

Tampão de Fundo de Jet Grouting como Estrutura de Estabilização e Pré - Contenção de Fundo em Escavações Profundas – Alguns Casos em Belo Horizonte - MG

Akira Koshima

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

Enderson A.C. Rocha

Hidrosolo Consultoria e Engenharia de Projetos, Belo Horizonte, Brasil, hidrosolo@terra.com.br

José Enrique Garces

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

Miriano Rolando Pieroni

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

Paulo Fernandes Fonseca Viana

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

Milton Bernardes Karez

Hidrosolo Consultoria e Engenharia de Projetos, Belo Horizonte, Brasil, hidrosolo@terra.com.br

RESUMO: O trabalho aborda o uso de Jet Grouting como estrutura de estabilização e pré-contenção de fundo em escavações profundas, como de grandes edifícios, com 4 a 5 subsolos, em Belo Horizonte, MG, em solo residual de gnaiss, sem rebaixamento do lençol freático. São escavações em solos silto - arenosos submersos, onde em 02 casos o tampão foi adotado como “radier” para apoio das fundações diretas em sapatas. Os resultados técnicos das obras têm sido muito favoráveis.

PALAVRAS-CHAVE: Tampão de Fundo de Jet Grouting, Radier de Jet Grouting, Escavação Profunda, Solo Residual Submerso Silto Arenoso, Sem Rebaixamento do Lençol Freático, Belo Horizonte – Minas Gerais.

1 INTRODUÇÃO

Em obras de engenharia que têm como desafio enfrentar escavações profundas em terrenos instáveis e submersos em áreas urbanas, tem sido cada vez mais comum o uso de solução com Jet Grouting (JG), para a estabilização e pré-contenção (instalação prévia à escavação) do fundo da escavação, atuando como um tampão (laje).

Este tampão além do controle do nível d'água (NA), atua como estroncamento das contenções e, em algumas situações, como radier com

fundações em sapatas diretamente apoiadas sobre o mesmo.

Obra pioneira de grande dimensão (2.500m² e 12 m profundidade) foi a da Bolsa de Valores do RJ descrita por Velloso e Fialho (1990). Entretanto, na experiência brasileira em obras de dimensões menores como obras de saneamento, obras viárias e outros (fossa de estação elevatória, poço de carepa, pit industrial, tampão de fundo em obras viárias, etc em regiões de solos moles, argilosos ou arenosos submersos), têm sido aplicados desde o início da introdução da tecnologia em 1980

(Mosici e Guatteri, 1985; Guatteri et al, 2006, Maffei et al, 1998, Schpun et al, 2014). Recentemente as grandes obras subterrâneas de Metrô (Linha 4) e túneis rodoviários do Rio de Janeiro utilizaram o Jet Grouting como tampão de fundo nas grandes escavações urbanas em solos arenosos submersos sem rebaixamento como nas estações do Metrô e nas rampas de entradas e saídas dos novos túneis viários do Porto Maravilha (obras de remodelação e recuperação da área portuária do RJ).

Particularmente em BH, a aplicação de Jet Grouting como tampão, ocorreu na obra A (Hospital Mater Dei), na região da Assembléia, em 1996.

Historicamente, até então, na experiência local, as obras de escavação profunda urbana em solo silte arenoso submersos eram feitas com contenção lateral em paredes diafragma, associadas a tirantes, drenos horizontais profundos e sistemas intensos de rebaixamento por poços profundos e/ou por bombeamentos internos. Segundo relato de pessoas envolvidas neste tipo de obra a construção de subsolos sempre foi feita com muita dificuldade e a custa de muito carreamento do solo, rebaixamento do NA, provocando movimentações nas edificações lindeiras e nas redes de utilidades enterradas e com grandes infiltrações permanentes no subsolo. Caso marcante foi o edifício sede da CEMIG na região da Assembléia, onde problemas foram observados durante as escavações dos subsolos.

Também, mais recentemente, adotando o mesmo tipo de solução de outrora em outro edifício com subsolos, na região do Bairro Santa Efigênia, observaram-se igualmente muitas dificuldades executivas na finalização da escavação profunda sem o tampão de Jet Grouting.

2 JET GROUTING

É uma tecnologia introduzida no Brasil em 1980, por Guatteri & Colla, através da Novatecna Ltda (Koshima, 1998).

O Jet Grouting tem como fundamento básico a desagregação do terreno através do alto impacto do jato de calda de cimento com uma

velocidade de 800 a 1.000 km/h. Esse jato é formado no bico jateador, (diâmetro variável de 2 a 6 mm) fixo no hidromotor, que fica na extremidade inferior de uma haste de 7,5 a 10 cm. A calda é bombeada com pressão entre 200 a 500 bars.

Com combinações de parâmetros executivos adequados ao terreno a ser tratado, são obtidas as colunas de Jet Grouting, com o diâmetro indicado no projeto (variação de 0,3 a 2,0m ou mais). No caso das obras executadas em Belo Horizonte, a técnica de execução foi o Jumbo Grout, com uso de haste dupla e jateamento do solo com uso simultâneo de calda de cimento envolto em ar comprimido (para aumentar o alcance e a desagregação do jato).

Nessas obras o diâmetro típico nominal de projeto era de 1,40 m, com variação de $\pm 0,20$ m em função de alguma particularidade de projeto.

O consumo médio de cimento foi da ordem de 500 kg/m³ de solo tratado (volume da coluna).

Nos detalhes executivos são importantes os seguintes fatores:

- sequência de execução: execução das colunas distantes uma das outras (primária). Fechamento gradual da malha até atingir a condição de colunas de fechamento em alternância. A distribuição preferida é de malha triangular (equilátero ou isóceles, ver figura 1);

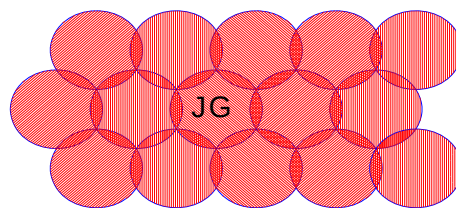


Figura 1. Distribuição das Colunas

- sequência especial: colunas justapostas à parede diafragma ou às estacas de fundação profunda, executadas antes das colunas, devem ter 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;
- em certos casos é utilizada a solução sequencial “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 projetados os blocos de concreto das estacas profundas ou dos poços de elevador devem ser consolidadas já considerando essas geometrias finais rebaixadas deste bloco em relação ao piso da laje. Assim, evita-se uma demolição inútil, à posteriori, em maciço já consolidado, resistente e de difícil remoção;
- controle de diâmetro da coluna: formação de alguns blocos de JG e perfuração nas áreas de intersecção entre 3 colunas (ver ilustração na figura 2), antes do início da execução sistemática das colunas do tampão;

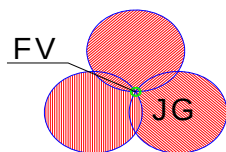


Figura 2. Furo de Verificação

- controle de locação e acompanhamento da coluna: é de fundamental importância evitar falhas na locação de cada furo. Deve-se organizar um sistema de registro e controle seguro das colunas já executadas. Não se permite a ocorrência de falha neste item. Por isso devem-se ter diversos critérios de registro e controle como: verificação de coordenadas topográficas, cravação de piquetes, numeração de cada coluna do tampão, retirada, guarda do piquete pela equipe de obra e verificação do piquete com o mapa de acompanhamento das colunas, além de outros de cada empresa. Preferencialmente, um sistema de GPS de precisão no campo pode ser adotado para confrontação com a coordenada de locação topográfica. A equipe de obra também deve ser conscientizada e participar ativamente no sistema de controle;
- em caso de alguma dúvida, a coluna deve ser repetida, à posteriori;
- controle da verticalidade da haste e das condições do piso de apoio da máquina perfuradora também fazem parte do controle de qualidade da obra, bem como uma limpeza contínua da área para boa mobilidade do equipamento.

3. Aspectos Geológicos e Geotécnicos

Segundo o “Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte” de julho de 2010, da UFMG, Parizzi, M. G. et al, as obras abordadas estão na unidade geológica conhecida como Complexo Belo Horizonte, predominante em cerca de 70% de sua área urbana. Também ocorre outra Unidade denominada Balcão, de rochas metamórficas (filitos, entre outros). As rochas predominantes são ígneas de granitos e gnaisse. Do intemperismo dessas rochas resulta o solo residual silte arenoso ou argila areno siltosa de baixa coesão e altamente susceptível a erosão e processos correlatos.

De fato, nos casos de obras citadas o horizonte predominante foi um solo silte arenoso de cor variada (de tons brancos, rosáceos, amarelos, marrons e cinza), onde no seu topo ocorre um colúvio ou aterro (argila siltosa, marrom avermelhada). O SPT do maciço superior é inferior a 5 e no solo residual o SPT torna-se crescente com a profundidade até atingir o impenetrável a percussão no topo da rocha de base. O nível de água (NA) está sempre acima do fundo da escavação, variando entre aproximadamente 6 a 15 m, nas obras citadas. A base do tampão de JG foi executada nessas obras, previamente ao início das escavações. Na Tabela 1 a seguir é indicado um resumo típico de cada obra.

4 - Características das Obras

4.1- Obra A - Hospital Mater Dei (1996)

Em BH, 1996, (Rocha, E.A.C. et al, 1999) foi executada a primeira obra utilizando o Jet Grouting como tampão de fundo, visando a construir 4 subsolos em área cercada por duas ruas, um edifício hospitalar em funcionamento e outro residencial. A área do subsolo era de 2.700m², localizada na região da Assembléia. A profundidade máxima de escavação era de 13,0m e o desnível entre o NA da sondagem e a base do tampão era de 9,0m.

Para a escavação dos subsolos a contenção lateral foi definida em paredes diafragma de 0,40 m e 0,50 m de espessura e o tampão de fundo em JG com 3,0 m de espessura. Na fase

de escavação do subsolo foi adotada uma bermagem estratégica, no nível da laje do 3º subsolo para evitar o uso de tirantes. A laje desse piso foi construída parcialmente e ancorada à parede lateral, de forma a proceder ao travamento da mesma.

O diâmetro nominal da coluna de JG no projeto

foi de 1,60 m, em solo com SPT entre 7 a 12, distribuição em malha triangular adequada para este diâmetro da coluna, totalizando 1.800 colunas.

A infiltração total medida, considerada satisfatória, foi da ordem de 400 l/h, depois de concluída a escavação total da área de 2.700 m².

Tabela 1 – Resumo das Características das Obras

Obra	Profundidade	N.A. acima	Área(m²)	Colunas JG		Tipo de Solo	SPT
	da base (m)	da base (m)	Espessura(m)	Diâmetro (m)	Quantidade		
A	16,00	9,00	2.700m²	1,60	1.800	Silte Arenoso	7 a 12
			3,0m			Solo Aluvionar	
B	15,80	6,00	950m²	1,00 / 1,40	730	Silte Arenoso	5 a 34
			3,50m				
C	13,00	13,00	3.440m²	1,20 / 1,40	2.850	Silte Arenoso	12 a 30
			4,0m				
D	25,00	17,00	4.550m²	1,20 / 1,40	3.550	Silte Arenoso	8 a 40
			5,0m		300(*)		
E	23,00	13,00	2.875m²	1,4	2.350	Silte Arenoso	12 a 20
			5,0m			Silte Argiloso	

(*) Colunas executadas especificamente para o reforço das estacas curtas de Fundação.

(A) Hospital Mater Dei

(B) Hopistal Unimed

(C) SESC

(D) Edifício Forluz

(E) Ampliação do Hospital Unimed

4.2 – Obra B –SESC (2004)

A segunda obra está localizada na região Central de BH, na Avenida Augusta de Lima.

A obra tinha como condicionante principal uma área de 950 m², totalmente confinada por construções lindeiras.

O tampão de fundo de JG de 3,5m de espessura foi considerado um radier consolidado para fundação direta, entretanto tinha uma malha (cerca de 4x4m) de colunas armadas com barras de ancoragens mais profundas. Eram cerca de 9m mais longas que as colunas do tampão para combater a subpressão na fase construtiva. O diâmetro da coluna para o tampão foi de 1,4m, sendo executadas 730 colunas. Também foram executadas colunas de 1,0m de diâmetro para complementação das paredes diafragma. O serviço foi executado no ano de 2004.

As lamelas das paredes diafragma que não

foram possíveis de execução por falta de espaço para operação da diafragmadora foram substituídas / complementadas com colunas de JG. Neste caso o projeto de contenção lateral previa a execução de tirantes de 10 m, com carga de trabalho de 35 tf. Seguindo o procedimento de projeto, iniciou-se a execução do tirante pelo método tradicional, isto é, perfuração, instalação da armadura de barra, bainha, injeção e protensão. Tendo em vista que ocorria a necessidade de reinjeção com certa frequência, além da dificuldade de instalação da armadura, foi sugerida a alteração do método executivo, usando o conceito do JG, à semelhança do bulbo contínuo nas enfilagens em túneis (Guatterri et al,1994). Isto é, fazer a perfuração, injeção de Jet para criação de um pequeno bulbo (diâmetro entre 25 a 35 cm) na região da ancoragem e instalação da barra logo em seguida, ainda, com a mistura pastosa. Com

essa nova metodologia executiva houve um ganho de produção e um grande sucesso na ancoragem dos tirantes.

4.3 – Obra C – Hospital Unimed (2006)

A terceira obra está localizada na região de Santa Efigênia, próxima ao Quartel da Polícia Militar. A obra tinha como condicionante principal a contenção da Avenida Contorno, além de um edifício hospitalar (Hospital Arapiara) adjacente e as ruas do em torno do quarteirão, para viabilizar a execução dos 5 subsolos previstos. O tampão de JG foi executado em 2006.

A particularidade dessa obra foi a presença, em determinado segmento do 5º subsolo, de uma camada de solo residual silto - arenoso compacto e de saprolito, com SPT >60. O contato do impenetrável a percussão estava muito próximo do fundo do tampão de JG. Deste modo, o projeto de fundação do edifício de 8 andares utilizou o tampão de JG como um grande radier consolidado. As sapatas de fundação ficaram diretamente apoiadas sobre o JG. A tensão admissível para sapatas sobre o topo do JG foi de 10 kgf/cm² (1MPa).

A área do tampão se apresentou igual a 3.440 m² e foi projetada com uma espessura de 4,0m, com colunas de 1,20m (região com SPT >30) e 1,40m de diâmetro, com malha triangular típica para estes diâmetros das colunas. Foram executadas 2.850 colunas.

As principais observações na obra em fase de escavação foram:

- grande infiltrações nas juntas das lamelas das paredes diafragma, mormente na região de quina junto à Av. do Contorno. Ocorrência de infiltrações concentradas e carreamentos que foram pouco a pouco controladas com utilização de argamassa, injeções de cimento e/ou resinas e execução de estacas tipo raiz justapostas;

- dificuldade na escavação de “nichos” para a concretagem das sapatas isoladas antes de atingir o topo da laje de JG devido a instabilidade do solo silte arenoso saturado “in situ”. Essa sobrecarga de solo era desejável pelo projeto para incrementar o fator de segurança no equilíbrio do tampão nesta fase

construtiva;

- houve um trecho singular do tampão, onde o topo rochoso se apresentou aflorante, deixando-o menos espesso. Também nesta região ocorreu uma pequena infiltração de água no contato solo-rocha. Este fenômeno poderia ter sido minimizado com o embutimento da ponta da coluna na rocha, de cerca de 1,0m. Este fato exigiria a troca de ferramenta de corte na ponta da haste, mudando de tricone para um martelo de fundo de furo, que não foi adotada nesse caso;

- a infiltração total medida na área de 3.440 m² foi da ordem de 1,2m³/h, incluindo os vazamentos pelas juntas entre painéis de paredes diafragma;

- o comportamento do edifício com base no controle efetuado mostrou ser a solução de projeto muito adequado, com recalques máximos inferiores a 2 cm.

4.4 – Obra D – Edifício Forluz (2011)

A quarta obra está localizada na mesma região da primeira obra (Obra A), na região da Assembleia, mais propriamente no quarteirão adjacente.

Entre as obras de tampão de fundo é a maior executada até então em BH. O tampão apresenta uma espessura de 5,0m e uma área aproximada de 4.550 m², com formato triangular, delimitado por todo um quarteirão. Também é uma obra adjacente a aquela obra (CEMIG) que apresentou uma série de dificuldades executivas que inspirou a adoção do Jet Grouting na consolidação prévia do fundo da escavação para implantação tanto do Hospital Mater Dei como do Edifício Forluz.

Foram construídos 5 subsolos, com contenção lateral da escavação em parede diafragma. A profundidade máxima da escavação atingiu 20 m e o desnível máximo entre o lençol freático e o fundo do tampão se apresentou igual a 18,0m.

As paredes diafragmas laterais, as estacas barretes com espessuras de 70 cm, bem como as estacas escavadas (diâmetro de 0,80 m a 1,20 m) constituíram-se na fundação deste edifício de 25 andares, além dos 5 subsolos (cargas concentradas em pilares dos blocos de fundação até 4.300t).

O uso dos tirantes ficou restrito em projeto somente na região acima do lençol freático, visando a evitar o rebaixamento do NA através dos mesmos.

O projeto previa a escavação em área confinada a partir da 3ª laje do subsolo, quando seria necessária a adoção de berma em solo. Essa berma seria removida concomitantemente com a execução das lajes (parciais) de concreto

engastadas nas paredes diafragmas nos subsolos inferiores. Deste modo, a remoção do material escavado a partir deste estágio era feita através de um transporte vertical por meio de caçamba e grua (sistema construtivo Top-Down).

Como fato recorrente na obra observou-se diversos pontos de vazamentos de água nas juntas entre as lamelas das paredes diafragma.

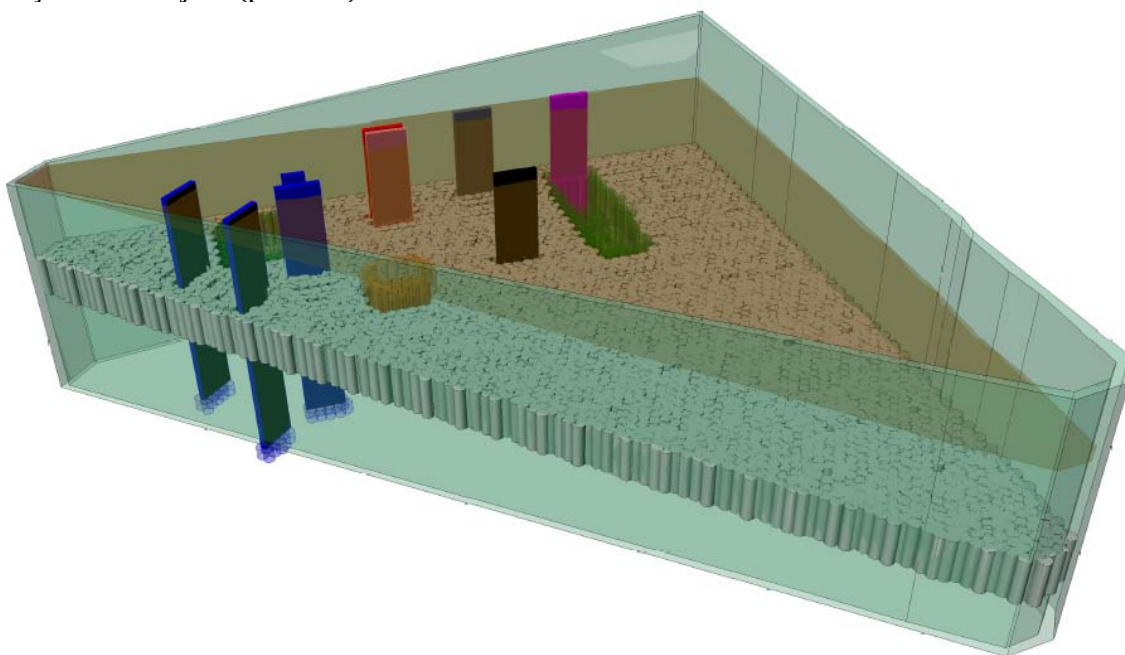


Figura 3. Esquema em 3D do tampão de Jet Grouting na Forluz



Figura 4. Vista aérea da fase de execução do Jet Grouting na Forluz

4.5 – Obra E – Ampliação do Hospital Unimed (2014)

A quinta obra está localizada em área adjacente à da Obra C, igualmente tendo como condicionantes principais a Av. Contorno e um subsolo de um Shopping, situado no lado oposto à avenida citada.

A área do tampão de JG se apresentou igual a 2.875m² e o mesmo foi projetado com 5,0m de espessura. Do mesmo modo que a obra C, o tampão de fundo de JG foi contido lateralmente por paredes diafragma. Em função da experiência anterior (obra C), adotou-se adicionalmente a conformação de colunas de Jet Grouting de diâmetro 0,6 m, executadas à montante das paredes diafragma, nas juntas entre os painéis. Esta solução anulou o problema recorrente, observado nas outras obras, associados às infiltrações de águas através das juntas entre painéis constituintes das paredes diafragma.

Analogamente ao prédio C a laje tampão de JG atuou como estrocamento das paredes, constituindo assim elementos de estabilização das mesmas. Nesta obra foi adotada também a solução de fundação direta com sapatas apoiadas diretamente sobre o “radier” consolidado de JG.

A tensão admissível foi de 10 kgf/cm² (1MPa).

As quantidades de serviço envolvidas foram:

2.350 colunas de diâmetro 1,4 m, com malha triangular compatível para este diâmetro.

Essa obra está em fase de escavação, após um período paralisado.

REFERÊNCIAS

- Guatterì, G., Koshima, A., Pieroni, M.R., Lopes, J.R., Moreira, L.A.S., Garces, J.E., (2006). Síntese das Obras de Escavações e Contensões Escoradas com Jet Grouting, *XIII COBRAMSEG*, Curitiba, Brasil.
- Guatterì, G., Mosiici, P., Koshima, A., Postiglione, P., M. (1994). Enfilagem de Bulbo Continuo no Tratamento de Túneis do Mini-Anel, *X COBRAMSEG*, Foz do

5 – Considerações Finais

A execução de uma escavação profunda em área urbana requer uma análise minuciosa do método executivo e do projeto de contenção, avaliando as consequências que podem ocorrer nas construções lindeiras existentes, bem como em serviços públicos instalados nas calçadas ou enterrados nas vias públicas que a circundam.

A região urbana de Belo Horizonte é sabidamente muito especial para as obras de escavação profunda, mormente na Unidade Geológica predominante (cerca de 70% da área da cidade) Complexo Belo Horizonte, constituídas por rochas graníticas e gnaissicas, cujo solo de intemperismo é o solo residual e solo saprolítico composto de silte arenoso e/ou argila silto arenoso submerso. Esse tipo de maciço na escavação profunda abaixo do nível de água, em obra urbana, exige uma obra prévia de contenção lateral com adequada vedação das juntas das lamelas, uma boa ficha de embutimento e sempre que viável técnico-economicamente, a construção prévia de um tampão (laje) de Jet Grouting adequadamente projetada.

As experiências de obras executadas em Belo Horizonte nessas condições têm mostrado o quão importante é essa avaliação criteriosa considerando as edificações lindeiras e os serviços públicos existentes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às pessoas envolvidas na coleta dessas informações que permitiram uma descrição geral de obras de grandes escavações profundas em subsolos da cidade de Belo Horizonte.

Iguaçu, Brasil

- Koshima, A. (1998) Jet Grouting – extrato de parte do capítulo 18 referente ao tema, livro – *Fundações – Teoria e Prática*, 2ª edição da PINI, editores Hachich W., Falconi F.F., Saez J.L., Frota R.G.Q., Carvalho C.S., Niyama S.
- Maffei, C.E.M.; Gonçalves, H.H.S; Guazzelli, M. C., (1998)- Uma utilização Pioneira de Jet Grouting como Escoramento, *XI COBRAMSEG*, Brasília, Brasil.

- Mosiici, P., Guatterri, G. (1985). O Uso de Jet Grouting em Obras Subterraneas, *SEFE 1985*, São Paulo, Brasil.
- Parizzi, M.G., Moura, A.C.M., Memória, E., Magalhães, D.M., (2010). Relatório – Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana (RMBH), UFMG, Geoprocessamento – PDDI, Belo Horizonte, Brasil.
- Rocha, E.A.C., Koshima, A., Karez M.B., Senra, M., (1999). The Interaction Diaphragm Wall/Jet Grouted Bottom Slab for Stabilisation of a Large and Deep Excavation Below Water Table, *XI PCSMGE*, Foz de Iguassu, Brazil.
- Schpun, B., Koshima, A., Moraes Filho, A.D., Lopes, J.R., Nakahara, S.V.R., Knapp, L., Costa, R. (2014). Tampão de Fundo e Ancoragem de Barras em Colunas de Jet Grouting em Camada Arenosa com pedregulhos em PIT Industrial, *XVII COBRAMSEG*, Goiania, Brasil.
- Velloso, D.A. e Fialho, M.S.M (1990). Uma Aplicação do “Jet Grouting” na Execução de uma Escavação Urbana Profunda, *6º CBGE/IX COBRAMSEF*, Salvador, Brasil.