste sistema de jateamento se torna pouco eficiente e muito dispendioso se aplicado em solos arenosos com valores de Resistência à Penetração Dinâmica (SPT) superiores a 20 golpes ou em solos coesivos com valores de SPT superiores a 5 golpes.

3.2.2 - SISTEMA DE JATO DUPLO

O sistema de jateamento duplo se difere do simples apenas pelo fato do jateamento de calda de cimento ser envolto por uma camada de ar, conferindo ao mesmo um maior poder de desagregação. Assim como no jateamento simples, a ação desagregadora e de mistura é feita pelo jateamento de calda de cimento, servindo a camada envolvente de ar apenas para aumentar o alcance do jato.

Para se obter a camada de ar envolvente ao jato de calda de cimento, são empregadas duas hastes coaxiais para injeção. Pela haste interna é bombeada a calda de cimento e pelo espaço anelar entre as hastes passa o ar comprimido, gerado por um compressor na superfície. O jato de calda de cimento sai por um bico de injeção único para as duas hastes, de modo que ao ser injetado contra o solo esta camada envolvente de ar comprimido confere ao jato um maior poder de desagregação.

O único cuidado adicional que deve existir além dos procedimentos adotados no jateamento simples se refere à fase inicial de perfuração. Além

da injeção de água para perfuração pela haste interna, no espaço anelar entre as hastes coaxiais deve sempre haver fluxo de ar comprimido em vazão suficiente para que não ocorram obstruções.

Por se tratar de um sistema de jateamento com maior poder de desagregação em relação ao jato simples, sua utilização não tem restrições, podendo ser utilizado em praticamente todos os tipos de solos. Entretanto, segundo CARRETO (2000), a aplicação deste sistema de jateamento não é comumente usada em solos coesivos com valores de SPT superiores a 10 golpes.

3.2.3 - SISTEMA DE JATO TRIPLO

O sistema de jateamento triplo se difere dos demais por separar as ações de desagregação e mistura. Para tal se faz necessário pelo menos um bico para injeção de água e ar e outro para injeção de calda de cimento.

O jato de água e ar serve para destruir a estrutura do terreno. Parte da água injetada sai através do furo, trazendo consigo parte do solo desagregado. O jato de ar que envolve o jato de água aumenta o poder desagregador e ainda provoca a emulsão da mistura água-solo desagregado, reduzindo a sua densidade e facilitando a sua saída para o exterior.

O jato de calda de cimento é lançado no terreno por meio de outro bico de injeção, posicionado abaixo do bico de injeção de água e ar. O solo que permaneceu na cavidade após a passagem do jato de água e ar se mistura à calda de cimento injetada, dando origem a um corpo solidificado.

Para se obter a camada de ar envolvente ao jato de água e outro jato distinto de calda de cimento, adota-se além dos dois bicos de injeção, um sistema de três hastes coaxiais, que funcionam de forma similar ao sistema de jato duplo.

O sistema de jato triplo pode ser empregado

em qualquer tipo de solo, entretanto de uma forma geral se observa que esse tipo de solução tem sido adotada em solos com valores de SPT inferiores a 15 golpes (CARRETO, 2000).

3.3 - EQUIPAMENTOS

Os equipamentos requeridos para tratamentos com Jet Grouting estão resumidos na Figura 4 e consistem basicamente de uma máquina para perfuração e injeção, reservatórios de água e demais materiais, compressor de ar e bomba de alta pressão. Ressalta-se, entretanto, que o tipo de maquinário destinado à perfuração poderá sofrer alterações em função do tipo de solo e do sistema de jateamento empregado. A Figura 4 se refere ao sistema de jato triplo, que é o que demanda a maior quantidade de equipamentos.

Tendo em vista que o raio efetivo da coluna ou painel de Jet Grouting depende do tipo de solo tratado e também da forma como se desenvolvem os trabalhos de perfuração e injeção, é de vital importância que o equipamento de perfuração e injeção possua um monitoramento e controle automático das velocidades de rotação e translação da haste de injeção. Na prática não há um controle independente de pressão e vazão do material injetado, ficando por conta apenas do controle de velocidade de rotação e translação da haste de injeção a definição do raio efetivo do elemento tratado.

O equipamento de injeção utilizado neste método é muito versátil, podendo se deslocar no interior da obra e se posicionar próximo a estruturas existentes, o que o torna muito vantajoso quando utilizado, por exemplo, para reforços de fundações de construções existentes.

Na Figura 5a pode-se observar o equipamento realizando um jateamento horizontal, característico deste método, enquanto que a Figura 5b mostra um equipamento de injeção posicionado junto a uma construção existente.

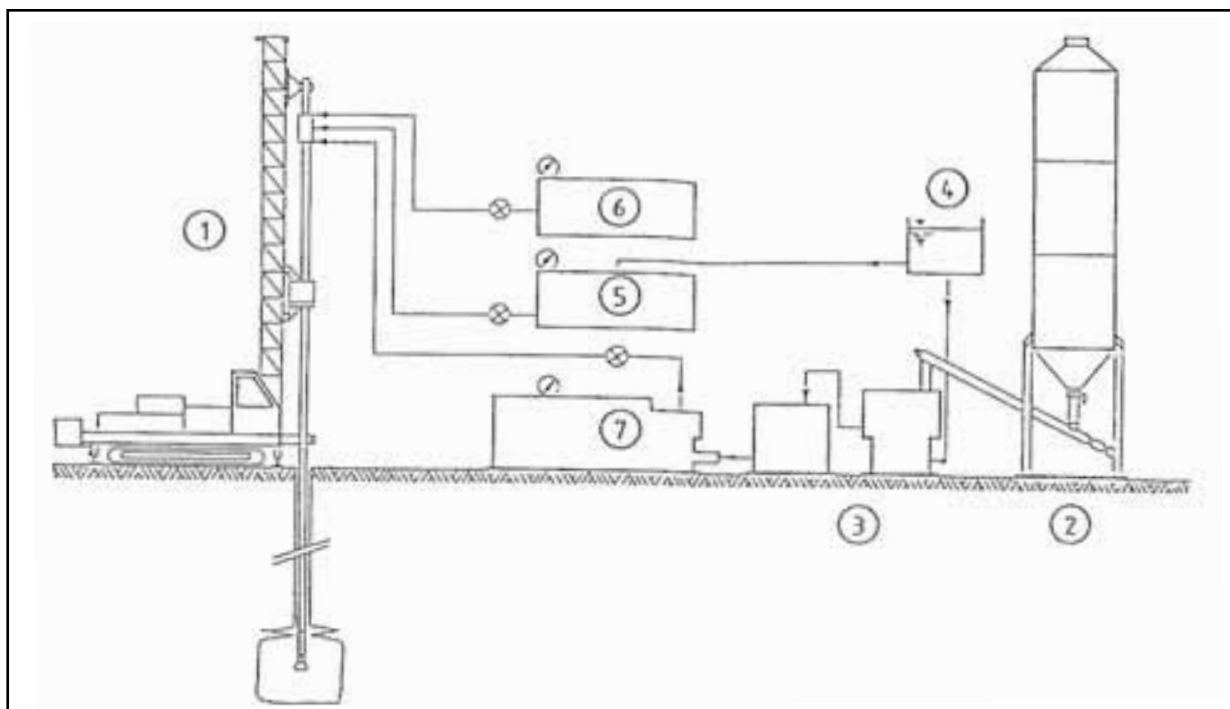


Figura 4 – Equipamentos de campo para Jet Grouting com sistema de jato triplo.
 1) Maquinário para perfuração e injeção com controle de profundidade e de velocidades de rotação e translação;
 2) Silo com dosador para armazenamento de cimento;
 3) Tanques para mistura e armazenagem da calda de cimento;
 4) Reservatório de água;
 5) Bomba de alta pressão para água;
 6) Compressor de ar; e
 7) Bomba de alta pressão para injeção da calda de cimento (KUTZNER, 1996).



Figura 5 – Equipamento utilizado para execução de colunas e painéis em Jet Grouting: a) Jato horizontal de alta pressão; b) Versatilidade para execução de reforços próximos a estruturas existentes (Fonte: Bilfinger Berger Foundations).

3.4 - APLICAÇÕES

As aplicações de Jet Grouting se referem basicamente a obras de estabilização e impermeabilização, sendo, portanto, muito utilizado em obras de escavações, reforços de estruturas portuárias, cortinas estanques, estabilização de taludes e túneis. Para que o propósito de estabilizar ou impermeabilizar o solo seja atingido, é necessário que os elementos (colunas ou painéis) estejam posicionados adequadamente, ou seja, o sucesso da aplicação depende do arranjo adotado para a solução. A Figura 6 mostra seis esquemas possíveis de arranjos de soluções com Jet Grouting.

A versatilidade do método, associada à possibilidade de utilização em qualquer tipo de solo, acarreta em um leque de aplicações nos mais variados tipos de obras.

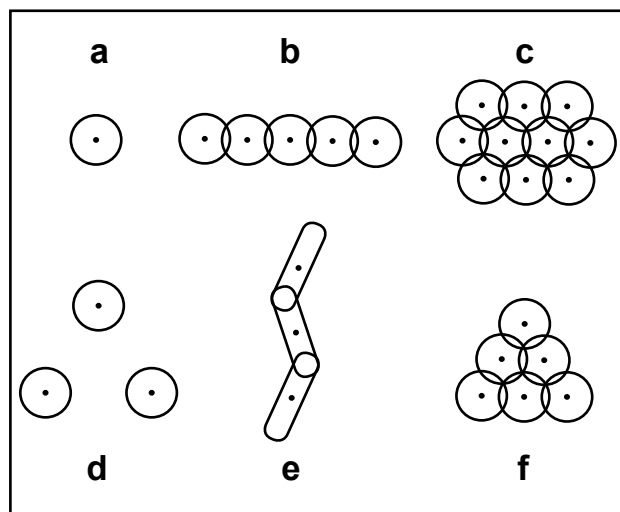


Figura 6 – Arranjos típicos de aplicações de Jet Grouting.
a) Coluna simples;
b) Cortina estanque de colunas justapostas;
c) Colunas de sustentação intertravadas;
d) Colunas individuais para melhoramento de solos;
e) Painéis intertravados para formação de paredes diafragma; e
f) Impermeabilização de lajes de fundo com colunas intertravadas (KUTZNER, 1996).

3.5 - PARÂMETROS DO PROCESSO EXECUTIVO

A resistência, a deformabilidade, a permeabilidade, a geometria do corpo tratado e a eficiência de um tratamento com Jet Grouting são diretamente correlacionadas com os parâmetros que regem o processo executivo. Estes parâmetros variam de acordo com o sistema de jateamento empregado e são basicamente os seguintes: vazão e pressão dos fluidos envolvidos no processo (calda de cimento, água e ar), diâmetros e quantidade de bicos de injeção, velocidades de subida e de rotação da haste de injeção e fator água/cimento da calda de cimento.

As especificações dos parâmetros devem estar em sintonia com a disponibilidade de equipamentos para execução da obra, uma vez que normalmente são eles que definem os valores a serem empregados. Não faz sentido especificar valores de velocidades, vazão e pressão fora da faixa de atuação dos equipamentos adotados e tão pouco estipular bicos de injeção em quantidades e/ou diâmetros diferentes do disponível.

A Tabela 1 apresenta valores médios de parâmetros do método de Jet Grouting. Nessa tabela fica clara a influência do sistema de jateamento na definição dos mesmos. No sistema de jato simples os parâmetros referentes à injeção de ar e água não precisam ser definidos. Isto ocorre porque neste sistema de jateamento o processo de corte e mistura é realizado pelo próprio jato de calda de cimento. No sistema de jateamento duplo, no qual o jato de calda de cimento é envolto por uma camada de ar para amplificar o poder de corte e mistura do jato, é necessário definir também os parâmetros de injeção de ar. No jateamento triplo todos os parâmetros de injeção, referentes à calda de cimento, ar e água devem ser definidos, pois o processo de corte é feito separadamente pelo jato de água e ar, enquanto

o jato de calda de cimento é injetado por meio de outro bico de injeção.

Cabe salientar que em situações particulares, em função das características do solo, o tratamento pode ser precedido de uma pré-furação. Consiste em efetuar um jateamento de água de alta

pressão em movimento ascendente e rotacional antes de se iniciar o processo de Jet Grouting. Em seguida realiza-se o tratamento propriamente dito. Nestes casos devem ser definidos também os parâmetros referentes a este jateamento de água da pré-furação.

	Parâmetros	Jato Simples	Jato Duplo	Jato Triplo
Pressão	Calda de cimento (MPa)	20 a 60	20 a 55	0,5 a 27,6
	Ar (MPa)	-	0,7 a 1,7	0,5 a 1,7
	Água (MPa)	****	****	20 a 60
Vazão	Calda de cimento (l/min)	30 a 180	60 a 150	60 a 250
	Ar (m ³ /min)	-	1 a 9,8	0,33 a 6
	Água (l/min)	****	****	30 a 150
Diâmetro dos bicos	Calda de cimento (mm)	1,2 a 5	2,4 a 3,4	2 a 8
	Água (mm)	****	****	1 a 3
Número de bicos	Calda de cimento	1 a 6	1 a 2	1
	Água	****	****	1 a 2
Relação água / cimento		1:0,5 a 1:1,25	1:0,5 a 1:1,25	1:0,5 a 1:1,25
Velocidade de subida da haste de injeção (m/min)		0,1 a 0,8	0,07 a 0,3	0,04 a 0,50
Velocidade de rotação da haste de injeção (rpm)		6 a 30	6 a 30	3 a 20

Tabela 1 – Valores médios de parâmetros no método de Jet Grouting (CARRETO, 2000)

Conforme se pode observar, os valores apresentados na Tabela 1 são bastante variáveis. Essas diferenças são explicadas pela diversidade de metodologias e equipamentos disponíveis, que podem variar de um país para outro ou até mesmo de uma empresa para outra, que sempre estão em busca da otimização do método.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as diversas formas existentes para melhoramento de solos, o Jet Grouting vem

se destacando como uma alternativa rápida, eficiente e relativamente barata, principalmente em aplicações na área portuária. Entretanto, a crescente utilização desta técnica sem a realização de estudos suficientes sobre o assunto vem suscitando dúvidas quanto a sua adequabilidade em determinadas situações.

Este artigo procurou elucidar os conceitos básicos da técnica, para que a mesma possa ser utilizada de forma adequada para cada situação. O amplo conhecimento da técnica e domínio da

sua utilização permite que a mesma seja aplicada com um maior rendimento, proporcionando ganhos tanto na técnica quanto no custo.

Podemos concluir, portanto, que antes de decidir pela solução com Jet Grouting devemos ter o cuidado de avaliar criteriosamente as condições locais em que se pretende aplicar a solução. O conhecimento da geotecnia local e a escolha adequada do método de injeção são vitais para que não seja vendida uma solução inadequada para o problema que se pretende resolver.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARRETO, Joana Rodrigues (2000) Jet Grouting. Uma técnica em desenvolvimento. VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, Portugal: 1043-1054.

FOUNDATIONS, Bilfinger Berger (2010). Jet Grouting. Catálogo disponível para consulta em [http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL83645GPEREN/\\$FILE/Jet%20Grouting.pdf](http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL83645GPEREN/$FILE/Jet%20Grouting.pdf). Visualizado em 05 OUT 2010.

GUATTERI, Giorgio; KOSHIMA, Akira; ALTAN, Victorio Doro; LOPES, José Ricardo; MOREIRA, Luís Augusto da Silva; NOVATECNA S/A (2004) Um Caso de Aplicação de Jet Grouting em Solo Turfosos. SEFE IV, Vol. 2: 232-240.

JARITNGAM, Saravut (2001) Application of Jet Grouting for Retaining Walls on Deep Excavations, Soft Soil Engineering: 477-481.

KUTZNER, Christian (1996) Grouting of Rock and Soil. A.A Balkema, Rotterdam, Netherlands.

LEVANTAPORTOS (2005) Levantamento da infra-estrutura portuária e do emprego de recursos tecnológicos nos portos brasileiros. Convênio MT-FRF no 009/2004, Fundação Ricardo Franco, Instituto Militar de Engenharia e Instituto de Pesquisas Hidroviárias. AMORIM, J.C.; MATTOS, S.A.; CAMPOS, C.M.O.; ACETTA, D.; NETO, G.C.; CASAROLI, L.F.R.; MOREIRA, A.S.; PUCCI, L.C.; BRAGA, M.A.A.

MAFFEI, Carlos E.M.; GONÇALVES, H.H.S.; GUAZZELLI, M.C. (2004) Estabilização de Pavimento sobre uma Camada de Turfa usando o Aterro como Laje Apoiada nas Colunas de Jet Grouting. SEFE IV, Vol.2: 290-301.

MARÍTIMA, CMA CGM do Brasil Agência (2010). Acesso de navios e infra-estrutura de portos no Brasil - apresentação. Fórum de Direito Marítimo, Navegação e Logística do Estado do Ceará. Disponível em http://www.fiec.org.br/cin/forum/apresentacao_2/Riscos%20e%20Reflexos%20da%20Infra-Estrutura%20Log%C3%ADstica.pdf. Visualizado em 05 Ago 2010.

MARQUES, Maria Esther Soares; LACERDA, Willy Alvarenga (2002) Caracterização geotécnica de um depósito argilo fluvio-marinho em Navegantes, SC. Geosul, III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul.

SEP – Secretaria Especial de Portos (2010) Atribuições e Competência. Conteúdo oficial do sítio disponível em <http://www.portosdobrasil.gov.br/sobre-a-sep#documentContent>. Visualizado em 05 Ago 2010.

WARNER, James (2004) Practical Handbook of Grouting. Soil, Rock and Structures. United States.