



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Maria Irene Marçal de Moura

TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E REFORÇO DE
FUNDAÇÕES - ESTUDO DE CASO
FOUNDATION REHABILITATION AND
REINFORCEMENT TECHNIQUES – CASE STUDY

Dissertação I no âmbito do Mestrado em Reabilitação Estrutural de Edifícios,
Ramo Estrutural, orientada pelo Professor Doutor Paulo M. C. Matos Lopes
Pinto e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Julho de 2022

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Maria Irene Marçal de Moura

Técnicas de reabilitação e reforço de fundações - Estudo de caso

FOUNDATION REHABILITATION AND REINFORCEMENT TECHNIQUES — CASE STUDY

Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, na área de Especialização no ramo Estrutural,
orientada pelo Professor Doutor Paulo M. C. Matos Lopes Pinto

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Julho de 2022



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

ÍNDICE

1 ENQUADRAMENTO.....	2
2 OBJETO DE ESTUDO.....	4
2.1 Injeções	4
2.2 Jet Grouting	5
2.3 Microestacas.....	5
2.4 Estudo de caso	6
3 OBJETIVOS.....	7
4 METODOLOGIA	8
5 PLANO DE TRABALHOS	9
6 PRINCIPAIS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13

1 ENQUADRAMENTO

Devido ao cenário recente da construção civil, e da grande carga de edifícios construídos, o setor começou, há algum tempo, a dar mais prestígio e atenção a reabilitação das construções que já estão de pé. Sejam edificações de valor histórico ou não, o património erguido muitas vezes já é característica do lugar onde se encontra, além de já não haver tanto espaço disponível restante, desta forma a intervenção se torna uma questão seriamente importante.

É fato que edifícios mais antigos terão maior probabilidade de necessitarem de uma ação corretiva se em seu período de vida útil não foram realizadas as devidas manutenções, contudo, a reabilitação não se restringe apenas a idade do imóvel. Prédios e casas mais novos por vezes passarão por projetos de modernização, seja por mudança em sua utilização ou quaisquer outros motivos, e necessitarão de melhorias para que a segurança seja mantida. Ou até mesmo em casos específicos, onde tenha acontecido ações naturais não esperadas que abalaram a estrutura, e ela precise ser reformada, garantindo sua segurança e durabilidade em face ao evento. Assim sendo, a reabilitação de edifícios está em crescente desenvolvimento, principalmente por ser uma área diversa e abrangente.

Quando um edifício apresenta alguma manifestação patológica, é preciso examiná-lo por completo e diagnosticar corretamente quais as causas que levaram a determinado problema. Particularidades da superestrutura, infraestrutura e até do entorno da construção podem ajudar a resolver o caso em estudo, é preciso ter uma visão geral da questão.

Contudo a fundação por si só pode ter um efeito mais acentuado em possíveis danos estruturais, devido ao impacto do assentamento da construção. Se ela não for bem planeada e executada para o tipo de solo específico em que se encontra, a capacidade de carga pode não ser suficiente para o que foi projetado enquanto superestrutura, desencadeando assentamentos diferenciais que geram várias falhas no prédio. Assim como, pelo lado oposto, se existirem alterações a serem realizadas na utilização da estrutura, o primeiro passo é

analisar se as fundações serão suficientes após a modificação, como será debatido no caso em estudo desta dissertação.

Logo, com alicerce das construções em primeiro plano, o estudo das fundações abre outro leque de informações e cuidados necessários para serem seguidos durante a criação de um projeto de reabilitação. A infraestrutura, seja ela superficial ou profunda, só pode ser definida de acordo com o ambiente a que está inserida, as características intrínsecas do solo, como por exemplo tipo do material, permeabilidade, compressibilidade, entre outras, regem as decisões a serem tomadas.

As técnicas de reforço em fundações são “delicadas”, já que todos seus elementos estão “escondidos” embaixo dos prédios já construídos, e qualquer pequeno erro pode provocar adversidades não desejadas. Por isso, qualquer prática construtiva de intervenção demanda uma densa análise do que já existe e do que pode ser feito para solucionar o caso.

A Geotecnia tem papel primordial nessas questões, e o estudo de casos reais sempre ajudam ao maior entendimento sobre o assunto. Posto isso, a atualização sobre as informações já existentes incentiva cada vez mais a busca por soluções mais tecnológicas e adequadas para situações específicas.

2 OBJETO DE ESTUDO

Essa dissertação foca em apresentar técnicas de reabilitação e reforço de fundações e seus detalhes construtivos mais importantes, em vista de aumentar e aprimorar o banco de dados disponível para os profissionais do ramo, pormenorizando os requisitos necessários para aplicação das técnicas a serem estudadas. Dessa forma tem como objeto de estudo práticas de reforço dos solos em edificações já construídas, como, a realização de Injeções, Jet Grouting, Microestacas, entre outras, apresentando as mais comuns e utilizadas na atualidade.

2.1 Injeções

As Injeções são técnicas de reforço do terreno de fundação, podendo ser executadas com a introdução de materiais diferentes, como por exemplo, materiais cimentícios, químicos, resinosos (Barbosa, 2018), que atingem o solo principalmente por efeito de compactação, enchimento ou substituição dele, Figura 1.

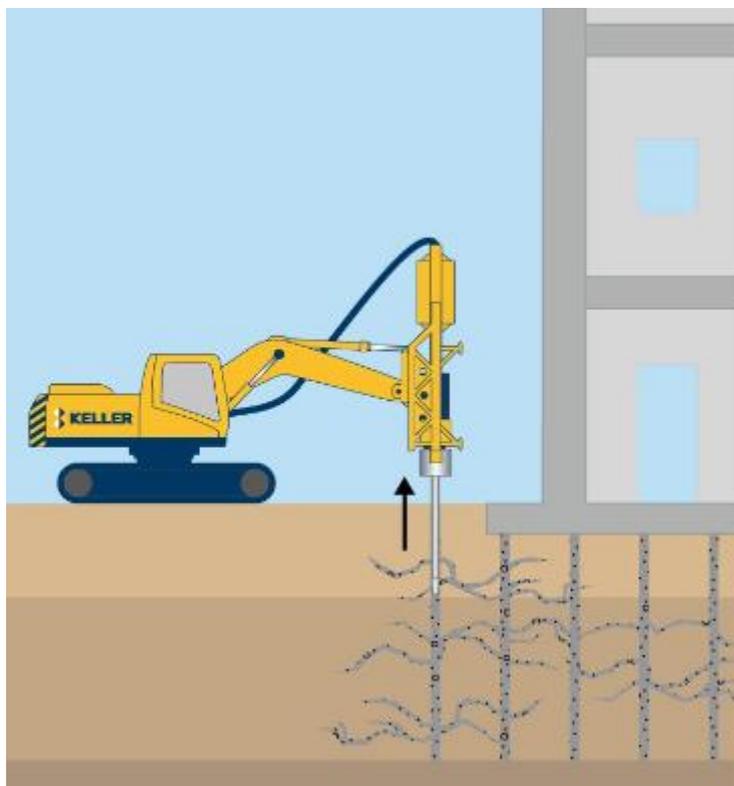


Figura 1 – Exemplo da aplicação de injeção como técnica de reforço. Fonte: Injection systems, Keller North America (web).

2.2 Jet Grouting

O Jet Grouting se tornou uma técnica muito difundida devido a sua diversidade de aplicações, além da possibilidade de ser adotado em diferentes tipos de solo, desde os incoerentes até os coesivos. A técnica pode ser realizada de formas diferentes, mas o princípio é o mesmo, Figura 2: desagregação do solo seguida de preenchimento com calda de cimento, trazendo mais resistência, melhorando as características mecânicas. Júnior (2018) subdivide a técnica em 3 tipos principais: jato simples, jato duplo e jato triplo, e ainda menciona como a tecnologia influenciou na evolução da prática, gerando novos métodos.

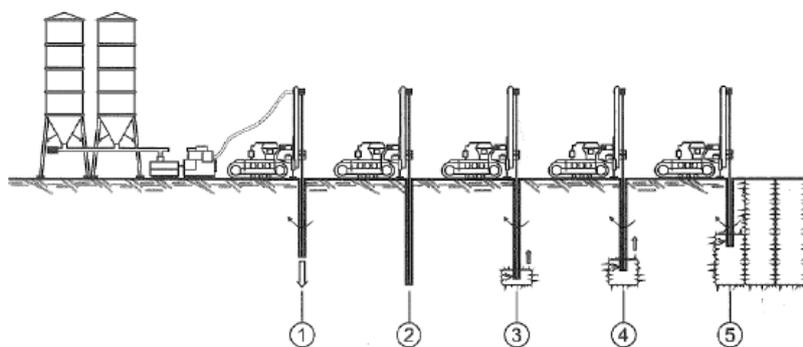


Figura 2 – Fases para execução do jet-grouting. Fonte: ABEF (2012).

2.3 Microestacas

As Microestacas são semelhantes a técnica de Jet Grouting no sentido de poder ser aplicada em diversas situações de reforço, seja num período temporário ou permanente. Essa prática se resume a introdução de estacas de diâmetros pequenos com grandes esbeltezas, que na grande maioria das vezes garantem capacidade de carga pelo atrito lateral com o solo, podendo requerer, em certos casos, pelo apoio da resistência de ponta. As Microestacas se destacam pois são ideais para construções com pouco espaço livre, pouca altura, e podem ser inseridas na vertical ou com certa inclinação, com o objetivo de não causar situações inoportunas as edificações adjacentes, como disse Teixeira (2014). Mais uma vez a técnica construtiva pode ser realizada de jeitos diferentes, de acordo com o solo e a estrutura que se encontram em estudo, sendo possível destacar 4 tipos de execução, Figura 3 abaixo:

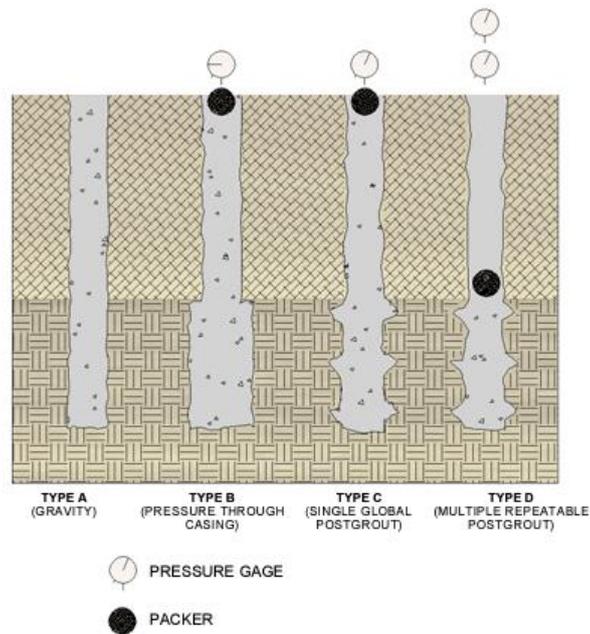


Figura 3 - Classificação das Microestacas. Fonte: *Micropile Design and Construction (2005)*.

2.4 Estudo de caso

Centro comercial existente em Aveiro, que possui fundação no sistema pilar-estaca, com maciços isolados, que passou por reforço do terreno de fundação, dividido em duas fases, através de Injeções de colagem e consolidação, em vista de uma alteração na utilização da estrutura: remodelação e ampliação do edifício. Na primeira fase pretendia serem feitas quatro injeções em torno de cada pilar, seguida de uma injeção inclinada diretamente sobre o maciço de encabeçamento da estaca, na segunda fase, Figura 4.

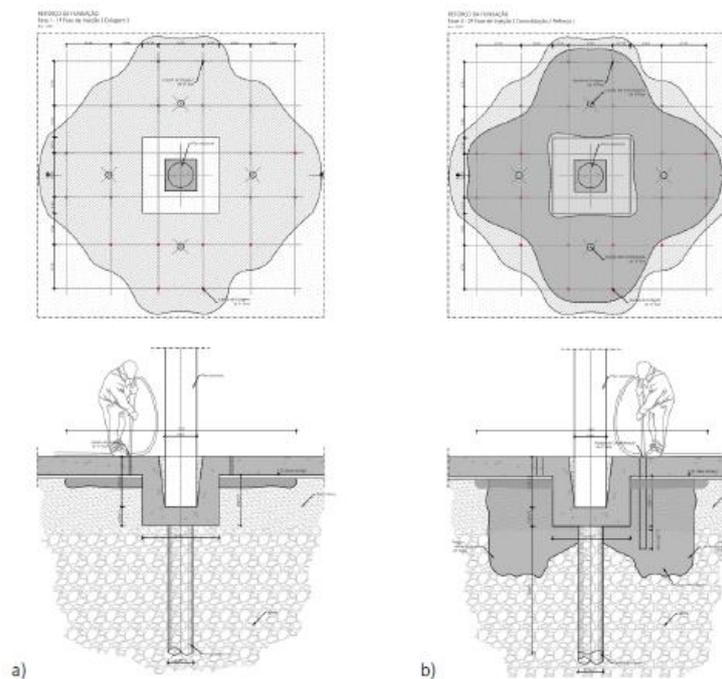


Figura 4 – Esquema de consolidação do solo na envolvente da fundação existente. Fonte: Veconcept (2020).

3 OBJETIVOS

Este trabalho visa primeiramente reunir a maior quantidade de informações possíveis a respeito das técnicas mais conhecidas e utilizadas atualmente em casos de reabilitação e/ou reforço de fundações, seja em construções antigas ou recentes. A diversidade de autores e informações a serem analisadas será o grande objetivo desta dissertação, a fim de criar uma biblioteca de dados atualizados para servir de base para os profissionais da área em estudos futuros.

Toda técnica construtiva tem seus prós e contras, assim sendo, a dissertação pretende abordar todos os detalhes relevantes durante o processo de investigação, diagnóstico e resolução dos problemas.

É fato que cada caso em específico tem sua solução ideal, desta forma, através de um estudo de caso que ocorreu em Aveiro, o trabalho procura mostrar quais os pontos importantes a serem investigados para que a intervenção em cada construção seja adequada, tanto do ponto de vista da segurança, quanto do ponto de vista financeiro.

4 METODOLOGIA

Buscando retratar o cenário atual das técnicas mais utilizadas em obras de reabilitação ou reforço das fundações, este trabalho procura realizar uma revisão bibliográfica sobre os conhecimentos relacionados a fundações que já foram empregados em situações reais. Desta forma, serão analisados estudos que retratem as diversas aplicações possíveis, procurando analisar e comparar informações de autores diferentes, em busca de apresentar uma visão completa sobre os prós e contras de cada prática de reabilitação e/ou reforço.

Inicialmente será feita uma densa pesquisa, física e online, por livros, documentos, dissertações, artigos, quaisquer materiais que apresentem informações relacionadas ao reforço de fundação. É fato que alguns estudos são atemporais, mas será dada preferência a arquivos mais recentes, que mostrem mais casos da realidade atual. De posse de uma boa base de estudos, focada em qualidade e não quantidade, será realizada uma revisão sistemática de todos os autores, a fim de destacar seus pontos em comum, analisar suas especificidades e desenvolver uma linha de pensamento que inicia na fase pré intervenção, através da prospecção, da inspeção e diagnóstico correto dos problemas que as fundações apresentam, passando pela análise e escolha ideal dos métodos adequados para cada solução, assim como quais as práticas devem ser adotadas para garantir a segurança e a eficiência da reabilitação na construção em específico, tentando explorar e esclarecer todos os detalhes dos principais métodos construtivos.

A dissertação ainda irá comparar soluções possíveis de acordo com o ponto de vista técnico, sempre analisando o cunho financeiro, apresentando alternativas em vista de dar possibilidades diferentes para um mesmo estudo.

Sendo necessário exemplificar para tornar o trabalho mais completo: será debatido um caso real, do reforço das fundações de um centro comercial em Aveiro, onde serão recolhidos e analisados os documentos pertencentes a empresa responsável pelo serviço, quanto ao histórico, projeto e execução da resolução para o problema. Será realizada uma análise de como a parte monetária foi vantajosa em relação a técnica aplicada.

5 PLANO DE TRABALHOS

Atividades:

1. Pesquisa bibliográfica: procurar por fontes confiáveis, que abordem temas relacionados a reabilitação ou reforço em fundações, seja em meio físico ou eletrônico;
2. Análise dos autores: leitura e verificação sobre os conteúdos abordados, para definição de quais são ideais para o estudo;
3. Revisão Sistemática: analisar e comparar as informações fornecidas por fontes diferentes, gerando uma tabela que servirá de base para o desenvolvimento do estudo;
4. Análise do caso de estudo: investigação da edificação que sofreu reforço em sua fundação, através de estudo do relatório, do projeto, da execução, todos os passos que conduziram a solução da reabilitação;
5. Elaboração do trabalho escrito: Desenvolvimento da dissertação em forma de documento;
6. Elaboração da apresentação: Criação de uma apresentação visual para o dia da defesa.

Tabela 1 – Cronograma de atividades.

Atividades	Meses						
	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
1							
2							
3							
4							
5							
6							

6 PRINCIPAIS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, M. G. T. (2018). - *Estudo dos efeitos de injeções cimentícias no comportamento de túneis rasos em solos metaestáveis*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Geotecnia. Universidade de Brasília.

- A dissertação apresenta um caso de estudo realizado para adequação do maciço, tendo como exemplo a construção de túneis do Metrô. **Foi realizado trabalho experimental e simulação numérica em vista de verificar a melhora do solo com injeções cimentícias. O documento se destaca por apresentar uma síntese das injeções mais usuais nos solos, assim como usa do caso real para comprovar, por meios experimentais, a eficácia e as vantagens do método.**

BORGES, L. G. A. (2013). - *A Geotecnia na reabilitação de edifícios - Estado da arte*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Construção Urbana no Instituto Politécnico de Coimbra. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

- A dissertação de Mestrado em Construção Urbana apresenta um estudo sobre práticas de contenções, com ou sem recalçamento, além de técnicas de reforço em fundações, analisando suas práticas construtivas e o impacto que elas causam em construções adjacentes. **A partir do seu ponto de vista do papel da Geotecnia na Reabilitação Urbana, mostra a importância de reabilitar/reforçar fundações de edifícios que muitas vezes carregam uma carga histórica para o sítio em que estão presentes. Dessa forma destaca a importância do comportamento do solo no processo de intervenção, em busca de preservar as construções existentes.**

CAVALCANTI, C.S. GUSMÃO, A.D. SUKAR, S.F. (2016) - *Estudo da Interação Solo-Estrutura em um edifício com Patologias de Fundações na Região Metropolitana do Recife*. Artigo publicado na Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - Universidade de Pernambuco.

- Artigo submetido a uma revista de publicação trimestral, que objetiva divulgar um estudo realizado para reforço de fundações, de um edifício residencial de 26 pavimentos, que sofria com recalques excessivos. **Ele contribui em mostrar por ações práticas a importância do monitoramento e da prospecção num processo de reforço das fundações, já que a instrumentação serviu de base para todo o estudo. Um diagnóstico correto leva a soluções adequadas e eficientes.**

MAGALHÃES, D. J. Q. S. (2014). - *Sistemas construtivos de reabilitação e reforço de fundações*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do Grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Geotecnia. Universidade do Porto.

- A dissertação apresentada ao mestrado integrado de Engenharia Civil com especialização em Geotecnia é um trabalho bem completo, que mostra desde os variados tipos de fundações, diretas ou indiretas, até as patologias que lhes podem atingir, assim como fala um pouco sobre a avaliação que deve ser feita para a escolha adequada da técnica de intervenção. **É de grande importância para o estudo pois, aborda detalhadamente o passo a passo necessário para um processo de reforço das fundações, partindo dos estudos preliminares até quais materiais e equipamentos ideais para as soluções existentes. O trabalho enfatiza especificamente as práticas de alargamento e recalce de fundações, a utilização de microestacas e jet grouting, além de mencionar a construção de caves em edificações já existentes.**

NEVES, M. J. N. (2010) - *Técnicas de Recalçamento e Reforço de Fundações - Metodologias, Dimensionamento e Verificações de Segurança*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

- A dissertação de Mestrado em Engenharia Civil aborda conteúdos sobre recalçamento e reforço das fundações, mais particularmente a respeito da utilização das microestacas e do jet grouting, mostrando em quais situações deve-se adotar certas técnicas, seguindo as normas em vigor. **A grande contribuição desse documento é apresentar detalhadamente as fases para o dimensionamento dessas técnicas, verificando sua segurança, expondo**

através de casos específicos como cada reforço pode se adaptar melhor dependendo das características da obra em estudo, sejam construções antigas ou mais novas.

PEREIRA, J. P. V. V. (2012). - *Reforço de fundações com micro-estacas. Ligação Aço/Calda/Betão*. Dissertação de doutoramento na área científica de Engenharia Civil, na especialidade de Mecânica das Estruturas e dos Materiais. Universidade de Coimbra.

- A tese de doutoramento explora o tema da utilização das microestacas em reforço de fundações, dando grande relevância a ligação da reabilitação da fundação com a estrutura pré-existente. Utilizando a tecnologia a seu favor, tanto nos materiais utilizados na técnica quanto nos ensaios realizados para o estudo dessa prática. **O trabalho tem grande importância pois tem como finalidade apresentar quais características intrínsecas aos diferentes tipos de microestacas influenciam na aderência da calda de cimento com o betão e o aço utilizado nas fundações. Além de propor um método de dimensionamento e detalhamento dessas junções.**

SILVA, V. C. (2015). - *Análise do uso de estacas mega como reforço de fundações superficiais: Estudo de caso no município de Arcos/MG*. Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Centro Universitário de Formiga – UNIFOR.

- O Trabalho de conclusão de curso destaca o uso de estacas prensadas, segmentadas, conhecidas como estacas mega, para reforço de fundações em uma residência habitacional. **Sua contribuição se baseia em apresentar o quanto é importante conhecer todos os detalhes característicos do solo em questão para que desta forma possa ser realizada uma análise sobre qual técnica será ideal para a reabilitação. A fim de achar uma solução adequada e viável para o caso em específico, positiva financeiramente, além de garantir segurança da estrutura após sua execução.**

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (ABEF) – **Manual de execução de fundações e geotecnia: práticas recomendadas**. São Paulo: PINI, 2012. ISBN 978-85-7266-260-4.

Barbosa, M. G. T. (2018). Estudo dos efeitos de injeções cimentícias no comportamento de túneis rasos em solos metaestáveis. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília.

Borges, L. G. A. (2013). A Geotecnia na reabilitação de edifícios - Estado da arte. Dissertação de Mestrado em Construção Urbana, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Cavalcanti, C.S. Gusmão, A.D. Sukar, S.F. (2016). Estudo da Interação Solo-Estrutura em um edifício com Patologias de Fundações na Região Metropolitana do Recife. Artigo publicado na Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - Universidade de Pernambuco.

Júnior, A. P. S. (2018). Jet-Grouting: Reforço da fundação de um edifício assente sobre solos moles. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil no ramo de estruturas, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Kirsch, K., Bell, A. (2013). Ground Improvement, Third Edition. CRC Press. Boca Raton, USA.

Magalhães, D. J. Q. S. (2014). Sistemas construtivos de reabilitação e reforço de fundações. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil com especialização em Geotecnia, Universidade do Porto.

Neves, M. J. N. (2010). Técnicas de Recalçamento e Reforço de Fundações - Metodologias, Dimensionamento e Verificações de Segurança. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa.

Pereira, J. P. V. V. (2012). Reforço de Fundações Com Micro-estacas. Ligação Aço/Calda/Betão. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra

Reference Manual, **Micropile Design and Construction**, no. 132078, 2005.

Silva, V. C. (2015). Análise do uso de estacas mega como reforço de fundações superficiais: Estudo de caso no município de Arcos/MG. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário de Formiga – UNIFOR.

Teixeira, A. C. C. L. (2014). Dimensionamento de Microestacas de acordo com os Eurocódigos 7 e 3. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil com especialização em Geotecnia, Universidade do Porto.

Xanthakos, P.P., Abramson, L.W., Bruce, D.A. (1994). Ground Control and Improvement. Wiley.