

A IMPORTÂNCIA DAS SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO NO COMPORTAMENTO DAS PAREDES DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA

The importance of bracing systems in the behaviour of peripheral earth-retaining walls

Alexandre Pinto^{a,b}

^a JETsj Geotecnia Lda., Portugal

^b Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Ambiente, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal

RESUMO – No presente artigo é destacada a importância do desempenho das soluções de travamento no comportamento das paredes de contenção periférica, em particular quando localizadas em meio urbano. Este assunto tem vindo a ganhar relevância nos últimos anos devido à cada vez maior ocupação do subsolo por estruturas e infraestruturas enterradas, cenário que tem aconselhando o recurso a soluções menos correntes, como bandas de laje, em detrimento das mais tradicionais, como escoramentos e ancoragens.

ABSTRACT – This article highlights the importance of bracing systems in the behaviour of peripheral earth-retaining walls in urban environments. This subject has risen in recent years due to the increase of the underground space occupation with structures and infrastructures. Therefore, this scenario has been advising the increasing use of less common solutions, such as slab bands, compared with the more traditional ones, like props and ground anchors.

Palavras Chave – travamento, ancoragens, bandas de laje.

Keywords – bracing, ground anchors, slab bands.

1 – INTRODUÇÃO

As cidades planeadas e densamente urbanizadas manifestam atualmente tendência para o crescimento e otimização dos respetivos espaços subterrâneos, situação que, em geral, contribui para melhorar significativamente a qualidade de vida das mesmas, como é, por exemplo, o caso da transferência de infraestruturas da superfície para o subsolo, permitindo libertar a ocupação da referida superfície para utilizações mais nobres, como zonas verdes e de lazer. Neste cenário as soluções de contenção periférica desempenham, cada vez mais, um papel determinante.

Em paralelo com o enquadramento acima descrito, sublinha-se que o bom comportamento das referidas soluções de contenção periférica encontra-se intimamente associado, não só à respetiva conceção geral e boa execução, mas, igualmente, ao desempenho dos respetivos travamentos, sejam eles escoramentos, ancoragens, bandas de laje ou contrafortes. No presente artigo é apresentada uma descrição das soluções mais utilizadas, apoiada em exemplos de obras, terminando com uma

E-mails: apinto@jetsj.com (A. Pinto)

ORCID: orcid.org/0000-0003-0844-889X (A. Pinto)

reflexão sobre a importância do desempenho destes mesmos travamentos, tendo por base a realidade atual do mercado nacional.

2 – SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO

As soluções de travamento das paredes de contenção periférica em meio urbano são dimensionadas, sobretudo, para permitir um controlo eficaz dos deslocamentos, objetivo associado, à luz da regulamentação europeia em vigor, sistema de eurocódigos, ao conceito de estados limite de utilização.

Complementarmente e de acordo com a mesma regulamentação, do ponto de vista de estados limite últimos, pode ser definido, simplificada, o conceito de intervalo de segurança, conforme indicado na Figura 1, aferido através da aplicação dos teoremas clássicos de análise limite: teorema da região superior, TRS (permite estimar um valor majorante da carga de colapso) e teorema da região inferior, TRI (permite estimar um valor minorante da carga de colapso). Pelo cruzamento dos valores estimados é possível definir um possível intervalo de segurança, entre a rotura em estado ativo, associado à carga mínima que se reduzida determina o colapso (F^{min}), e a rotura em estado passivo, associado à carga máxima que se ultrapassada mobiliza o colapso ($F^{máx}$). Por razões económicas e de facilidade de construção a maioria dos travamentos das paredes de contenção periférica é dimensionado para a zona junto ao estado ativo, ou seja, os deslocamentos horizontais associados dão-se no sentido da escavação, mas com valor compatível com as exigências da obra e das condições de vizinhança da mesma. Uma eventual rotura em estado passivo, poderia ocorrer, por exemplo, devido à aplicação no sistema de escoramentos de um valor de pré-esforço excessivamente elevado, o que, na maioria das situações, não é tecnicamente necessário, nem economicamente viável.

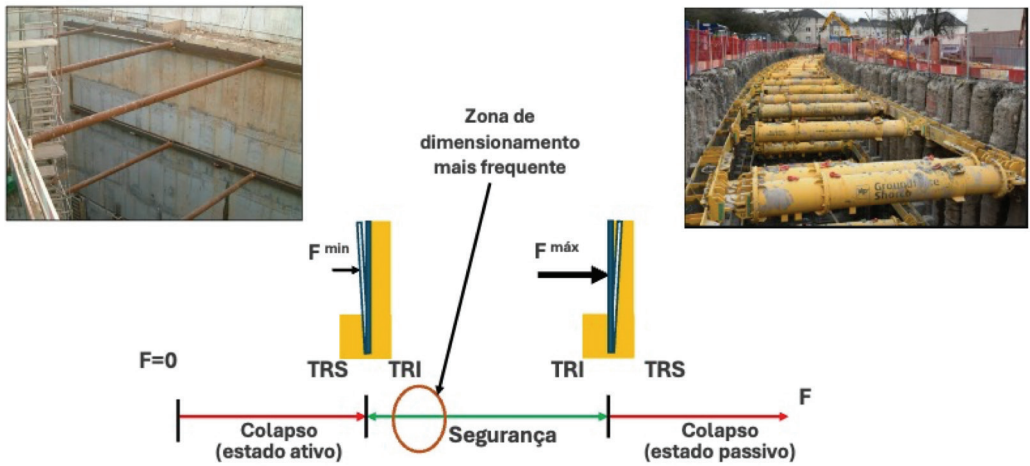


Fig. 1 – Conceito de intervalo de segurança em estruturas de contenção.

2.1 – Escoramentos

Em Portugal as soluções de travamento de paredes de contenção periférica com recurso a escoramentos foram introduzidas em meados do século passado, recorrendo, inicialmente a elementos em madeira, conforme relatado por Rollo (1999) e Farinha (s.d), situação ilustrada na Figura 2, no âmbito da construção dos primeiros troços das linhas do Metropolitano de Lisboa, executadas, na sua generalidade, através de escavações a céu aberto, por sua vez e em geral,

coincidentes com os principais arruamentos da cidade, com a Avenida da Liberdade e a Avenida Almirante Reis. Estes arruamentos, por razões geológicas e geotécnicas que muito condicionaram o planeamento e crescimento urbano da cidade, foram construídos sobre linhas de água, atualmente menos produtivas devido à impermeabilização excessiva da superfície da cidade, situação que tem vindo a determinar a necessidade de resolução de diversos desafios de natureza hidrogeológica.

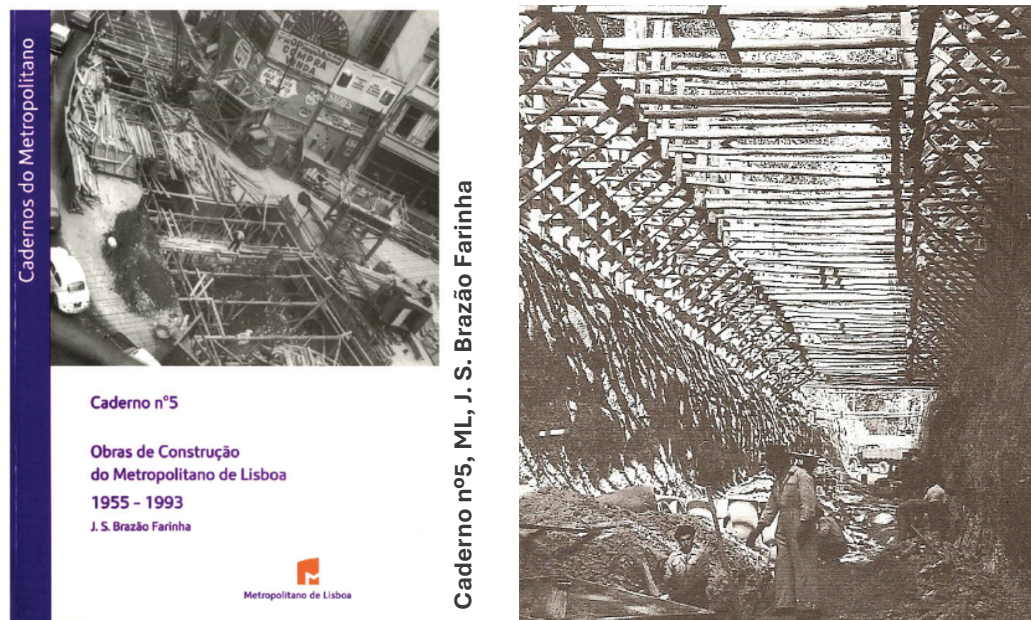


Fig. 2 – Escoramentos com recurso a elementos de madeira, lado esquerdo Farinha (s.d.) e lado direito Rollo (1999).

No último quarto do século passado assistiu-se a uma grande evolução tecnológica com a introdução em Portugal de novas soluções de contenção periférica, como paredes moldadas e cortinas de estacas, permitindo a execução de escavações mais profundas e, sobretudo, em dispositivos geológicos e geotécnicos mais exigentes e com maiores condições de segurança. Para o sucesso destas escavações foi igualmente determinante as evoluções tecnológicas que determinaram o bom desempenho dos travamentos com recurso a ancoragens e, na presença de condições geológicas e geotécnicas desfavoráveis, a escoramentos em estrutura metálica.

Em situações particulares, como distâncias entre paredes de contenção periférica, paralelas entre si, superiores a cerca de 20 m, os escoramentos em estrutura metálica podem e devem ser pré-esforçados, de forma a assegurar um mais eficaz controlo dos deslocamentos horizontais, conforme relatado por Fernandes (2010) e Estorninho (2020), situação ilustrada na Figura 3.

Em certos países, onde, em geral, as condições geológicas e geotécnicas nas zonas mais densamente urbanizadas são desfavoráveis, a opção por soluções de travamento com recurso a escoramentos metálicos constitui uma prática corrente, sendo a conceção da escavação e da contenção periférica desenvolvida em função deste objetivo. Na Figura 4 é ilustrado o exemplo de uma escavação em Macau, em que a parede de contenção periférica foi travada exclusivamente com recurso escoramentos metálicos provisórios, tendo sido criados corredores no interior da obra para a circulação dos equipamentos de escavação e de transporte dos terrenos escavados.



Fig. 3 – Escoramentos com recurso a elementos metálicos pré-esforçados (Estorninho, 2020).



Fig. 4 – Escoramentos com recurso a elementos metálicos em obra de escavação em Macau.

Considera-se ainda pertinente efetuar uma referência à solução de escoramentos com recurso a colunas de jet grouting. Esta solução apresenta a grande vantagem de, ao contrário de todas as restantes, poder ser instalada previamente ao início dos trabalhos de escavação, o que, juntamente com a sua rigidez, permite incrementar substancialmente a respetiva eficácia em termos do controlo dos deslocamentos horizontais. Esta solução é ilustrada na Figura 5, relativa ao tampão de fundo em colunas de jet grouting executado no âmbito dos trabalhos de escavação e contenção periférica para a construção dos pisos enterrados do Myriad by Sana Hotel, em pleno Rio Tejo, em Lisboa, interetando os materiais da bacia aluvionar do mesmo Rio Tejo (Pinto et al., 2008, 2009 e 2013).



Fig. 5 – Eficácia do escoramento constituído por um tampão de fundo em colunas de jet grouting no controlo de deslocamentos horizontais determinado (Pinto et al., 2008, 2009 e 2013).

2.2 – Ancoragens

Em Portugal as soluções de travamento de paredes de contenção periférica com recurso a ancoragens foram introduzidas na segunda metade do século passado, com recurso, inicialmente a elementos de varão e, posteriormente pela sua maior versatilidade e facilidade de transporte e armazenamento, a cordões. Devido às condições geológicas e geotécnicas muito favoráveis, existentes em grande parte do subsolo das principais cidades nacionais, associada à possibilidade de tornar o interior do recinto de escavação mais desimpedido de obstáculos, rapidamente se tornou uma solução muito utilizada.

Do ponto de vista histórico, considera-se oportuno descrever a situação ocorrida na Av. 5 de Outubro, em Lisboa, onde Edgar Cardoso projetou uma solução de travamento com recurso a um sistema de pré-esforço estrutural exterior, segundo o qual as forças de desvio permitiram empurrar a parede de contenção periférica contra o terreno, funcionando indiretamente com ancoragens apenas com componente horizontal, conforme relatado por Soares (2003) e Fernandes (2010) e ilustrado na Figura 6. Esta solução terá sido concebida como resposta à não permissão para a execução de um segundo nível de ancoragens sob um dos edifícios vizinhos, situação que, à presente data, se tem vindo a tornar cada vez mais frequente e, em consequência, contribuído para condicionar a utilização de soluções de travamento com recurso a ancoragens em meio urbano. Nos níveis inferiores foi adotada uma solução de escoramentos a reagir contra a estrutura do edifício, no entanto, já parcialmente executada.

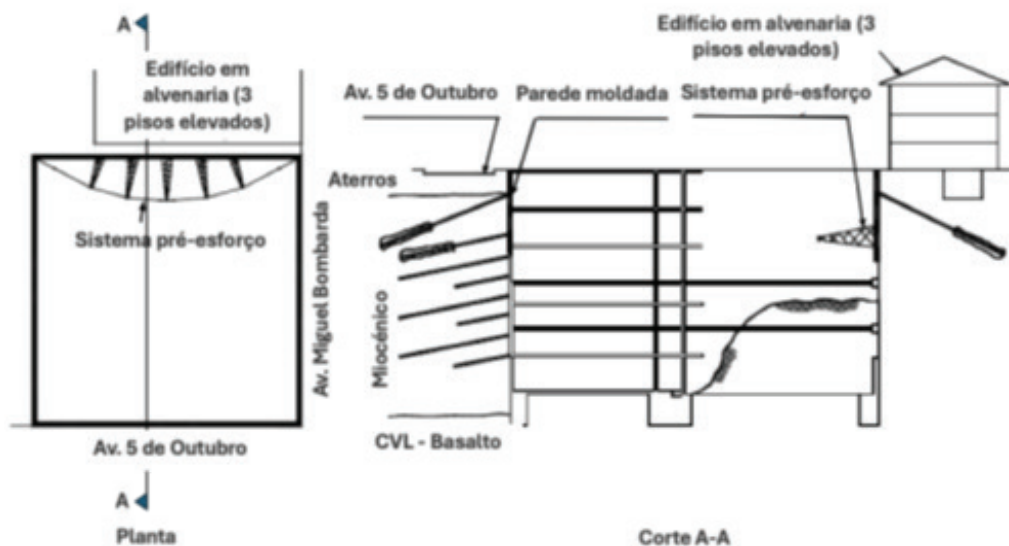


Fig. 6 – Solução com recurso a sistema de pré-esforço exterior (adaptado de Soares, 2003; Fernandes, 2010).

Como já referido, em Portugal as soluções de travamento de paredes de contenção periférica com recurso a ancoragens têm tido larga utilização. Neste enquadramento, podem ser destacados os trabalhos de escavação e contenção periférica para a execução do futuro edifício da Biblioteca Central e Arquivo Municipal de Lisboa (BCAML), no Vale de Santo António, correspondendo a uma escavação que, no seu ponto a cota mais alta, apresenta mais de 40m de profundidade, recorrendo a uma solução em cortina de estacas, travada, por razões estruturais e arquitetónicas, através de ancoragens definitivas, conforme ilustrado na Figura 7 e descrito por Pinto et al. (2006).

Esta obra teve início em 2005, mas o edifício da BCAML, por razões extra técnicas, até à presente data, ainda não foi construído, situação que tem permitido comprovar o bom comportamento da contenção e das ancoragens definitivas com idade já superior a 20 anos.

De forma a evitar a utilização de ancoragens definitivas, no âmbito deste mesmo Projeto, foi estudada uma solução de travamento com recurso ao tratamento dos materiais de aterro (existentes na parte superior da escavação com uma espessura máxima de cerca de 20m, sobrejacentes ao maciço Miocénico) por colunas de jet grouting, com disposição em contrafortes, e por microestacas, conforme ilustrado na Figura 8 e descrito por Pinto et al. (2006). As microestacas funcionariam como pregagens de elevada rigidez axial, permitindo que a mobilização das cargas atuantes fosse associada a reduzidos deslocamentos e, sobretudo, pudesse ocorrer logo em fase de obra. Contudo, por opção do Dono de Obra, esta solução não foi selecionada.

No dimensionamento e na execução das ancoragens devem ser destacadas duas situações fundamentais para assegurar o bom desempenho das mesmas: i) capacidade resistente da armadura, varão ou cordões, associada à respetiva proteção contra a corrosão, sobretudo em ancoragens definitivas, com prazo de validade superior a 24 meses; ii) capacidade de carga do terreno para acomodar a carga transmitida pelas ancoragens através do bolbo de selagem, recorrendo a um sistema de reinjeção adequado. Atualmente no mercado português observa-se uma tendência para a utilização do sistema de reinjeção IR (injeção repetida), em detrimento do sistema IRS (injeção repetida e seletiva), cujas principais diferenças são apresentadas na Figura 9, através de ilustrações extraídas do Ministério de Fomento de Espanha (2005). Destaca-se que no sistema IR não existe possibilidade de selecionar e de controlar o consumo e a pressão de injeção da calda de cimento individualmente em cada válvula, situação que em solos heterogéneos pode comprometer seriamente o controlo de execução e o bom desempenho dos bolbos de selagem.

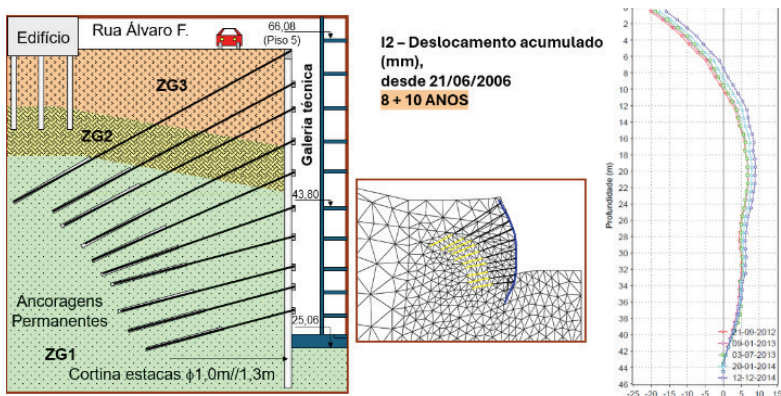


Fig. 7 – Solução de contenção periférica adotada para a construção do futuro edifício da BCAML (Pinto et al., 2006).

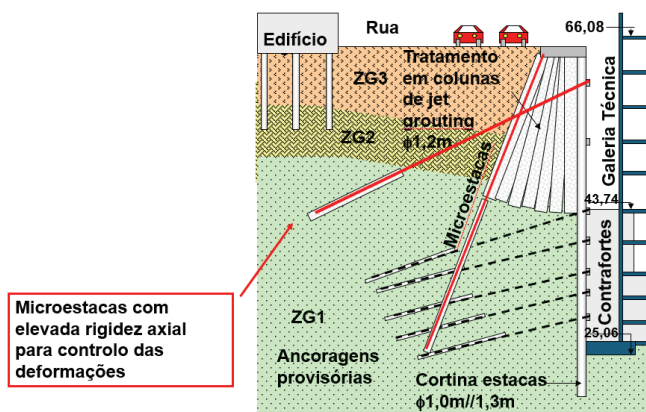
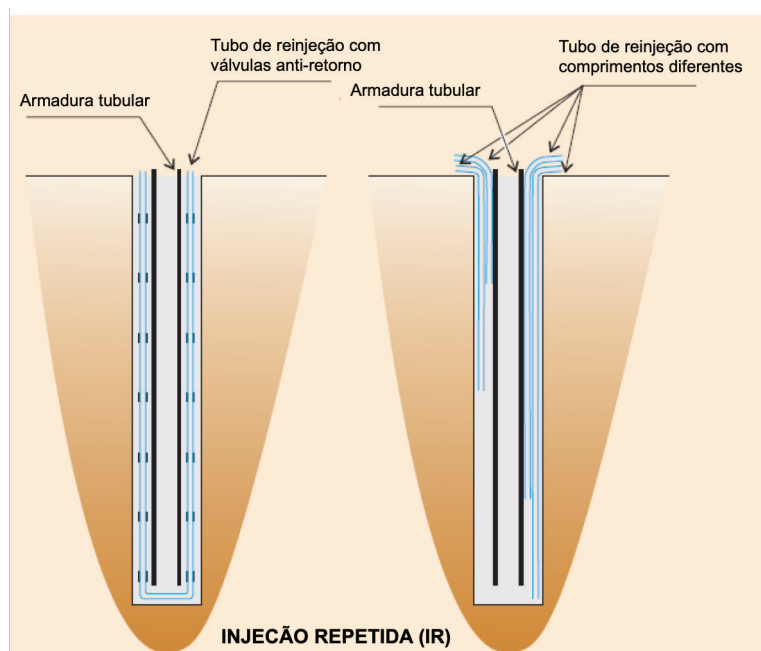
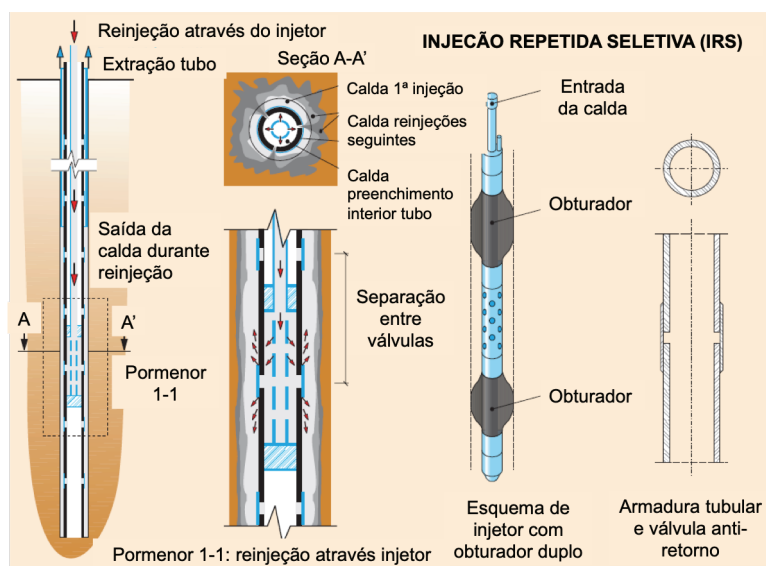


Fig. 8 – Solução de contenção periférica estudada para a construção do futuro edifício da BCAML (Pinto et al., 2006).



a)



b)

Fig. 9 – Principais diferenças entre o sistema de reinjeção do bolbo de selagem: a) IR; b) IRS (adaptado de Ministério de Fomento de Espanha, 2005).

Como se pode verificar através do gráfico retirado igualmente do Ministério de Fomento de Espanha (2005), apresentado na Figura 10, os valores das tensões tangenciais de atrito mobilizados são naturalmente diferentes, encontrando-se, em geral, em linha com a metodologia proposta de Bustamante e Doix (1985), adotada regularmente em Portugal.

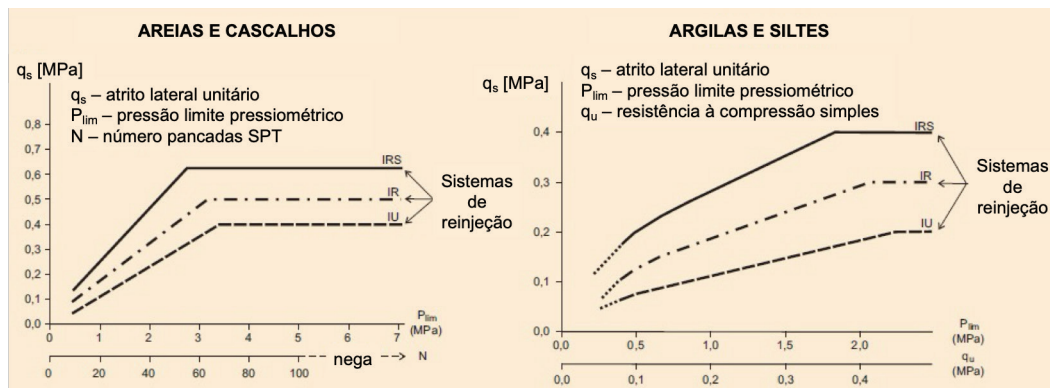


Fig. 10 – Principais diferenças nos valores mobilizados das tensões tangenciais de atrito de acordo com os sistemas de reinjeção IR e IRS (adaptado de Ministério de Fomento de Espanha, 2005).

Na sequência do exposto, destaca-se que o sistema de reinjeção IR na presença de terrenos heterogêneos na zona do bolbo de selagem, determina que possam existir válvulas que tendencialmente tenham propensão para um maior consumo da calda de cimento, penalizando o comprimento real do bolbo de selagem com consequências negativas para a capacidade de carga da ancoragem, conforme representado na Figura 11. Para mitigar este efeito, sugere-se que cada tubo de reinjeção não disponha de mais de metade da totalidade das válvulas de injeção definidas para o comprimento de selagem.

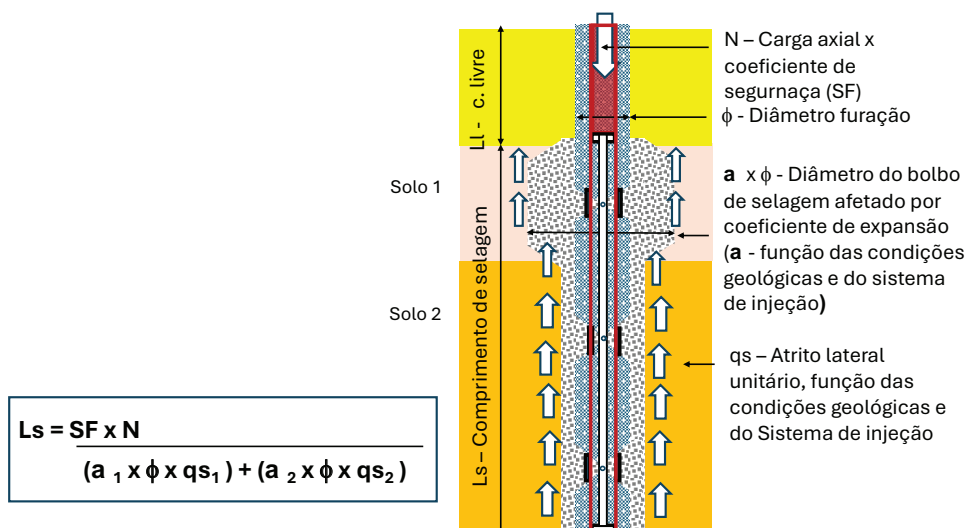


Fig. 11 – Efeito do terreno heterogêneo na mobilização de tensões tangenciais de atrito quando é utilizado o sistema de reinjeção IR.

Em complemento ao sistema de eurocódigos, destaca-se ainda a importância da regulamentação europeia associada à execução de ancoragens, NP EN 1537 (Instituto Português da Qualidade, 2016), a qual veio definir um conjunto de regras muito importantes para o controlo de qualidade e controlo de execução de ancoragens, em particular ao nível de ensaios, assim como as diferenças entre ancoragens provisórias e definitivas, em particular nas exigências de proteção contra a corrosão.

2.3 – Bandas de laje

As soluções de travamento de contenções periféricas com recurso a bandas de laje têm vindo a ser cada vez mais utilizadas em Portugal nos últimos 25 anos, situação determinada, sobretudo, pelas seguintes principais razões: i) dificuldade cada vez maior em recorrer a soluções de travamento com ancoragens, motivada pela mais densa ocupação do subsolo dos principais centros; ii) dificuldade e morosidade em obter autorizações para a ocupação do subsolo de terrenos vizinhos; iii) maior controlo dos deslocamentos, associado à elevada rigidez das soluções; iv) possibilidade de integrar as bandas de laje na solução definitiva das estruturas enterradas, ao contrário do que sucede nas soluções de travamento com recurso a ancoragens e escoramentos provisórios.

Como principal condicionamento, destaca-se a maior dificuldade associada aos trabalhos de escavação quando realizados sob as mesmas bandas de laje, potenciada pela necessidade de criar apoios provisórios nas extremidades das bandas, de forma a controlar o respetivo deslocamento vertical. Por razões de melhor compatibilidade entre o comportamento estrutural na fase definitiva e a metodologia de escavação sob as referidas bandas, estes apoios deverão ser localizados o mais próximo possível dos apoios definitivos e dispor de afastamento entre si que facilite as manobras dos equipamentos que executam os trabalhos de escavação. Igualmente importante pode ser a garantia de um bom acabamento da face inferior da banda de laje, o que, em geral, pode ser conseguido com recurso à betonagem da mesma sobre uma base constituída por camada de areia devidamente compactada. Quando justificável ainda poderá ser colocada uma cofragem sobre a mesma base.

Para ilustrar a utilização deste tipo de solução podem ser destacados alguns casos de obras de escavação e contenção periférica de elevada profundidade e junto a estruturas e infraestruturas sensíveis que tiveram lugar em Lisboa. Neste enquadramento, começa-se por destacar a obra do Palácio Sotto Mayor, junto à Av. Fontes Pereira do Melo, em que foram utilizadas bandas de lajes salientes, pré-esforçadas, para poder confinar a cortina executada à volta do edifício do Palácio, com funcionamento inspirado no princípio das cintas metálicas nas pipas de madeira, permitindo uma escavação em torno do mesmo com cerca de 25 m de profundidade, conforme ilustrado na Figura 12. Os deslocamentos horizontais máximos registados não foram superiores a 13 mm, correspondendo a uma relação entre profundidade da escavação e deslocamento horizontal de cerca de $H/1900$, descrito por Pinto et al. (2001, 2002a, 2002b).



Fig. 12 – Contenção periférica do Palácio Sotto Mayor (Pinto et al., 2001, 2002a e 2002b).

Como outras obras de escavação e contenção complexas e dispendiosas de elevada área em planta e grande profundidade, igualmente junto à Av. Fontes Pereira de Melo, muito condicionadas pela presença da importante e sensível galeria da Linha Amarela do Metropolitano de Lisboa, construída

a céu aberto, dispendo de abóboda em betão simples e de reduzido recobrimento com materiais de aterro, podem ser destacadas:

- a) O edifício de escritórios FPM41, descrito por Pinto et al. (2017), dispendo de seis pisos enterrados, que justificou o recurso a três níveis de bandas inclinadas (por razões arquitetónicas), vencendo um vão de cerca de 70 m, paralelo à Av. Fontes Pereira de Melo, conforme ilustrado na Figura 13. Os deslocamentos horizontais máximos não foram superiores 35 mm, correspondendo a uma relação entre profundidade da escavação (22 m) e deslocamento horizontal de cerca de $H/600$, tendo os mesmos sido muito condicionados pelo facto de a obra de escavação ter sido interrompida, por razões extra técnicas e durante um período de cerca de seis meses, coincidente com um inverno rigoroso, sem a execução do primeiro nível das bandas de laje. Esta situação conduziu que quando os trabalhos de escavação foram retomados o valor do deslocamento horizontal fosse já superior a 20 mm, ou seja, a solução de travamento com recurso a bandas de laje permitiu que durante a evolução da escavação para a sua cota final o incremento do deslocamento horizontal fosse, na realidade, inferior a 15 mm, permitindo assegurar os exigentes critérios definidos pelo Metropolitano de Lisboa para o interior das suas galerias. Destaca-se ainda que face ao vão de cerca de 70 m que as bandas de laje tiveram de acomodar, a importância de as paredes perpendiculares estarem previamente preparadas para resistir às forças de reação mobilizadas nas extremidades das bandas de laje. Esta situação determinou a necessidade de as cortinas de estacas nos alçados perpendiculares serem revestidas com paredes em betão armado, antes da escavação do terreno sob a totalidade do vão das bandas de laje.

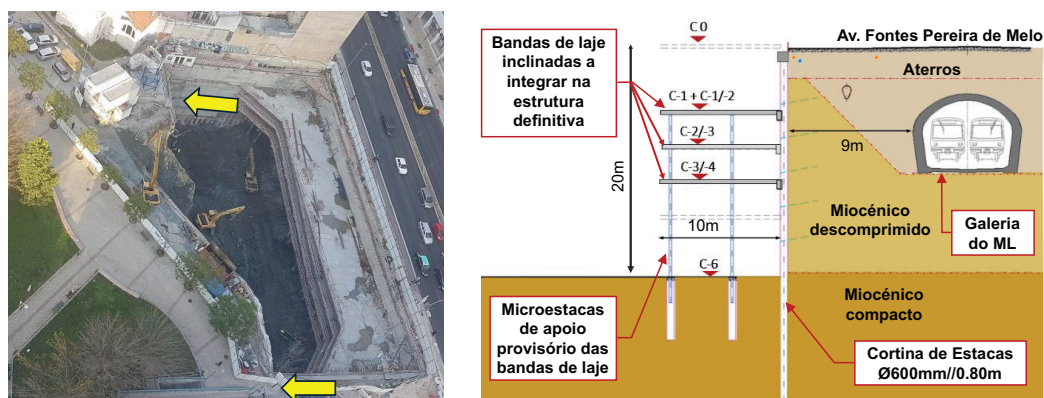


Fig. 13 – Contenção periférica no edifício FPM41 (Pinto et al., 2017).

- b) O Hotel ME – Meliã, relatado por Fartaria et al. (2021a, 2022) dispendo de três pisos semienterrados e três pisos enterrados, que justificou o recurso a três níveis de bandas horizontais, vencendo um vão de cerca de 40 m paralelo à Av. Fontes Pereira de Melo (sob a qual se localiza a galeria da Linha Amarela do Metropolitano de Lisboa) e à Av. António Augusto Aguiar (sob a qual se localiza um dos acessos ao Túnel rodoviário do Marquês). Nesta solução o facto de as três bandas de laje superiores corresponderem a pisos semienterrados determinou a necessidade de criar dispositivos de transferência de carga para a parede de contenção periférica do lado Nascente, Rua de São Sebastião da Pedreira, em particular escoras metálicas inclinadas e uma vela provisória em betão armado, conforme ilustrado na Figura 14. Os deslocamentos horizontais máximos registados não foram superiores a 13 mm, correspondendo a uma relação entre a profundidade máxima da escavação (25 m) e deslocamento horizontal de cerca de $H/1900$, tendo sido condicionados pelos níveis de travamento abaixo das bandas de laje, executados com recurso a ancoragens provisórias.

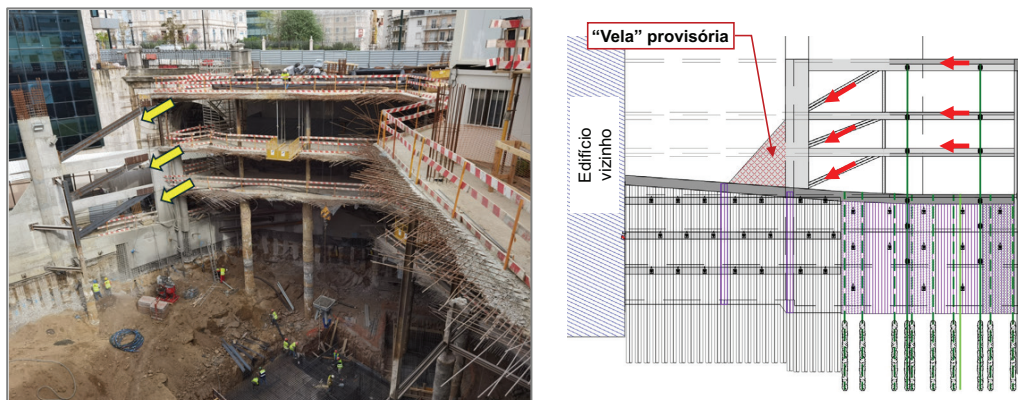


Fig. 14 – Contenção periférica no edifício do Hotel ME - Meliã, travada por bandas de laje. Vista dos mecanismos de transferência das reações das bandas ao nível dos pisos semienterrados (Fartaria et al., 2021a e 2022).

Por último, destaca-se a solução de travamento com recurso a minibandas de laje, aplicada a uma escavação de reduzida área em planta, cerca de $20 \times 20 \text{ m}^2$, para a construção dos dois pisos enterrados do New Style Lisbon Hotel, localizado no cruzamento da Rua Álvaro Coutinho com a Av. Almirante Reis, em Lisboa, conforme ilustrado na Figura 15. A reduzida área em planta da escavação, associada à proximidade à importante e sensível galeria da Linha Verde do Metropolitano de Lisboa, construída a céu aberto sob a Av. Almirante Reis, dispõem de abóboda em betão simples e de reduzido recobrimento, conduziu ao recurso a uma solução de travamento através de minibandas de laje. Estas minibandas correspondem a vigas com flexão no sentido horizontal, a integrar na estrutura dos pisos enterrados, dispondo de um vão correspondente ao afastamento entre os escoramentos provisórios de canto. Esta solução distingue-se da solução de bandas de laje pela sua reduzida largura em planta e, em consequência, ausência de necessidade de apoios provisórios no bordo livre. Os valores dos deslocamentos horizontais foram inferiores a 10 mm, correspondendo a uma relação entre a profundidade da escavação (7 m) e o deslocamento horizontal de cerca de $H/700$. No futuro esta solução poderá vir a ser melhorada se os escoramentos de canto puderem vir a ser embebidos nas lajes dos pisos enterrados, através do recurso a perfis metálicos com altura máxima compatível ou a elementos em betão armado.

2.4 – Contrafortes

As soluções de travamento com recurso a contrafortes têm, à presente data, sido as menos utilizadas, sobretudo pelo seu forte impacto na arquitetura e na estrutura dos pisos enterrados. Constitui exceção o caso do Lumen Hotel (ex Hotel Avedon), situado no cruzamento da Rua Sousa Martins com a Rua Andrade Corvo, em Lisboa, descrito por Fartaria et al. (2021b). Na zona de logradouro deste Hotel, área permeável do lote por imperativos camarários, foi executada uma parede de contenção periférica em cortina de estacas, travada na fase de escavação por ancoragens provisórias e na fase definitiva por contrafortes, construídos de baixo para cima, de forma a permitir a desativação das referidas ancoragens, conforme ilustrado Figura 16.

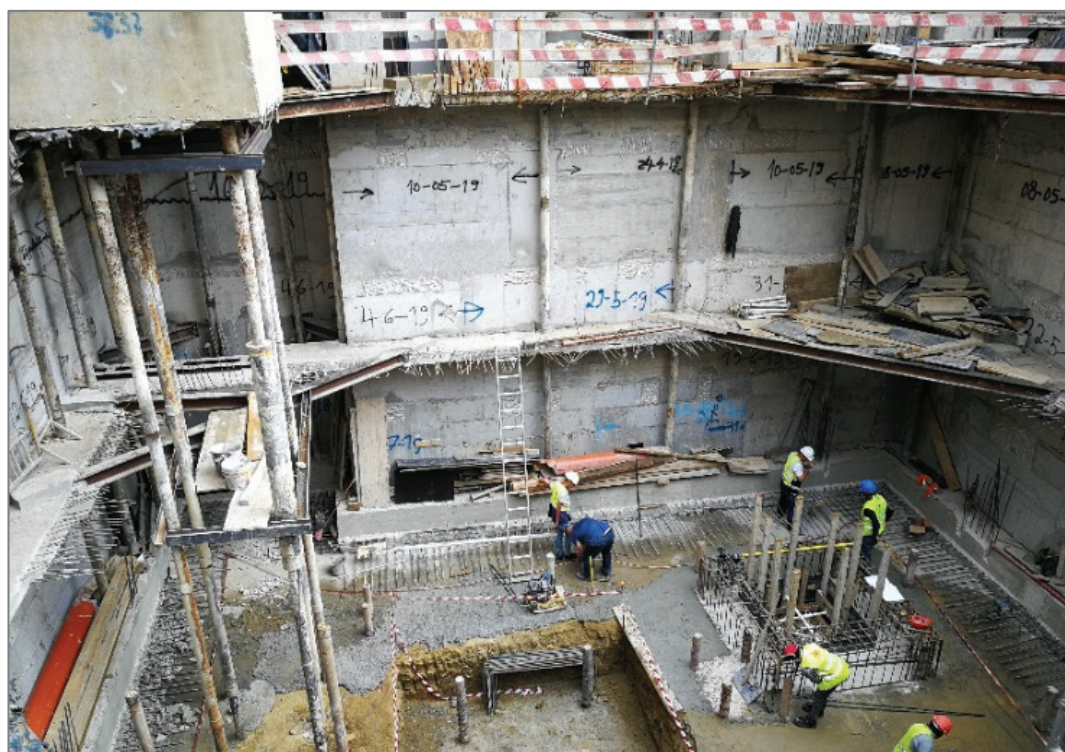


Fig. 15 – Contenção periférica no edifício do New Style Lisbon Hotel, travada por minibandas de laje.

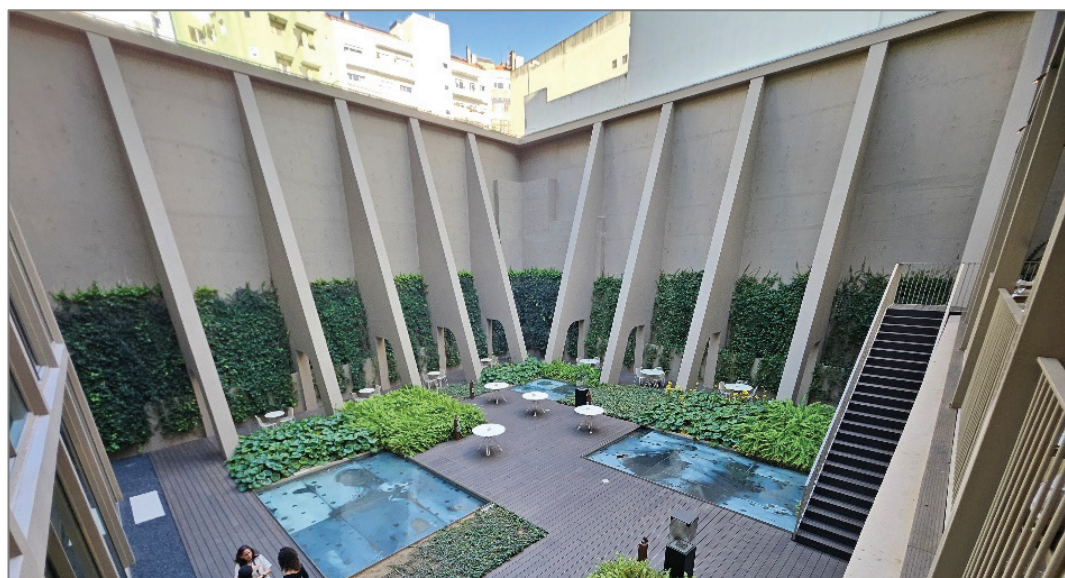


Fig. 16 – Contenção periférica no edifício do Hotel Lumen, travada por contrafortes na zona do logradouro (Fartaria et al., 2021b).

3 – ANÁLISE COMPARATIVA

Na sequência do exposto no capítulo anterior, no Quadro 1 apresenta-se uma análise qualitativa comparativa das quatro soluções de travamento descritas, tendo por base critérios de natureza técnica, económica e de condicionamentos associados às condições de vizinhança.

Quadro 1 – Análise comparativa das diversas soluções de travamento descritas.

Análise	Escoras	Ancoragens	Bandas Laje	Contrafortes
Técnica	↔	↔	↑	↑
Económica	↔	↑	↔	↔
Vizinhança	↑	↓	↑	↓↑

↑ Vantajosa ↔ Neutro ↓ Desvantajosa

De acordo com o mesmo Quadro 1 podem ser destacadas as soluções com recurso a bandas de laje, as quais, pelo balanço entre vantagens e desvantagens, se prevê continuem a ser utilizadas com cada vez maior frequência, tendo por base a tendência para a progressiva continuação da ocupação do subsolo em meio urbano, a qual penaliza o recurso a soluções de travamento como as ancoragens. Por outro lado, o recurso a soluções de travamento com escoramentos provisórios condiciona igualmente a escavação e, ao contrário da solução de bandas de laje, não permite a sua integração na estrutura definitiva dos pisos enterrados.

Os condicionamentos associados aos trabalhos de escavação sob as bandas de laje poderão ser mitigados através do planeamento rigoroso do funcionamento do estaleiro que permita a otimização da logística associada à operação dos equipamentos de escavação, intimamente associados à conceção da solução. Na Figura 17 apresenta-se o exemplo de uma obra em que a parede de contenção periférica foi travada por bandas de laje e por treliças em estrutura metálica (na zona das rampas inclinadas) e os equipamentos de escavação foram constituídos por duas pequenas máquinas giratórias, a executar a maioria dos trabalhos de escavação, e uma máquina giratória com braço de elevado alcance, sempre estacionada sobre a banda de laje superior, junto à entrada do estaleiro da obra, tendo como principal função retirar os materiais do fundo da escavação e carregar os camiões que estacionavam igualmente sempre sobre um mesmo troço de banda de laje localizado junto à entrada do estaleiro da obra (Pinto e Xavier, 2010). As bandas de laje sobre as quais estacionaram e operaram os equipamentos descritos foram devidamente reforçadas estruturalmente e ao nível do número de microestacas de apoio das mesmas.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente artigo é destacada a importância do desempenho das soluções de travamento no comportamento das paredes de contenções periféricas, em particular quando localizadas em meio urbano. Este assunto tem vindo a ganhar relevância nos últimos anos devido à cada vez maior ocupação do subsolo por estruturas e infraestruturas enterradas, cenário que tem justificado a tendência para o recurso a soluções de travamento das paredes de contenção periférica por bandas de laje, em detrimento de soluções mais tradicionais, como escoramentos e ancoragens. Recentemente e em paralelo, em algumas obras de escavação e contenção periférica tem-se observado um desempenho insatisfatório dos travamentos com recurso a ancoragens, na maioria dos casos como consequência do procedimento de reinjeção adotado (IR), situação que, a manter-se, poderá contribuir para acelerar a tendência acima descrita.



Fig. 17 – Exemplo da logística otimizada associada a trabalhos de escavação em obra em que a parede de contenção periférica foi travada por bandas de laje (Pinto e Pita, 2010).

Por último, considera-se importante destacar os seguintes pontos:

- i) O desempenho das paredes de contenções periféricas depende tanto das paredes, como das soluções de travamento, funcionando ambas como um sistema único.
- ii) A instrumentação e controlo de execução em obra são decisivos para validar, em tempo útil, o comportamento previsto para as soluções de contenção periférica, em particular em meio urbano, onde o risco é, tendencialmente, cada vez maior.
- iii) A conceção e o projeto de soluções de travamento das paredes de contenção periférica com recurso a bandas de laje recomendam a necessidade de uma indispensável e atempada interação entre a definição do modo de execução da obra e os projetos, em particular as especialidades de arquitetura, drenagem, estruturas e fundações, escavação e contenção periférica.

5 – AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Comissão Organizadora do 19º Congresso Nacional de Geotecnia o convite para a palestra que determinou a redação do presente artigo. Agradece igualmente aos Editores da Revista Geotecnia a oportunidade para a publicação do artigo.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bustamante, M.; Doix, B. (1985). *Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés*. Bulletin Liaison Laboratoire Ponts e Chaussées nº140, pp 75-92.

- Estorninho, D. (2020). *Soluções de escavação e contenção periférica em edifício na Av. 24 de Julho, em Lisboa*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 80 p.
- Farinha, J. S. B. (s.d.). *Obras de Construção do Metropolitano de Lisboa. 1955-1993, Caderno nº5*. Metropolitano de Lisboa. 347 p.
- Fartaria, C.; Lopes, M.; Pinto, A.; Carvalho, N. (2022). *Soluções de Escavação e Contenção Periférica em Lisboa – Hotel Meliã* - COBRAMSEG 2022 – XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, XI Congresso Luso Brasileiro, Campinas - SP, Brasil. Volume 1. 2022 – 145532, Sessão Paralela 29 – Inovação e Tecnologia em Geotecnia Urbana. ISBN: 978-65-89463-30-6.
- Fartaria, C.; Carvalho, N.; Pinto, A.; Gomes, J. (2021a). *Soluções de escavação e contenção periférica para a construção dos pisos enterrados do hotel Meliã, Lisboa*. XVII Congresso Nacional de Geotecnia - Sessão 10B: Fundações, escavações, taludes e obras subterrâneas, LNEC, Lisboa.
- Fartaria, C.; Pinto, A.; Silva, C. (2021b). *Soluções de Escavação e Contenção Periférica adotadas no Hotel Avedon, em Lisboa*. Sessão 10B: Fundações, escavações, taludes e obras subterrâneas. Novembro 2021, LNEC, Lisboa.
- Fernandes, M. M. (2010). *Deep Urban Excavations in Portugal: Practice, Design, Research and Perspectives*. Soils and Rocks, 33 (13), pp. 115-142. <https://doi.org/10.28927/SR.333115>
- Instituto Português da Qualidade (2016). NP – EN 1537. Execução de Obras Geotécnicas Especiais. Ancoragens no Terreno.
- Ministério de Fomento de Espanha (2005). Guia para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera.
- Pinto, A.; Ferreira, S.; Barros, V.; Costa, R.; Lopes, P.; Dias, J. (2001). *Sotto Mayor Palace – Design and performance of a deep excavation*. Proceedings of XVth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul, pp. 1237-1240.
- Pinto, A.; Ferreira, S.; Lopes, P.; Dias, J.; Costa, R.; Almeida, F. (2002a). *Palácio Sotto Mayor – Conceção e Comportamento de Uma Escavação Profunda*. Revista Geotecnia, nº 95, pp. 85-97. https://doi.org/10.14195/2184-8394_95_7
- Pinto, A.; Ferreira, S.; Barros, V.; Costa, R.; Lopes, P.; Dias, J. (2002b). *Sotto Mayor Palace – Design and Performance of Retaining and Underpinned Structures*. The First FIB Congress 2002, Osaka - Japan, pp. 43-48, Session 3 – Recent Contribution of Concrete to Tunnel and Underground Structures.
- Pinto, A.; Pereira, A.; Villar, M. (2006). *Biblioteca e Arquivo Municipal de Lisboa. Escavação de Grande Profundidade*. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica: Desafios na Estabilização de Encostas Naturais e Escavações, Curitiba – PR, Brasil, pp. 2389-2394 - Vol. 4.
- Pinto, A.; Pereira, A.; Cardoso, D.; Sá, J. (2008). Sana Torre Vasco da Gama Royal Hotel: Soluções Geotécnicas. XI Congresso Nacional de Geotecnia, Universidade de Coimbra, pp. 423-430 - Vol. 3, Melhoramento e Reforço de Maciços.
- Pinto, A.; Pereira, A.; Cardoso, D.; Sá, J. (2009). Ground Improvement solutions at Sana Vasco da Gama Royal Hotel. 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, October 2009, Alexandria, Egypt, Volume 3 - 4A - Ground Improvement, Grouting and Dredging, pp. 2180-2183.

- Pinto, A.; Pita, X. (2010). Soluções de Contenção Periférica e de Recalçamento de Fachadas do Edifício na Av. da República nº25 – Lisboa. Encontro Nacional BE2010, LNEC - Lisboa, Portugal, pp. 349-351 (resumo alargado), Tema 5 - Realizações.
- Pinto A.; Pereira A.; Cardoso D.; Sá J. (2013). Torre Vasco da Gama Myriad Sana Hotel: Soluções de Tratamento de Solos, Contenção Periférica e Fundações. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, nº33, pp. 58-66.
- Pinto, A.; Fartaria, C.; Pita, X.; Tomásio, R. (2017). FPM41 high rise building in central Lisbon: innovative solutions for a deep and complex excavation. 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, September 2017, Seoul, Korea, pp 2029 – 2032, TC 207 (Soil Structure). ISBN 978-89-952197-5-1.
- Rollo, M. F. (1999). Um Metro e Uma Cidade – História do Metropolitano de Lisboa. 1885-1975, Metropolitano de Lisboa, ISBN 972-8588-01-1, 485 p.
- Soares, L. L. (2003). Edgar Cardoso, Engenheiro Civil. FEUP Edições, ISBN 972-752-061-8, 370 p.