

JET GROUTING

O Jet Grouting é um tipo de injeção de maciços que usa jatos de alta pressão e velocidade para hidraulicamente erodir, misturar e parcialmente substituir o maciço natural com um fluido cimentício a fim de criar um material em solo-cimento com resistências muito superiores e permeabilidades inferiores às do maciço natural. Essas colunas são muitas vezes chamadas de *soilcrete*. A técnica de Jet Grouting aplica-se a maciços de qualquer granulometria.

A técnica de Jet Grouting pode ser dividida em três sistemas - o sistema monofluido, o sistema bifluido e o sistema trifluido. Na Figura 1 observa-se o desenho esquemático desses sistemas.

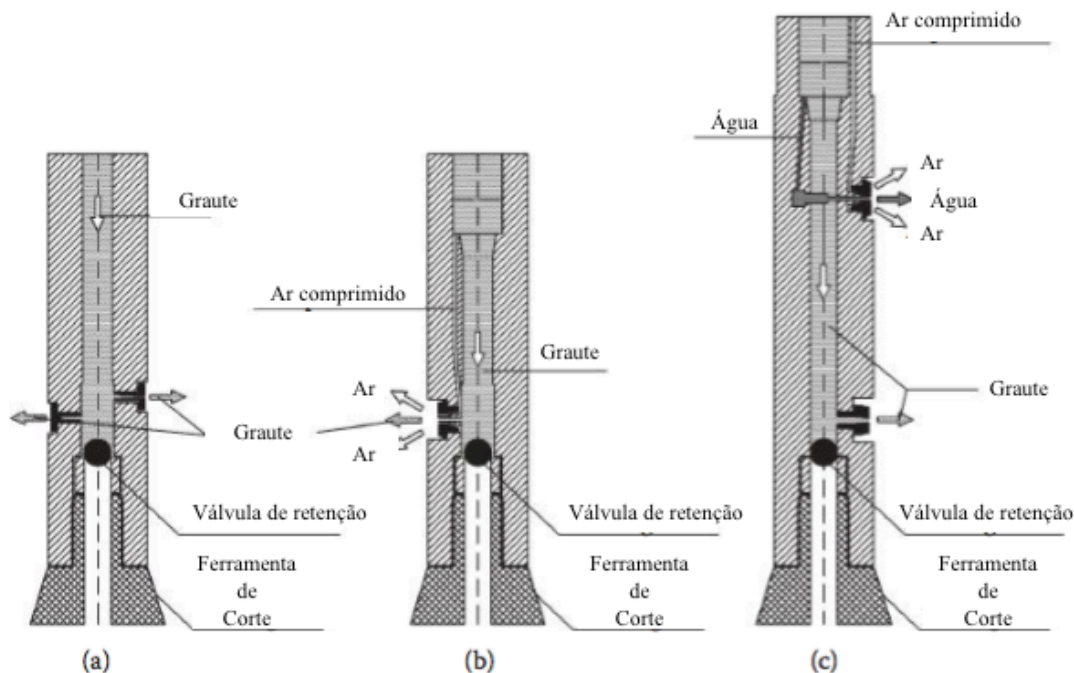


Figura 1 - Sistemas de jet-grouting. a) monofluido, b) bifluido e c) trifluido (modificado - Croce et al, 2014)

O sistema monofluido (Figura 1a), comumente chamado de CCP (*Cement Churning Pile*), consiste, fundamentalmente, no bombeamento de calda de cimento a pressões altíssimas (de até 40 MPa), em que se obtém um jato de alta velocidade e turbulência (200 a 320 m/s), cuja força de impacto desagrega a estrutura do solo, promovendo a



Solotrat

mistura e a homogeneização íntima deste material com a calda injetada, formando colunas cilíndricas de solo-cimento, entre 0,4 e 0,8 m de diâmetro (Carletto, 2009). Tais cilindros são injetados usualmente secantes uns aos outros, de modo a formar uma estrutura única. Apesar de normalmente se obter colunas cilíndricas, com o avanço das técnicas de injeção e perfuração várias geometrias podem ser formadas, como, por exemplo, painéis plásticos (Croce *et al*, 2014). Os outros sistemas de *jet-grouting* tem princípio físico semelhante.

O sistema bifluido (Figura 1b), comumente chamado de processo de *jet-grouting* (JG ou JSG), por ser o mais utilizado, inovou ao utilizar ar comprimido (5 a 10 kPa) para o envolvimento do jato de calda. Este envelopamento da calda pelo ar possibilita um alcance maior do jato, pelo fato do ar comprimido propiciar um maior desenvolvimento hidráulico da calda de cimento injetada, diminuindo as perdas de energia do processo, podendo tratar um maior volume do maciço (Croce *et al*, 2014). Neste sistema alcançam-se diâmetros de até 2 m, em solos moles.

Já o sistema trifluido (Figura 1c), (CJG, CJSG ou Kajima), que incorporou, junto ao ar comprimido, um jato d'água, possibilitando a obtenção de colunas ainda maiores, que chegam a 3 m de diâmetro. Este último sistema, pelo alto custo da bomba de injeção, não se utiliza corriqueiramente no Brasil. Nos Estados Unidos há empresas que, aumentando a capacidade das bombas de injeção do sistema trifluido, alcançam colunas de até 5 m de diâmetro. Este sistema é chamado de *Super Jet* (Burke *et al*. 2000).

Na execução dos sistemas *jet-grouting* há a perfuração do terreno por processo rotativo, usualmente com um tricône como ferramenta de corte e o emprego de injeção d'água sob baixa pressão como elemento de lavagem. Na extremidade inferior da haste de perfuração, mas antes do tricône, está instalado um hidromonitor, peça do tubo no qual estão alojados bicos de injeção. A calda de injeção, apesar de usualmente ser de cimento, pode ter adições de acordo com a necessidade da obra. A calda é preparada num conjunto misturador-agitador. Após a conclusão da perfuração até a profundidade requerida pelo projeto e posteriormente à vedação da saída de água da ferramenta cortante por meio de uma esfera de aço, inicia-se a fase

de injeção. A prática recomenda para esta etapa bicos de 2,0 a 8,0 mm de diâmetro (Croce et al., 2014); de maneira geral quanto maior o bico maior o alcance do jato.

A coluna de solo-cimento é formada por meio da subida ascensional da haste (Figura 2), a uma velocidade constante da ordem de 15 a 60 cm/min, que é função do número de rotações por minuto da haste, da distância entre níveis sucessivos de tratamento e do tempo de permanência do jato em cada um desses níveis. Esses parâmetros são adotados em função das características e propriedades geotécnicas do maciço a ser melhorado, bem como da razão de tratamento requerida pelo projeto (peso de cimento sobre peso de solo ou maciço e relação água/cimento, usualmente com a/c entre 0,7 e 1,3 (Croce *et al*, 2014)). Um fato que se procura melhorar na execução é a relação entre densidade e viscosidade, buscando-se maximizar a densidade e minimizar a viscosidade, a fim de obter jatos de maior eficiência hidrodinâmica.

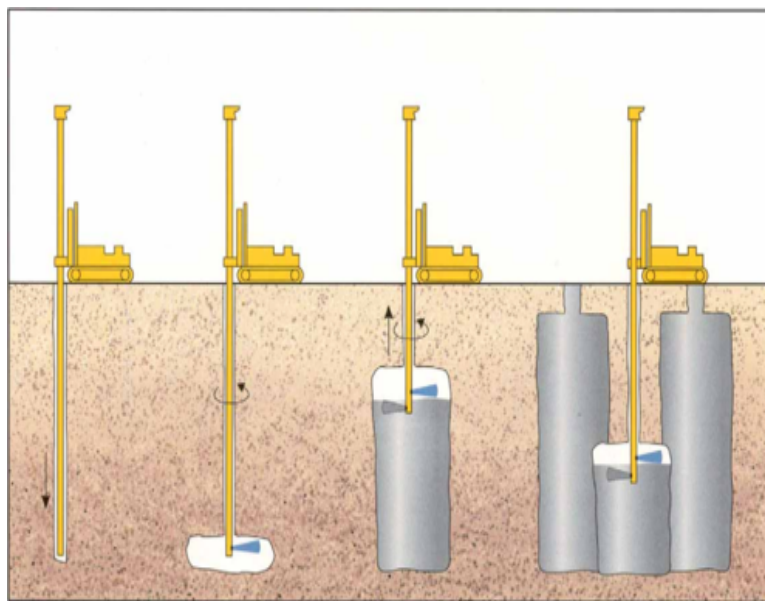


Figura 2- Sequência executiva de uma coluna (Hayward Baker, 2016)

Como esta é uma técnica baseada na erosão, a erodibilidade do solo tem papel fundamental na previsão da geometria, qualidade e produção das colunas. Solos não-coesivos são tipicamente mais erodidos pelo *jet-grouting* que solos coesivos (Figura 3). Já maciços rochosos geram colunas de diâmetro inferior às de solos. Para diminuir a incerteza e sugerir alterações ao projeto caso necessário, as empresas executoras fazem ensaios na própria obra antes de começar o serviço, de forma a testar se o



Solotrat

diâmetro da coluna está adequado ao projeto e se o efeito sobre as características a serem melhoradas é o esperado. O tamanho dos bicos de injeção, a densidade e viscosidade da calda, a pressão de injeção, a velocidade de ascensão da haste e a velocidade de rotação da haste são componentes controlados nas colunas teste, fato de fundamental importância no sucesso de aplicação desta técnica (Croce *et al*, 2014). Pelo fato do processo executivo se basear na erosão por fluidos em regime turbulento, a previsão teórica do processo de Jet Grouting é complexa e tratada extensivamente em Croce et al. (2014), com características executivas típicas. Já a previsão das características hidráulico-mecânicas do maciço condicionado é feita pela experiência de obras passadas e verificadas in situ, com destaque para os ensaios de perda d'água e de resistência à compressão uniaxial.

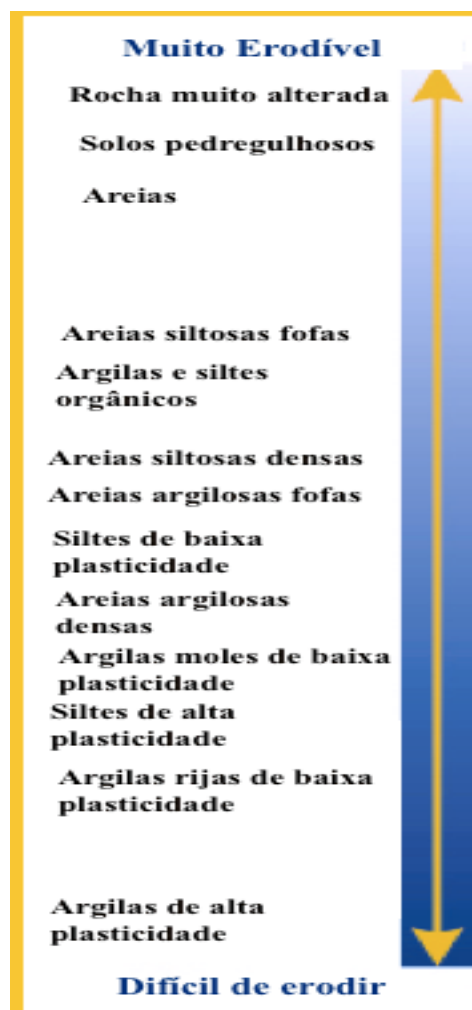


Figura 3 – Erodibilidade dos solos pelos sistemas de Jet Grouting (modificado – Hayward Baker, 2016)

Previsão da melhoria do maciço de acordo com jet grouting

Nas Tabelas de 1 a 3 e nas Figuras 4 e 5 parâmetros necessários de projeto das colunas de Jet Grouting são observados. Como se pode observar por esses dados, o intervalo de variação das colunas Jet Grouting é grande, justificando a verificação in situ dessas propriedades. Comumente em projetos de condicionamento de maciços envolvendo o uso de colunas Jet Grouting a análise probabilística das resistências e de permeabilidades do produto final é feita.

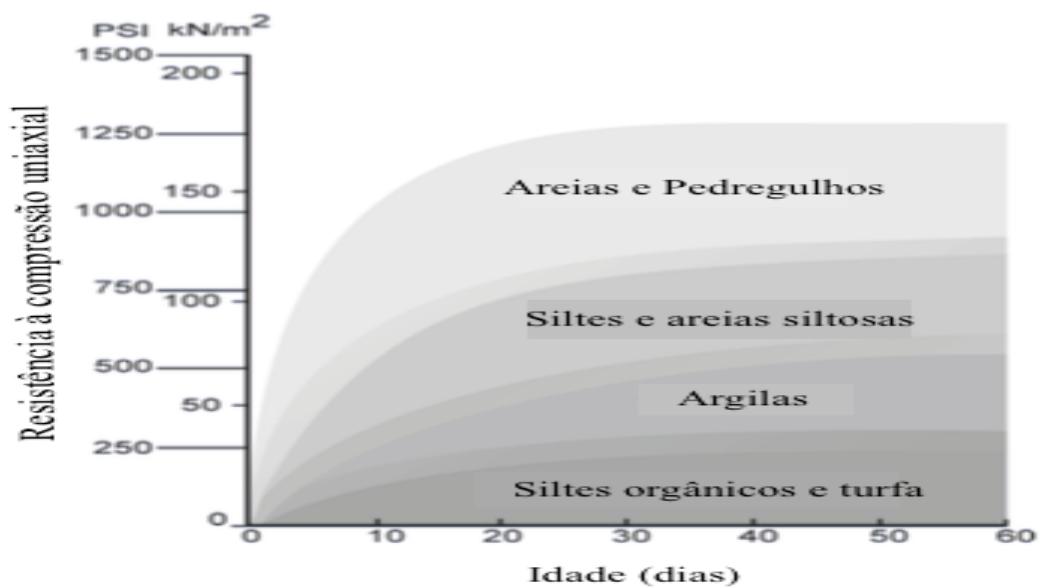


Figura 4 – Resistências à compressão ao longo do tempo de colunas Jet Grouting (modificado – Hayward Baker, 2016)

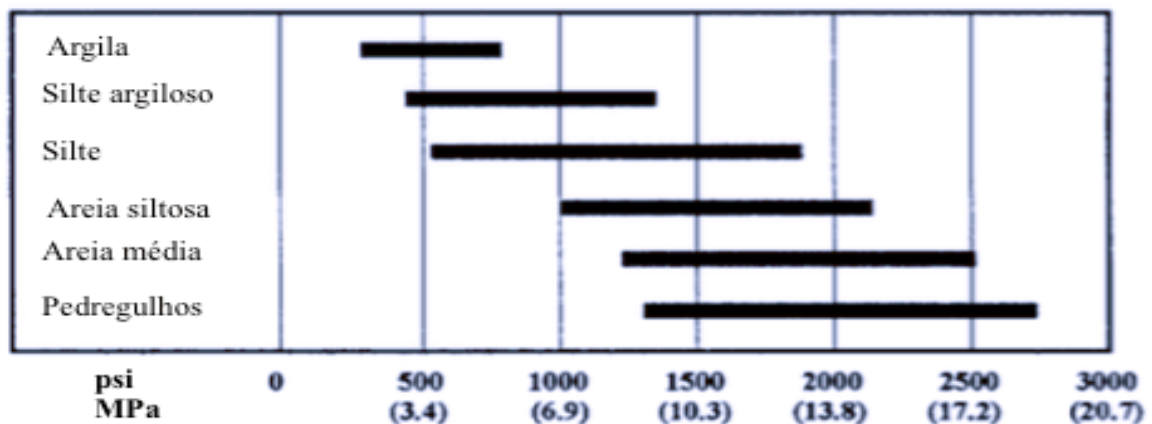


Figura 5 – Intervalo de resistências de colunas convencionais de Jet Grouting de acordo com o tipo de solo (modificado – Warner, 2004)

Tabela 1 – Diâmetro atingível das colunas no Jet Grouting convencional de acordo com o SPT

Tipo de Solo	SPT(Nº)	Diâmetro(cm)
Areia com pedregulhos	-	100 ± 10
Areia	< 15	170 ± 10
	15 a 20	130 ± 10
	20 a 40	110 ± 10
Argila	< 2	160 ± 10
	2 a 10	130 ± 10
	10 a 20	120 ± 10

Tabela 2 – Propriedades típicas das colunas em jet-grouting convencional de acordo com o tipo de solo

Aglutinante	Tipo de Solo		Resistência à compressão (MPa)	Coesão (MPa)	Consumo de cimento (kg/m3)
Cimento Portland	Solos inorgânicos	Areia	2,5 – 6,0	0,19	250 - 450
		Silte	2,0 – 4,5	0,25	300 – 500
		Argila	1,5 – 3,5	0,3	350 – 600
	Solos Orgânicos	Turfa e Argila Orgânica	0,5-2,5	-	> 600

Tabela 3– Propriedades típicas das colunas em diferentes tipos de sistemas jet-grouting

Tipo de Sistema	Tipo de Solo	Resistência à compressão (MPa)	Diâmetro das colunas (m)
CCP (monofluido)	Areias e pedregulhos	7 – 20	0,6 – 0,9
	Argilas	1,7 – 7	0,6 – 0,9
Jet Grouting (bifluido)	Areias e pedregulhos	3,5 - 14	0,9 – 1,8
	Argilas	1 – 7	0,9 – 1,5
Sistema trifluido	Areias e pedregulhos	3,5 – 10	1,5 – 2,5
	Argilas	1 - 5	0,9 – 1,8

Fonte: Han (2015)