



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Serviços afetados nas obras do Metropolitano de Lisboa**

**Soluções de engenharia para uma racionalização de processos**

**Maria de Jesus Tanissa de Carvalho Seabra**

Orientação: Sr.<sup>a</sup> Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Madalena Vitório  
Moreira Vasconcelos

**Mestrado em Engenharia Civil**

Área de especialização: *Hidráulica e Recursos Hídricos*

Dissertação

Évora, Fevereiro 2016



## AGRADECIMENTOS

Esta dissertação surge de uma vontade de crescimento pessoal e profissional.

Para a sua concretização pude contar com o apoio de colegas de profissão e entidades que concretizam projetos na área dos transportes, mais concretamente de Metro pesado e ligeiro.

Não posso deixar de agradecer em primeiro lugar à professora Maria Madalena Vitório Moreira Vasconcelos pelo otimismo inculcido e disponibilidade constante manifestada. Muito Obrigada.

Às empresas e profissionais que se disponibilizaram a colaborar neste estudo através das respostas aos questionários propostos.

Um agradecimento especial à empresa do Metropolitano de Lisboa que possibilitou a recolha de informação crucial para o desenvolvimento desta dissertação. O meu agradecimento também à empresa Ferconsult e aos colegas do departamento de produção.

Também o meu agradecimento especial à empresa Metrô do Rio de Janeiro, que na pessoa do Eng.º Ronan, se disponibilizou a explicar as metodologias utilizadas nos projetos de Metro do Rio de Janeiro e me acompanhou numa visita à extensão de Metro em construção. Aos colegas desta empresa que me receberam na visita realizada e que se disponibilizaram para os esclarecimentos solicitados o meu obrigado.

À minha família, em especial ao meu marido Miguel pelo apoio, persistência e insistência para que eu terminasse esta etapa da minha vida.

Aos meus filhos Dinis e Lara que não compreendendo ainda o motivo da minha dedicação a este trabalho, se mostraram preocupados em que a mãe concluísse esta tarefa.

À minha mãe e ao meu pai.



## RESUMO

Num quadro de desenvolvimento de técnicas cada vez mais específicas na área da instalação das infraestruturas, é urgente repensar a forma de projetar os serviços afetados pelas obras de metro.

Pretende-se que as soluções de projeto sejam cada vez mais sustentáveis, permitindo otimizar custos e reduzindo os transtornos para a população.

A presente dissertação tem por objetivo, identificar as principais dificuldades ao nível do processo de recolha, tratamento de dados e definição da solução, na elaboração dos projetos de desvio dos serviços afetados, nas obras do Metro. Pretende também indicar soluções otimizadas, baseando-se nas técnicas de instalação das infraestruturas sem abertura de vala (*trenchless*), nos métodos de deteção das infraestruturas e no conhecimento adquirido nos últimos anos em projeto.

É necessário complementar os elementos de cadastro fornecidos pelas concessionárias de águas, drenagens, eletricidade e telecomunicações, recorrendo a novas tecnologias de deteção. Este objetivo consegue-se através do recurso a equipamentos de georradar e de sondagens, melhorando os dados de entrada do projeto.

Nesta dissertação é apresentado um estudo de caso, aplicado a um projeto do Metro de Lisboa, em que foi analisada a solução adotada em projeto e comparada com uma solução alternativa.

Com base na análise aos elementos técnicos de *trenchless* e na identificação de métodos utilizados em projetos de metro noutros pontos do mundo, foi possível definir uma solução alternativa.

Concluiu-se que o método de instalação por *microtunneling* se apresenta como solução viável para instalação de coletores de grande diâmetro a elevadas profundidades.

**Palavras-chave:** Obras de Metro; Infraestruturas de subsolo, instalação de condutas sem abertura de vala (*trenchless*).



## **ABSTRAT**

### **Underground infrastructure facilities in the construction of Lisbon underground**

#### **- Engineering solutions for the processes rationalization**

Considering the technical development of increasingly specific tools in underground infrastructure construction, it is therefore urgent to rethink how to project underground infrastructure facilities which are affected by Metro underground civil engineering works.

It is intended that the design solutions should be more sustainable, allowing to optimize costs and reducing inconveniences to the public.

This research aims to identify the main difficulties in data collection process, data processing and solution selection when developing diversion projects in Metro underground works. It also intends to indicate optimal solutions based on underground infrastructure construction trenchless technics, infrastructure detection methods, and acquired knowledge in recent years of civil engineering practice.

It is necessary to supplement registration data provided by utilities companies (water, drainage, electricity and telecommunications) with new data provided by new detection technologies. This goal is achieved through the use of georadar and ground survey equipment, improving project's input data quality.

This thesis presents a case study applied to a Lisbon Metro project. The adopted design solution is examined and compared with an alternative solution.

Based on trenchless technical elements analysis and on the identification of used methods in subsurface construction projects elsewhere in the world, it was possible to define an alternative solution.

It was concluded that the microtunneling installation method presents itself as a viable solution for large diameter pipeline installation in great depths.

**Keywords:** Metro Underground Works; Underground Infrastructure, Trenchless Technology.





## ÍNDICE GERAL

<b>ÍNDICE GERAL</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>CAPÍTULO 1. ENQUADRAMENTO GERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos do estudo e metodologia</b> .....	<b>4</b>
1.2.1 Objetivos.....	4
1.2.2 Metodologia .....	4
<b>CAPÍTULO 2. SERVIÇOS AFETADOS: A SUSTENTABILIDADE NO PROJETO E SUAS ETAPAS</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 A sustentabilidade no desenvolvimento do projeto de desvio das infraestruturas de subsolo</b> .....	<b>8</b>
2.1.1 Caracterização do processo aplicado aos sistemas de transportes .....	8
2.1.2 Faseamento do projeto Metro .....	10
<b>2.2 Processo de elaboração do projeto de desvios serviços afetados</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 Análise de dados de cadastro .....	16
2.2.2 Elaboração de plantas de síntese e proposta de solução de desvios.....	17
<b>CAPÍTULO 3. SINTESE DE CONHECIMENTO: REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA TÉCNICA E CIENTÍFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1 Soluções Técnicas Construtivas</b> .....	<b>19</b>
3.1.1 Enquadramento Histórico.....	19
3.1.2 Técnicas de instalação de infraestruturas .....	20
3.1.3 Métodos de execução de infraestruturas enterradas sem abertura de vala.....	22
a) Perfuração Horizontal Dirigida (HDD – “Horizontal Directional Drilling”).....	24
b) Microtunneling.....	26
c) Pipe Jacking.....	27
d) Pipe Bursting.....	29

e) Pipe Ramming.....	30
f) Auger Boring Machine.....	32
3.1.4 Resumo dos métodos trenchless e seu campo de aplicação .....	33
3.1.5 Métodos de execução de infraestruturas enterradas com abertura de vala.....	38
3.1.6 Métodos de identificação e de deteção das infraestruturas.....	39
3.1.7 Resumo dos Métodos construtivos .....	41
<b>3.2 Legislação e outras normas aplicáveis.....</b>	<b>42</b>
<b>CAPITULO 4. ANÁLISE A CASOS INTERNACIONAIS E NACIONAIS.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Metro de São Paulo – Linha Verde 2 – Monotrilho .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2 Metrô do Rio de Janeiro - Entrevista presencial .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3 Metro de superfície versus Metro enterrado nas infraestruturas de subsolo .....</b>	<b>50</b>
4.3.1 Principais implicações do Metro Ligeiro de Superfície.....	50
4.3.2 Principais implicações do Metro Pesado – Enterrado.....	55
<b>CAPITULO 5. ANÁLISE AOS SERVIÇOS AFETADOS - METRO DE LISBOA .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1 Definição de soluções técnicas.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2 Análise comparativa de desvios versus reabilitações .....</b>	<b>67</b>
<b>5.3 Inquéritos às empresas de projeto .....</b>	<b>72</b>
5.3.1 Resultados dos inquéritos aos projetistas .....	72
5.3.2 Análise e Conclusões dos inquéritos.....	78
<b>CAPÍTULO 6. ESTUDO DE CASO: METRO DE LISBOA - DESVIO DO COLECTOR NO TROÇO 98º DA LINHA VERMELHA ORIENTE/AEROPORTO .....</b>	<b>79</b>
<b>6.1 Caracterização do projeto.....</b>	<b>79</b>
<b>6.2 Solução do projeto .....</b>	<b>79</b>
<b>6.3 Estudo de solução alternativa ao projeto proposto.....</b>	<b>88</b>
<b>6.4 Comparação entre as soluções.....</b>	<b>94</b>
<b>CAPITULO 7. APRESENTAÇÃO DE CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>97</b>
<b>7.1 Conclusões.....</b>	<b>97</b>

<b>7.2 Sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>100</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO - PERCENTAGEM DE DESVIOS/REABILITAÇÕES .....</b>	<b>107</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Intervenientes no processo - projeto de desvio das infraestruturas de subsolo .....	3
Figura 2 - Fases de desenvolvimento de um projeto .....	9
Figura 3- Principais componentes analisadas na fase de estudo de viabilidade .....	11
Figura 4 - Principais componentes de estudo que influenciam um projeto baseado no conceito sustentabilidade .....	12
Figura 5 – Faseamento do processo do projeto de desvio das infraestruturas .....	15
Figura 6 - Hierarquia das infraestruturas .....	16
Figura 7 - Suspensão de coletores através de cabos presos a perfis metálicos - Obra de ampliação da estação Saldanha, 2006.....	22
Figura 8 – Furo Piloto - Técnica HDD Drilling .....	25
Figura 9 – Instalação da tubagem – Técnica HDD Drilling.....	25
Figura 10 – Métodos de escavação por Pipe Jacking.....	28
Figura 11 – Instalação do equipamento no poço de ataque – Pipe Jacking .....	28
Figura 12 – Aplicação da técnica Pipe Bursting.....	30
Figura 13 – Método Pipe Ramming e áreas de estaleiro .....	31
Figura 14 – Aplicação de equipamento Auger Boring - Trado mecânico .....	32
Figura 15 - Imagem de identificação de infraestruturas através de georradar .....	40
Figura 16 - Resumo dos métodos construtivos identificados .....	41
Figura 17 - Imagem da construção da via em Monotrilho .....	43
Figura 18 - Extrato de Planta com a indicação das redes públicas levantadas.....	45
Figura 19 - Extrato de tabela descritiva para o levantamento na área da Estação Jardim Planalto .....	46
Figura 20 - Imagem da Linha 4 em construção. ....	47
Figura 21 - Desvio de conduta de água com suspensão sobre a linha de água .....	48
Figura 22 - Pormenor de válvula em conduta desviada .....	49
Figura 23 - Suspensão executada para suportar conduta de água desviada.....	49
Figura 24 - Suspensão física de condutas de cabos de telecomunicações e da rede de incêndios dentro do estaleiro.....	49
Figura 25 - Terraplenagem para permitir a execução da plataforma do Metro ligeiro - Obra Metro Sul do Tejo - Almada .....	51
Figura 26 - Perfil tipo de Metro ligeiro de superfície com catenária lateral .....	51
Figura 27 - Resumo das possíveis interferências do Metro Ligeiro com as infraestruturas. ...	53
Figura 28 - Metro Ligeiro em Praga - Republica Checa.....	54
Figura 29 - Metro Ligeiro em Liberec - Republica Checa.....	54

Figura 30 - Construção da Estação Moscavide -Obra da estação .....	56
Figura 31 - Tipologia dos desvios usuais das infraestruturas em obras.....	58
Figura 32 - Reabilitação de caixa de visita de Telecomunicações Remodelação da Estação Saldanha 1 .....	59
Figura 33 - Desvios de trânsito na Remodelação da Estação Areeiro para permitir os desvios das infraestruturas - Obra de remodelação da Estação Areeiro .....	59
Figura 34 - Apoio físico do coletor com recurso a perfis metálicos e abraçadeiras - Obra Estação de Metro Saldanha .....	61
Figura 35 - Suspensão física do coletor com recurso a perfis metálicos e cabos Obra Estação de Metro Saldanha .....	61
Figura 36 - Condução de água- abertura de vala para reabilitação de juntas - Obra Estação de Metro Areeiro .....	62
Figura 37 - Suspensão física de condutas e cabos de telecomunicações e de eletricidade - Obra Estação de Metro Saldanha .....	64
Figura 38 - Sequência de análise aos desvios das redes de água .....	66
Figura 39 - Estação Areeiro - Estudo comparativo – desvios/reabilitação .....	69
Figura 40 - Estação Moscavide - estudo comparativo – desvios/reabilitação .....	70
Figura 41 - Estação Aeroporto - estudo comparativo – desvios/reabilitação.....	71
Figura 42 - Estudo comparativo entre as 3 estações – desvios/reabilitação .....	71
Figura 43 – Modelo de questionário às empresas de projeto .....	73
Figura 44 - Dificuldades na execução de projetos .....	75
Figura 45 - Métodos de instalação de tubagens mais aplicados.....	76
Figura 46 - Prioridade das ações a desencadear na elaboração dos projetos.....	77
Figura 47 –Fotografia aérea/cadastro da rede – Identificação do coletor existente .....	80
Figura 48 - Perfil do coletor existente a desviar .....	81
Figura 49 - Sequência de cálculo .....	82
Figura 50 –Projeto de desvio do coletor .....	84
Figura 51 – Secção de coletor proposta em projeto (L= 1,5m x H=2,5m) .....	84
Figura 52 – Caracterização do desvio do coletor em planta .....	86
Figura 53 – Esquema de contenção tipo berlinense para contenção das paredes da vala. ..	87
Figura 54 – Exemplos de Poço de ataque para instalação do equipamento de pipejacking	90
Figura 55 – Perfil do coletor proposto (inclinação 0,5 % e diâmetro 2,5 metros).....	90
Figura 56 – Traçado alternativo entre a caixa CP7 e a caixa CP4 – Método Trenchless - Microtunneling - Slurry Machine. ....	91
Figura 57 - Coletor circular em betão armado .....	93
Figura 58 – Esquema ilustrativo do processo microtunneling .....	93

Figura 59 - Resultados Esperados: ao nível das limitações.....	97
Figura 60 - Resultados Esperados: ao nível da inventariação de soluções; ao nível das diferentes entidades .....	98
Figura 61 – Proposta de modelo de questionário a empreiteiro.....	101





## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura da dissertação e objetivos prosseguidos .....	5
Tabela 2 - Técnicas de instalação de condutas sem abertura de vala.....	34
Tabela 3 – Dominio de aplicação das técnicas trenchless.....	36
Tabela 4 – Rede de saneamento, tipos de desvio .....	60
Tabela 5 – Rede de águas – tipos de desvio.....	62
Tabela 6 – Rede elétrica/Telecomunicações, tipos de desvio .....	63
Tabela 7 – Rede de gás, tipos de desvio.....	64
Tabela 8 – Tratamento dos questionários às empresas .....	74
Tabela 9 – Caracterização do coletor existente .....	80
Tabela 10 – Caracterização do coletor existente .....	83
Tabela 11 - Caracterização da extensão de coletor a desviar .....	88
Tabela 12 – Determinação da seção molhada .....	92
Tabela 13 – Caracterização do coletor a construir.....	92
Tabela 14 – Mapa de quantidades/custos – Vala aberta .....	94
Tabela 15 - Mapa de quantidades/custos – Método Trenchless proposto .....	95



## **LISTA DE ACRÓNIMOS**

ANACOM – Autoridade Nacional de Comunicações

EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

HDD – Horizontal Directional Drilling

ONU – Organização das Nações Unidas

TBM – Tunneling Boring Machine



## **CAPÍTULO 1. ENQUADRAMENTO GERAL**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

Para a concretização da obra de uma Estação de Metro, que envolve grandes áreas de escavação em domínio público, ocupado no subsolo por uma grande densidade de infraestruturas de utilidade pública e estruturas edificadas que planimetricamente se prolongam para além dos limites das fachadas dos edifícios, são necessários diversos estudos.

Estes estudos passam por uma identificação exaustiva, suportada em dados de cadastro fornecidos pelas entidades concessionárias que nem sempre estão atualizados e apresentam desvios face à realidade. Uma das informações prestadas pelas concessionárias, nas plantas de cadastro, é exatamente o facto de os dados serem meramente informativos.

No desenvolvimento dos projetos, nas suas várias fases de elaboração, na prossecução do enquadramento de soluções de engenharia que permitam uma melhor exequibilidade em obra, são previstas soluções de desvio para os serviços afetados.

No processo de identificação das soluções que melhor se adequam ao projeto, são identificados constrangimentos que produzem efeitos no desenvolvimento do projeto de arquitetura.

Assim logo na fase dos estudos prévios, é introduzida a informação mais relevante de cadastro das concessionárias. Estão nomeadamente em causa os grandes coletores de drenagem de águas residuais, que pelas suas características funcionais (funcionamento com superfície livre, cotas de implantação, inclinação, elevados diâmetros, etc.), podem condicionar a solução inicialmente prevista para a estrutura da estação.

Surgem então novas soluções de arquitetura e por sua vez soluções estruturais que irão viabilizar a construção da estação.

Na elaboração de um projeto, para além dos resultados diretos, que são a obtenção de um projeto exequível que cumpra os requisitos técnicos e legais, devem ser cada vez mais equacionados os princípios que norteiam a sustentabilidade tanto durante a execução da obra como do produto final.

A escolha dos materiais mais adequados, o modo como serão instalados bem como o planeamento das várias fases de obra, serão aspetos que não poderão ser esquecidos na elaboração de um projeto.

Face ao trabalho desenvolvido nos últimos anos em obras de Metro, justifica-se a necessidade de aprofundar o conhecimento adquirido por via da execução dos projetos, com a atualização de informação relativa a novas tecnologias de execução de infraestruturas.

O projeto tem início na análise aos dados de entrada com a identificação dos cadastros fornecidos pela concessionária, passando em seguida para a definição de traçado de desvio, conforme será desenvolvido no capítulo 2. São identificados os constrangimentos físicos que decorrem da existência de uma nova obra cujo traçado irá interceptar a infraestrutura existente. É nesta fase que se propõe um desvio alternativo para a infraestrutura que viabilize a execução do projeto de traçado de Metro, o qual foi alvo de vários estudos alternativos até chegar a solução de traçado final.

A correta identificação dos serviços existentes na área de intervenção é de importância primordial, pois cabendo no âmbito da atual legislação que regula as obras públicas, uma percentagem muito reduzida passível de ser utilizada em erros e omissões, todos os processos a que se possa recorrer para a correta identificação das redes serão de vital importância.

Assim, caberá às diversas partes intervenientes nas várias fases do processo de desenvolvimento do projeto definir mecanismos que previnam em sede de obra a ocorrência de desvios face ao projetado.

As partes envolvidas no processo estão identificadas na figura 1.

Em sede de projeto, as relações são estabelecidas entre dono de obra e projetista, e entre o projetista e concessionárias. Nos processos de tomada de decisão em opções de projeto que envolvam soluções menos comuns e impliquem maiores custos, o dono de obra é chamado a participar nas reuniões com as concessionárias.

Já em fase de obra todas as entidades mencionadas se voltam a relacionar. O empreiteiro terá de solicitar à concessionária o início dos trabalhos, já que esta terá de organizar e planear os cortes de serviços que permitam dar início aos desvios das infraestruturas. O projetista intervém ao nível da assistência técnica à obra e o dono de obra através da sua fiscalização coordena e acompanha todos os trabalhos, solicitando o cumprimento dos prazos e do projeto.



**Figura 1-** Intervenientes no processo - projeto de desvio das infraestruturas de subsolo

Ao dono de obra cabe desenvolver um caderno de encargos adequado à obra em causa indicando de uma forma clara qual o objeto da prestação de serviços, permitindo ao projetista desenvolver a metodologia de trabalhos de uma forma concreta, em sede de apresentação da sua proposta.

Assim, em fase de projeto e na posse de todos os dados de entrada, quer sejam eles dados técnicos existentes como sejam os elementos topográficos e cadastrais, quer sejam dados relacionados com a necessidade de proceder a subcontratações. Estas desenvolverão os *inputs* necessários ao desenvolvimento do projeto, sendo possível executar o projeto de uma forma concreta consubstanciada na legislação vigente.

À entidade responsável pela elaboração do projeto compete definir soluções exequíveis com o maior grau de fiabilidade possível de modo a viabilizar a quantificação dos trabalhos com a realização de medições e posterior orçamento.

A legislação que norteia a elaboração de projetos de desvios de serviços afetados inclui para além do decreto-lei 18/2008 (código dos contratos públicos) as normas das concessionárias e da administração local.

A portaria 701H de 2008 que informa sobre as várias fases de desenvolvimento do projeto e do âmbito de cada fase refere a necessidade de se proceder à identificação das infraestruturas já ao nível do programa preliminar. Esta identificação justifica-se na medida em que permite

desde a primeira fase do projeto identificar os elementos que possam constituir constrangimentos para a implantação quer seja de um edifício, estrada ou espaço exterior. A identificação destes elementos permitirá elaborar um orçamento geral da obra a fornecer ao dono de obra.

## **1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO E METODOLOGIA**

### **1.2.1 OBJETIVOS**

Os objetivos deste trabalho são identificar as técnicas disponíveis no mercado para a instalação de infraestruturas de subsolo e aplicá-las em projetos de Metro, visando reduzir os tempos de execução, minimizar desvios de trânsito e de um modo geral os inconvenientes para a população que surgiriam na sequência da instalação das infraestruturas em vala aberta.

### **1.2.2 METODOLOGIA**

Neste sentido a metodologia proposta para atingir os objetivos concretiza-se no estudo de caso do desvio do coletor do troço 98 da Linha Vermelha do Metro de Lisboa. Pretende-se transmitir por um lado, as principais dificuldades na elaboração de um projeto de desvio de serviços afetados e por outro identificar os novos métodos e técnicas que garantam a viabilidade dos estudos e conseqüentemente a sua execução em obra.

Paralelamente ao estudo de caso acima referido, são também abordados casos internacionais, cuja análise é efetuada no sentido de complementar o caso português analisado. Neste sentido são abordados os casos do Metro de São Paulo e do Metro do Rio de Janeiro (Brasil).

Relativamente ao projeto de expansão do Metro do Rio de Janeiro em análise nesta dissertação, o estudo de caso foi suportado por uma visita à empresa MetrôRio em Abril de 2014. Nesta visita foi seguido o seguinte plano de trabalho:

- Início do programa, com reunião de apresentação no edifício sede da empresa MetrôRio, Rio de Janeiro;
- Reuniões com diferentes especialidades, no estaleiro da obra de expansão;



- Visita ao trecho em construção, acompanhada por técnicos da obra e empresa MetrôRio;
- Visita ao “centro interativo”;
- Visita a uma das estações do MetrôRio recentemente concluída – Estação Uruguaí.

Foi realizado um inquérito a empresas de projeto, no sentido de identificar as metodologias utilizadas, determinar quais os tipos de desvio mais correntes e perceber as principais dificuldades encontradas pelas empresas de projeto.

Na tabela 1 é apresentado a estrutura do trabalho desenvolvido.

**Tabela 1** – Estrutura da dissertação e objetivos prosseguidos

Capítulos	Objetivo do estudo
<b>CAPÍTULO 1</b> – Enquadramento Geral	- Introduzir o tema e explicar os objetivos e a metodologia aplicada.
<b>CAPÍTULO 2</b> - Serviços afetados: A sustentabilidade no projeto e suas etapas	- Identificar as fases de desenvolvimento do projeto e os elementos necessários para a prossecução do objetivo.
<b>CAPÍTULO 3</b> - Síntese de conhecimento: revisão de bibliográfica técnica e científica	- Identificar os métodos existentes para instalação de condutas, deteção e localização.

**Tabela 1** – Estrutura da dissertação e objetivos prosseguidos (continuação)

Capítulos	Objetivo do estudo
<p><b>CAPÍTULO 4</b> - Casos internacionais e Nacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Metro do Rio de Janeiro;</li> <li>❖ Metro de São Paulo;</li> <li>❖ Metro de Lisboa/Metro enterrado</li> <li>❖ Metro Ligeiro de Superfície.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisar projetos concretizados e em curso;</li> <li>- Detetar principais dificuldades do processo;</li> <li>- Identificar impactos junto de diferentes operadores e população.</li> </ul>
<p><b>CAPÍTULO 5</b> – Análise aos serviços afetados - Metro de Lisboa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Tipos de desvios nas obras de metro</li> <li>❖ Inquéritos a empresas de projeto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar quais os tipos de desvio mais correntes em obras de metro;</li> <li>- Identificar as metodologias utilizadas pelas equipas de projeto através de questionário aplicado a empresas de projeto;</li> <li>- Percecionar as principais dificuldades encontradas pelas empresas de projeto.</li> </ul>
<p><b>CAPÍTULO 6</b> - Estudo de caso</p> <p>Metropolitano de Lisboa Prolongamento da Linha Vermelha – Oriente/Aeroporto</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudar o desvio do coletor para a construção do troço 98º da Linha Vermelha Oriente/Aeroporto</li> <li>- Detetar principais dificuldades do processo;</li> <li>- Propor de solução de projeto alternativa;</li> <li>- Quantificar e comparar as duas soluções.</li> </ul>
<p><b>CAPÍTULO 7</b> – Conclusões e sugestões para trabalhos futuros</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresentar as conclusões desta tese com enfoque na utilização das técnicas de execução de infraestruturas com recurso a métodos de <i>microtunneling</i>.</li> </ul>

No **capítulo 2** serão identificadas e descritas as etapas do projeto de desvio dos serviços afetados. Também os intervenientes em todo o processo e a sua relação são analisados.

No **capítulo 3** identificam-se os métodos e novas tecnologias associadas à deteção e instalação de condutas. Foram analisadas várias técnicas disponíveis no mercado centrando-se o estudo nas técnicas de nova construção por ser esta a situação mais recorrente nos serviços afetados pelas obras de metro.

No **capítulo 4** são apresentados dois casos internacionais que permitirão complementar a base de dados relativa às metodologias mais usadas nos projetos dos desvios de infraestruturas de subsolo. A análise aos casos do Metro do Rio de Janeiro através de entrevista presencial e visita às obras em curso, bem como ao projeto do Metro de São Paulo a decorrer, são relevantes por introduzirem nesta dissertação informação de carácter técnico e tecnológico.

O caso do Metro de Lisboa é abordado no capítulo 5 como introdução ao estudo de caso apresentado no capítulo 6, sendo também base do estudo pois afere características ao nível das tipologias de desvios habitualmente aplicadas a obras de Metro em Lisboa.

O **capítulo 5** vem introduzir na dissertação informação relevante na medida em que para além da análise aos elementos técnicos já realizada no capítulo 3 se considerou uma mais valia introduzir a componente de análise aos métodos aplicados por outros projetistas, de modo a identificar as suas dificuldades e também o grau de aplicação de novas tecnologias.

Assim foi realizado uma auscultação a empresas de projeto tendo sido possível aferir que existe uma preferência pela utilização de técnicas de instalação com abertura de vala. Tal deve-se ao aparente desconhecimento das técnicas de instalação sem abertura de vala, existentes no mercado.

Foram quantificados, por tipo de desvio, de modo a afinar a linha de estudo tentando estabelecer uma correlação entre o tipo de infraestrutura e o desvio aplicável.

O **capítulo 6** apresentará um estudo de caso aplicado a uma obra do Metro de Lisboa relativa ao desvio de um coletor. O estudo é concluído através de uma análise comparativa entre dois métodos, o método de vala aberta e um método alternativo aplicando tecnologia *trenchless*, sendo objetivo aferir qual a melhor solução a aplicar em projeto.

Por fim, no **capítulo 7** serão apresentadas as conclusões e emitidas algumas indicações de acordo com as lições aprendidas, visando a atualização de conhecimentos e de adoção de novas ferramentas necessárias e essenciais ao desenvolvimento de projetos futuros.

## **CAPÍTULO 2. SERVIÇOS AFETADOS: A SUSTENTABILIDADE NO PROJETO E SUAS ETAPAS**

### **2.1 A SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE DESVIO DAS INFRAESTRUTURAS DE SUBSOLO**

Pretende-se neste subcapítulo descrever e caracterizar o processo referente aos serviços afetados aplicado aos sistemas de transportes numa perspetiva de sustentabilidade dos projetos a desenvolver neste âmbito.

#### **2.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO APLICADO AOS SISTEMAS DE TRANSPORTES**

Um sistema de transportes de Metro Pesado, de Metro Ligeiro ou Monotrilho é em si mesmo um sistema sustentável. Esta afirmação baseia-se no facto de que o objetivo principal para a sua implementação será a redução de deslocações nos eixos rodoviários.

Sendo um dos objetivos do presente trabalho identificar novas soluções com aplicabilidade à construção das infraestruturas de subsolo, que minimizem as consequências para a população em geral, justifica-se analisar o conceito sustentabilidade.

A componente sustentabilidade deverá estar presente em todas as definições e concepção do processo. O projetista deverá actualizar-se e aplicar os novos conceitos associados à construção sustentável. Os projetos deverão incluir soluções de modo a ter em consideração a aplicação dos métodos mais adequados em função do local, do tipo de terreno, da manutenção da acessibilidade das populações e da redução dos factores que contribuem para agravar a qualidade do meio ambiente.

A crescente oferta de produtos que cumprem requisitos ambientais devem ser equacionados pela equipa de trabalho ao propor os materiais e equipamentos que irão ser instalados em obra.

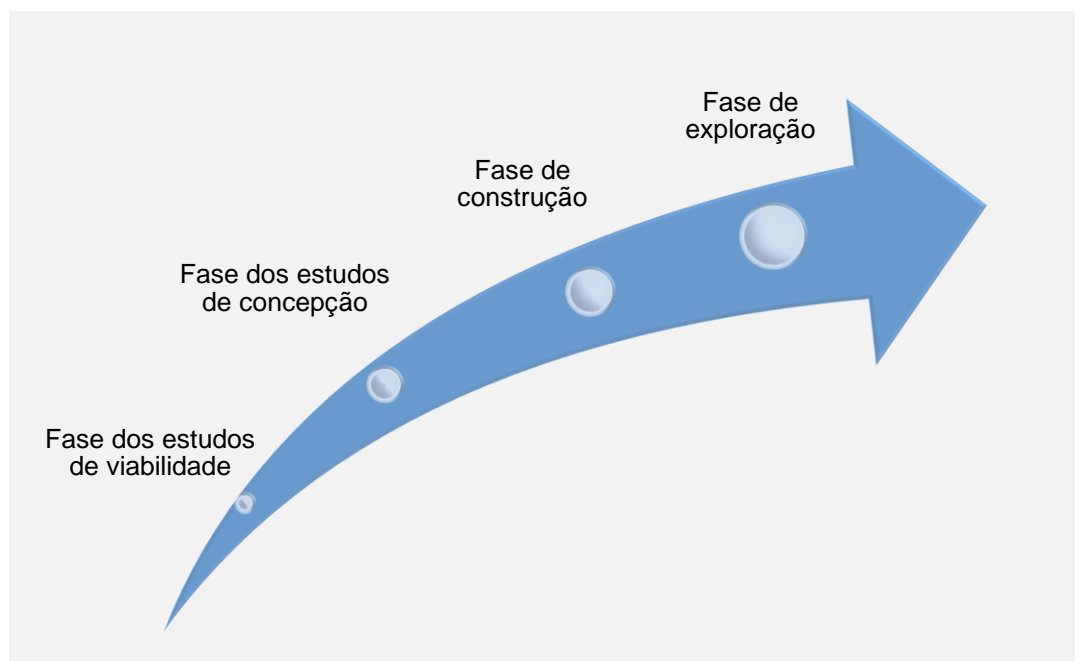
A sustentabilidade poderá apresentar-se segundo várias vertentes:

- Ambiental;
- Social;

- Económica;
- Tecnológica;

O conceito sustentabilidade tem vindo a ser desenvolvido e adaptado segundo várias metodologias em diversos países sendo um conceito que não será à partida possível de estabilizar no espaço e no tempo<sup>1</sup>. As características de cada país, desde a sua capacidade económica, a própria morfologia, geotecnia, hidrologia condicionam à partida as prioridades nas soluções sustentáveis a adoptar nos sectores de desenvolvimento que para cada país serão mais condicionantes e que permitirão fomentar um maior crescimento económico reduzindo os impactos negativos sobre o ambiente e sobre a população.

No que concerne à aplicação do conceito sustentabilidade na área dos projetos de metro pesado ou ligeiro, este deverá estar nos vários estágios de desenvolvimento do projeto indicadas na figura 2.



**Figura 2** - Fases de desenvolvimento de um projeto

O conceito sustentabilidade deverá assim estar presente na base da elaboração do projecto.

---

<sup>1</sup> A primeira definição de sustentabilidade terá surgido em 1987 com o Brundtland Report (ONU) em o desenvolvimento sustentável seria aquele que permitia atender às necessidades do presente sem comprometer as das gerações futuras.

Esta assunção irá ter uma contribuição decisiva para a implementação das soluções sustentáveis que serão assumidas na fase de construção e colocadas posteriormente em exploração.

Na fase de projeto está na responsabilidade do projetista mais do que adotar os programas base já desenvolvidos, promover uma análise crítica dos elementos disponíveis e tomar como fundamental a escolha das soluções técnicas que melhor correspondam não só às necessidades do cliente como também às necessidades de sustentabilidade do próprio projeto.

## 2.1.2 FASEAMENTO DO PROJETO METRO

Nos parágrafos seguintes serão descritas as etapas de um projeto com aplicação a projetos de Metro.

**1ª Fase** - Na fase inicial de estudo de viabilidade são definidas alternativas de traçado da linha de Metro (que compreende os tuneis, as estações e os poços de ventilação de meio troço), de acordo com os dados de entrada tais como os estudos de procura, os elementos cadastrais e topográficos e as soluções tecnológicas disponíveis no mercado conforme identificado na figura 3, sendo o objectivo final o da escolha do melhor traçado que permita:

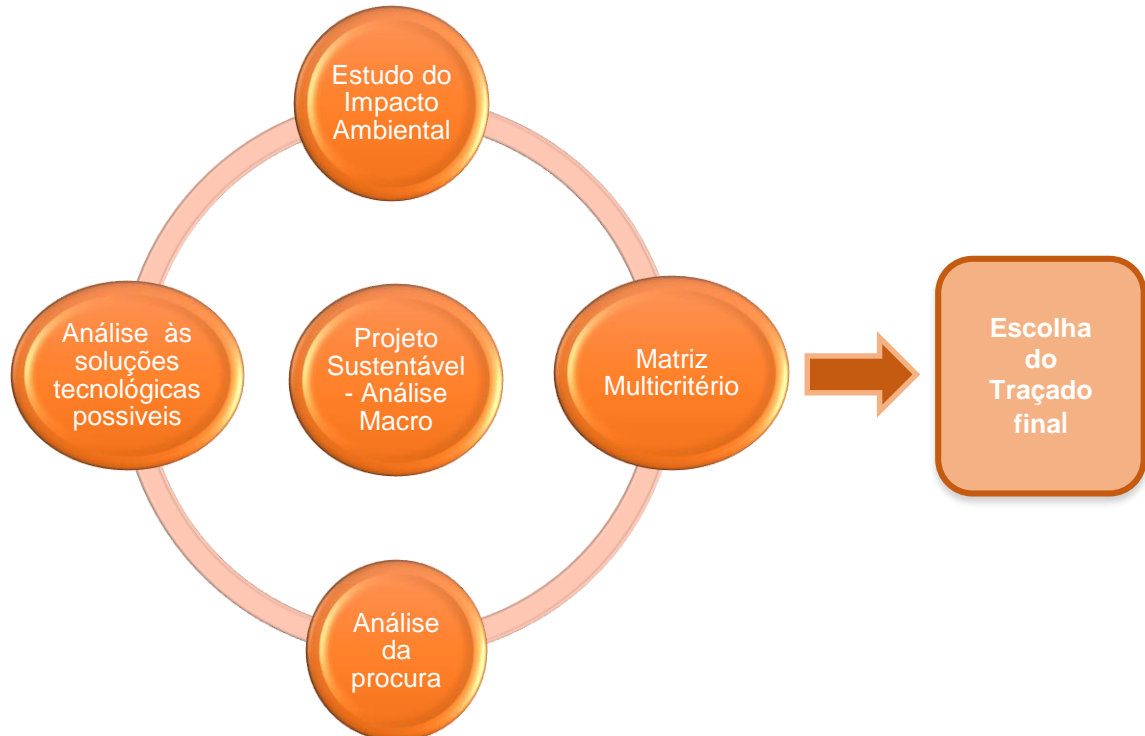
- Servir a população;
- Menor impacto à superfície;
- Menores impactos no subsolo - evitando-se a interferência com domínios como os lençóis freáticos, domínios arqueológicos, domínios das grandes infraestruturas de serviços.

São vários os agentes intervenientes no processo da modelação de um novo sistema de transportes. O governo, a sociedade civil, as empresas especializadas em serviços tecnológicos são chamados a participar e dar o seu contributo na definição da melhor opção para a construção da linha de Metro. Através dos estudos de impacto ambiental, os quais são multidisciplinares, analisam-se as várias áreas envolvidas deliniando estratégias de minimização dos impactos da implantação de uma linha de Metro e definem-se ações orientadoras de soluções integradas e ambientalmente responsáveis.

Numa etapa final do processo de estudo, o traçado que será mais exequível, do ponto de vista económico de implementação no terreno e que contempla as tecnologias mais favoráveis do ponto de vista ambiental é decidido numa análise multicritério (Matriz multicritério). Esta análise tem subjacente o conhecimento adquirido pelos especialistas das áreas intervenientes num sistema de transportes, desde o especialista na área de exploração que contribui com as informações técnicas e de viabilidade técnico – económicas do sistema, como também os especialistas do material rolante, via, entre outras que constituem um projecto de Metro. São definidos uma série de critérios que permitem comparar as várias alternativas de traçado, tal como o comprimento da linha ou a existência de interferência com infraestruturas de grandes dimensões.

Nesta fase a análise das infraestruturas de subsolo torna-se fundamental, pois se em muitos casos é possível proceder aos desvios das infraestruturas, noutros, as infraestruturas existentes poderão mesmo inviabilizar um traçado ou provocar alterações importantes nos corredores de traçado previstos inicialmente.

Estes aspetos, que adotam um carácter “Macro” (figura 3) têm em vista a garantia da sustentabilidade do sistema.



**Figura 3-** Principais componentes analisadas na fase de estudo de viabilidade

A nível “Micro”, ou seja ao nível das especificidades das várias especialidades de um projeto conforme identificado na figura 4, **na fase 2** em que há lugar à elaboração do projeto propriamente dito, são de primordial importância, para o garante da sustentabilidade de todo o sistema de transporte, a opção por soluções que elejam tecnologias limpas, que recorram a menores consumos de energia elétrica (equipamentos com certificação energética mais elevada).

## 2ª Fase - Desenvolvimento dos projetos nas várias áreas de especialidades

Nesta fase pretende-se um projeto de engenharia que para além do seu dimensionamento proceda à seleção de equipamentos e soluções de instalação mais adequadas, que integrem a possibilidade de intersecção entre os sistemas de acordo com o cumprimento das normas e leis em vigor.



Figura 4 - Principais componentes de estudo que influenciam um projeto baseado no conceito sustentabilidade

Efectivamente e como referenciado na figura 4, o projectista tem a seu cargo a apresentação de soluções que cumpram não só as características técnicas como também assegurar que estas se adequem do ponto de vista da sustentabilidade do sistema obtendo-se menores impactos sobre o meio ambiente, optando-se por equipamentos mais económicos do ponto de vista energético.



Na escolha dos materiais e depois na sua implementação deverão ser seguidos critérios de garantia da qualidade baseados na certificação dos produtos atribuída por empresas credenciadas para o efeito e que garantem que estão ser cumpridas as normas.

Na concretização do projecto são tidos em consideração diversos *inputs*:

1º - São recolhidos os dados de entrada como a cartografia, as condições geotécnicas, hidrogeológicas, as características do edifício a construir, as áreas de ocupação de um edifício, as necessidades do dono de obra, as leis e regulamentos em vigor, nas diversas áreas do projeto;

2º - São sistematizados os cálculos nas diversas especialidades de engenharia e realizadas as memórias descritivas e respectivas plantas.

O projetista deve selecionar as características dos equipamentos e materiais que cumpram os requisitos dimensionais e técnicos do projecto, pensando sempre na sua aplicabilidade em fase de construção.

- ✓ As tecnologias limpas através da geração de calor para aquecimento de águas por energia solar ou por energia da terra – geotermia; o reuso de águas pluviais para lavagens ou rega ou mesmo o tratamento de águas domésticas para posterior utilização em regas, são já muitas vezes imposições legais dos municípios e que deverão ser analisadas do ponto de vista económico e também sustentável.
- ✓ Os materiais de construção são já em grande percentagem certificados e possuem características compatíveis com a sustentabilidade de construção, pela facilidade de aplicação e também ambiental por serem executados com materiais cada vez mais independentes de produtos derivados da exploração massiva da natureza.<sup>2</sup>

Quando não é possível ao projetista optar por outros materiais tendo que incidir a sua escolha em materiais derivados dos plásticos por exemplo, poderá canalizar o projeto para soluções mais sustentáveis do ponto de vista da durabilidade do sistema, recorrendo por exemplo a parâmetros de cálculo que minimizem o desgaste dos equipamentos e materiais.

---

<sup>2</sup>Torgal e Jalali (2010), investigador da Universidade do Minho, Portugal em “**Eco-eficiência dos materiais de construção**”, caracteriza em diversos tipos, os materiais que podem ser considerados sustentáveis. Em Portugal existem investigações sobre ligantes alternativos ao cimento Portland, com baixas emissões de CO<sub>2</sub>. Materiais mais duráveis geopoliméricos quando ensaiados em ácido sulfúrico apresentam menos massa quando comparados com os betões correntes à base de cimento Portland. Os materiais obtidos a partir de cinzas volantes e escórias de alto forno podem também constituir solução alternativa aos cimentos convencionais, quando incorporados nas composição dos cimentos nas percentagens indicados pelos estudos científicos que têm vindo a ser desenvolvidos.

Quando comparados os custos do investimento inicial com os custos de manutenção, do ponto de vista da durabilidade, poderá verificar-se que as soluções mais sustentáveis não são necessariamente as mais caras.

**3º** - São elaboradas as listas de quantidades e respectivos orçamentos.

Entre os pontos 2 e 3 existe mais do que uma sequência de processo, existe uma correlação baseada no facto de que para quantificar um material ou equipamento é necessário conhecer as suas características para o poder orçar.

O projetista deve assim assegurar que, através da descrição dos materiais, incluída na especificação técnica, será possível ao empreiteiro propor o material que terá de aplicar à posteriori na obra.

### **3ª Fase - Fase de construção**

- Análise criteriosa de soluções alternativas do projeto;
- Implementação em obra de métodos de construção sustentáveis.

### **4ª Fase – Fase de exploração**

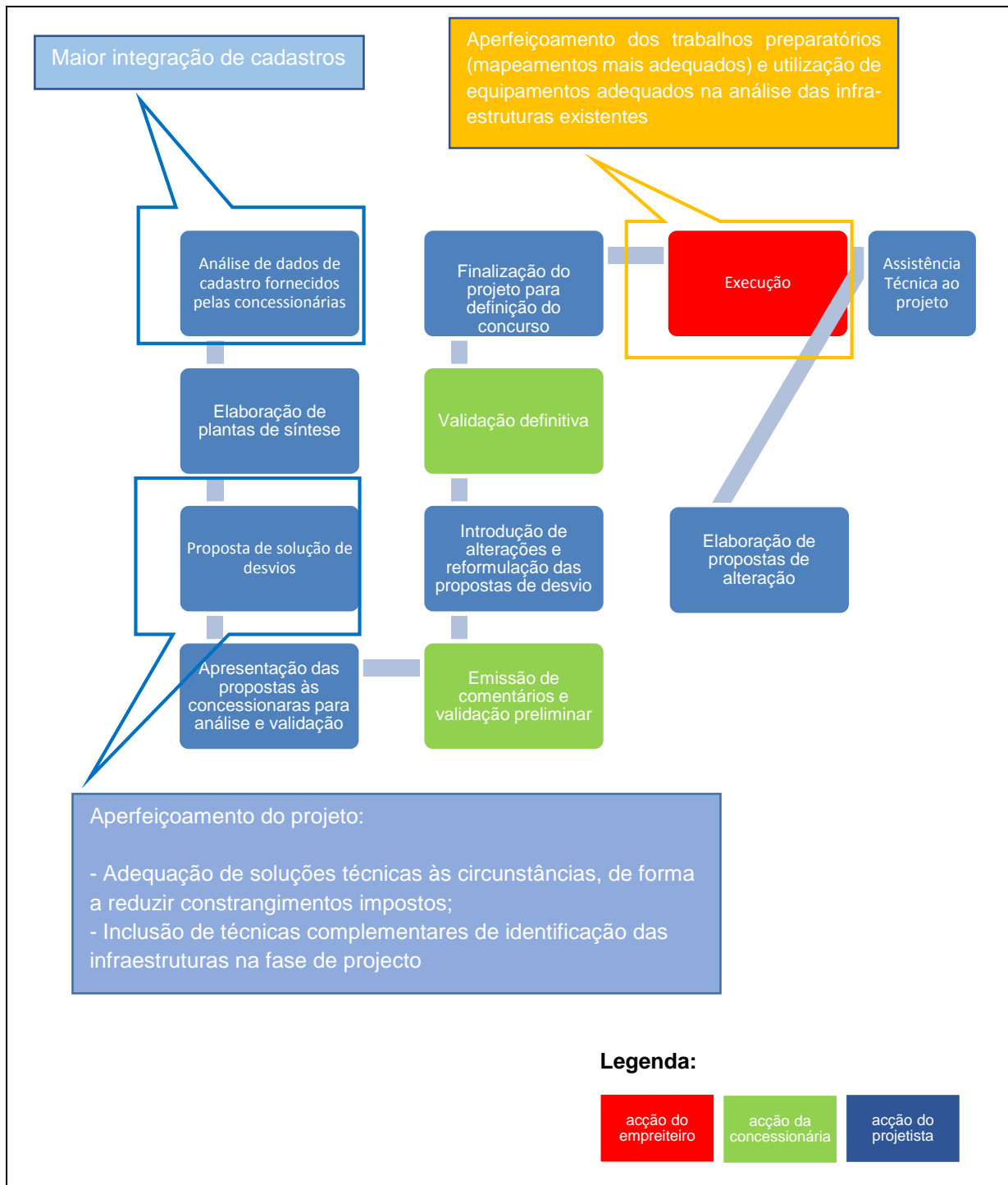
Na fase de exploração e para que se torne efetivo o sistema concebido, as equipas de manutenção têm um papel primordial conseguindo-se uma otimização dos custos de operação e a racionalização da energia dos equipamentos através de formação adequada destas equipas.

Também nesta fase a aplicação de princípios sustentáveis é essencial. A passagem de conhecimento, a criação de métodos e estruturas de trabalho que obriguem a uma sistematização dos passos de um processo, conduzem à minimização dos tempos de operação de um sistema, reduzem o erro associado à operação garantindo uma maior fiabilidade do sistema, durabilidade e portanto a uma maior sustentabilidade do mesmo.

## **2.2 PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO PROJETO DE DESVIOS SERVIÇOS AFETADOS**

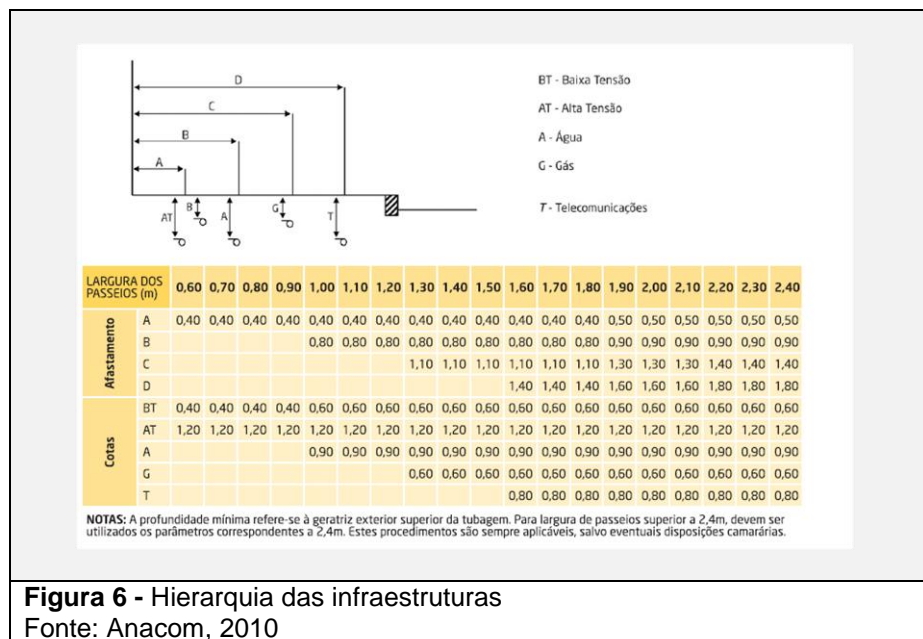
Na figura 5 são ilustradas as principais etapas de desenvolvimento do processo de desvios das infraestruturas. Estão evidenciadas as duas fases de contacto com as concessionárias consideradas essenciais para o correto desenvolvimento do projeto (emissão de comentários e validação preliminar; validação definitiva).

Na sequência do processo em cada uma destas fases, são vários os intervenientes implicados, havendo lugar a interfaces e tramitação de informação, aprovações de soluções, validações de orçamentos, entre dono de obra, projetista, concessionárias, fiscalização e empreiteiro.



**Figura 5** – Faseamento do processo do projeto de desvio das infraestruturas

Face ao elevado número de infraestruturas que usam o subsolo surgiu a necessidade de criar uma hierarquização no espaço planimétrica e altimetricamente (figura 6). Pretende-se assim garantir que cada infraestrutura tem um espaço dedicado e que se garantem distâncias mínimas entre as infraestruturas, visando segurança e futura manutenção e/ou reabilitação.



### 2.2.1 ANÁLISE DE DADOS DE CADASTRO

Na fase de estudo preliminar do projeto de arquitetura de uma estação de Metro e porque as infraestruturas de subsolo podem representar um entrave significativo às soluções conceptuais, são solicitadas às várias concessionárias os cadastros das suas infraestruturas.

Os dados são entregues sob suporte papel ou digital. A informação é transposta para as plantas de projeto com a base de implantação da estação de Metro.

Nesta fase, muitas são as dúvidas que surgem nomeadamente no que diz respeito à fiabilidade das informações prestadas pelas concessionárias já que as mesmas não estão cotadas sendo meramente indicativas como aliás muitas das concessionárias mencionam nas próprias plantas. A este propósito Roger *et al.* (2012), apresenta uma proposta de plataforma universal para o mapeamento das infraestruturas. Nesta primeira fase do projeto

é essencial criar metodologias de abordagem à análise das infraestruturas existentes, que pela experiência desenvolvida ao longo dos últimos anos nesta temática consistem em:

1 – Traçar as redes na planta de implantação;

2 – Elaborar levantamentos topográficos para definição exata das caixas de visita e sempre que possível obter as cotas de soleira das caixas e tubagens quer sejam de coletores, águas ou outras infraestruturas;

3 – Analisar em conjunto com o projeto de arquitetura as situações de conflito e que possam inviabilizar a solução de projeto que está a ser desenvolvida.

## 2.2.2 ELABORAÇÃO DE PLANTAS DE SÍNTESE E PROPOSTA DE SOLUÇÃO DE DESVIOS

A partir dos dados de cadastro complementados com a informação topográfica, elaboram-se as plantas com as redes existentes e as plantas com as propostas de desvio, as quais servirão de base de discussão com as diversas concessionárias. A este nível, o projetista, conhecedor da conceção geral do projeto da estação de Metro, das interferências que se pretendem resolver, estabelece quais as infraestruturas que poderão condicionar a obra e que serão alvo de um desvio definitivo para local distinto do existente.

Nesta fase são de extrema importância as reuniões que são tidas com as concessionárias, as quais se realizam de forma individual e de modo a obter das mesmas um pré-acordo para o desvio que está a ser proposto.

Na posse dos elementos de projeto, plantas e memória descritiva, as concessionárias emitem a sua análise e aprovação ou comentários ao projeto elaborado.

Após ouvidas todas as partes interessadas e executadas as alterações necessárias decorrentes dos pedidos das concessionárias, são emitidas as peças de projeto finais sobre as quais são elaborados os mapas de quantidades e estimativas.

Existem aspetos comuns que são abordados em qualquer projeto e que se sistematizam nas tabelas apresentadas no capítulo 4, podendo estas tabelas constituir uma base para trabalhos futuros.

A sistematização e a organização de processos conducentes à produção de um projeto constituem um modo eficaz e pouco oneroso para definição de pontos críticos no desenvolvimento de um projeto. No capítulo 4 serão identificados, para os vários tipos de infraestruturas, consoante o tipo de desvio, quais os materiais e soluções técnicas mais indicadas.

## **CAPITULO 3. SINTESE DE CONHECIMENTO: REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA TÉCNICA E CIENTÍFICA**

Alguns centros de investigação internacionais têm vindo a desenvolver soluções para a reabilitação e nova construção de infraestruturas, quer pela aplicação de novas tecnologias de intervenção, quer pela aplicação de diferentes materiais, de modo a tornar mais célere a execução dos desvios, minimizando as intervenções à superfície associadas aos desvios dos serviços afetados.

No desenvolvimento deste trabalho foram consultados vários documentos e realizadas reuniões de trabalho com intervenientes ativos nos processos de desvio de ocupações de subsolo.

Foram consultados diversos artigos científicos na área de métodos e tecnologias diversas no campo da perfuração dirigida e deteção das infraestruturas.

As normas técnicas das várias concessionárias bem como o guia técnico da ERSAR foram fundamentais para a perceção das restrições e condições de execução impostas a cada tipo de infraestrutura.

Também as revistas técnicas e catálogos de fornecedores de equipamentos e prestação de serviços nesta área foram essenciais para definir e selecionar uma série de métodos com maior aplicação atualmente em Portugal.

### **3.1 SOLUÇÕES TÉCNICAS CONSTRUTIVAS**

#### **3.1.1 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO**

Ao longo dos séculos as infraestruturas para transporte de fluidos têm vindo a ser aperfeiçoadas, tendo tido o seu início com a construção dos canais que transportavam água de forma gravítica. São exemplo disso, os tuneis escavados sob o rio Eufrades com cerca de 3,6 metros de diâmetro e 1 km de comprimento, há 4000 anos na Babilonia, tal como os túneis associados aos aquedutos romanos construídos há 1800 anos e reconstruídos em 1925 para transporte de água (Vieira, 2003).

Em meados do século XIX com a falta de salubridade das águas e a deficiente condução e tratamento das águas residuais, surgiram uma série de epidemias de cólera em Londres. As constantes descargas no rio Thames, o qual era também origem da água para consumo,

obrigaram a repensar todo o sistema, começando uma nova fase na estratégia para os sistemas de drenagem. Foram planeados vários e novos coletores, construídos a maiores profundidades com mais de 18 metros, tendo-se optado por executar tuneis, por se considerar neste caso ser uma construção mais económica (Kramer *et al.*, 1998).

No século XVII foram construídas as primeiras condutas de água em pressão, que serviam o palácio de Versailles. Algumas destas condutas construídas em ferro fundido, estão ainda em funcionamento (Kramer *et al.*, 1998).

Já no século XX foram desenvolvidos sistemas de reabilitação (Perez, 2009), pela primeira vez aplicados na Europa, como por exemplo o *Pipe bursting*<sup>3</sup> o qual foi desenvolvido nos anos 70 em Inglaterra e depois no início dos anos 80 implementado na América do Norte (IPBA, 2012).

Em 1975 foi desenvolvida no Japão a tecnologia para o método *Microtunnelling* (Abraham *et al.*, 2012) que permite a instalação de condutas sem a abertura de vala e em variadas condições de solos.

Nos pontos seguintes deste capítulo será desenvolvido o tema das soluções técnicas para instalação de infraestruturas, sendo o principal enfoque dado às tecnologias *Trenchless*<sup>4</sup>.

### 3.1.2 TÉCNICAS DE INSTALAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS

Várias são as técnicas disponíveis aplicáveis na instalação de condutas das diversas infraestruturas de subsolo.

Assim cabe neste ponto fazer uma revisão da literatura de técnicas de construção e intervenção devido à necessidade de desvio, fazendo-se de seguida o balanço das mais comumente utilizadas nas obras das estações de Metro. Tem-se verificado, conforme será explicado no capítulo 5 que as obras de Metro afetam as infraestruturas existentes sendo por norma necessário desviá-las. No entanto numa pequena percentagem das intervenções nas infraestruturas, verifica-se a necessidade de as manter no mesmo local, sendo realizada a sua reabilitação de modo a permitir a execução da obra de Metro na sua proximidade.

Assim para as técnicas existentes poderá ser aplicável o conceito de nova construção ou de reabilitação. Para além do tipo de obra, o material da tubagem e a infraestrutura irão

---

<sup>3</sup> Este método aplica uma força que destrói a tubagem existente e alarga de modo a possibilitar a colocação de uma tubagem nova. Método muito utilizado inicialmente em esgoto industrial.

<sup>4</sup> Nas tecnologias trenchless com o próprio nome indica, não existe a necessidade de recurso a abertura de vala, estando disponíveis no mercado diversos equipamentos que permitem a instalação das infraestruturas e de acordo com o tipo de solo e profundidades (Abraham *et al.*, 2012).



condicionar a técnica a adotar, pois a vasta panóplia de técnicas existentes apresentam campos de aplicação distintos.

Neste campo Almeida e Cardoso (2010), refere-se à intervenção nas infraestruturas como técnicas de reabilitação. Distingue assim as técnicas em:

- ❖ Técnicas de renovação
- ❖ Técnicas de substituição
- ❖ Técnicas de reparação

De acordo com as especificidades das obras do Metro de Lisboa, as técnicas que têm vindo a ser mais utilizadas são as que decorrem da substituição total das condutas. A opção por substituição total da conduta e não sua renovação ou reparação prende-se com constrangimentos físicos e de faseamento das obras, não compatíveis com a coexistência da infraestrutura na posição inicial.

No entanto, uma não menos importante técnica utilizada no domínio dos desvios das infraestruturas de subsolo relaciona-se com a necessidade de suspender fisicamente as condutas novas ou existentes, de modo a permitir a execução da obra da linha de Metro. Neste caso as infraestruturas continuam em funcionamento durante o decorrer da obra. Um maior cuidado é requerido, face à sua exposição solar e a agentes exteriores como os equipamentos de obra. Deverão portanto ser tomadas medidas especiais de proteção que garantam a manutenção de boas condições físicas das infraestruturas.

Esta suspensão poderá passar pela criação de estruturas com recurso muitas vezes a perfis metálicos e cabos onde ficam suspensas as infraestruturas, conforme ilustrado da Figura 7.



**Figura 7** - Suspensão de coletores através de cabos presos a perfis metálicos - Obra de ampliação da estação Saldanha, 2006  
Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult

### 3.1.3 MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE INFRAESTRUTURAS ENTERRADAS SEM ABERTURA DE VALA

Os métodos de execução de condutas sem abertura de vala (trenchless) têm vindo a ser amplamente utilizados em países como a China e Estados Unidos da América, nos últimos 10 anos onde a elevada densidade de edificações reduz a hipótese de aplicação dos métodos tradicionais com a abertura de vala.

Na sua aplicação são considerados diversos dados de entrada e estudos preliminares. A estabilidade dos terrenos terá de ser necessariamente verificada, sendo para tal necessário recorrer aos estudos geotécnicos.

- É necessário verificar a presença de níveis freáticos, o tipo de solo que será afetado pela escavação (mais ou menos coesivo).
- Ao nível da conceção do projeto deverão ser equacionadas as técnicas mais indicadas para a identificação do tipo de terreno, incluindo ensaios cone estático de penetração, etc. São vários os parâmetros a analisar sugeridos pela bibliografia da especialidade em função do tipo de terreno detetado pelos estudos geológicos, dos quais se destacam a presença de gases em materiais de enchimento ou rochas, ou a

determinação do ângulo de fricção para qualquer um dos tipos de solo (coesivo, não coesivo, solos de mistura, material de enchimento, rocha). Estes parâmetros entre outros devem ser analisados antes que qualquer definição de solução para a utilização de tecnologia *trenchless* (Syachrani *et al.*, 2010).

Estes métodos apresentam inúmeras vantagens das quais se destacam:

- ✓ Redução de inconvenientes para a comunidade pelo menor impacto nos desvios de trânsito e na circulação pedonal,
- ✓ Segurança – não obrigando à execução de valas que para profundidades a partir dos 2 metros e dependendo do tipo de terreno, obrigará à instalação de estruturas de contenção próprias que garantam a segurança dos trabalhadores (de acordo com o Decreto-Lei n.º 41 821, de 11 de agosto de 1958).

Apresentam como desvantagens:

- ✓ Vibrações transmitidas à envolvente podendo afetar outras instalações e edifícios, produzidas pelo impacto provocado pelas máquinas que executam a instalação das condutas;
- ✓ Custo associado aos equipamentos utilizados, sendo muitas vezes necessário recorrer, por subcontratação, a empresas especializadas;
- ✓ Necessidade de pelo menos duas áreas de estaleiro para execução dos poços de ataque<sup>5</sup>,
- ✓ Necessidade de preparação prévia das tubagens e de união de tubagens;
- ✓ Necessidade de verificação das condições geotécnicas - definição dos perfis geológicos para determinação das condições para a perfuração;
- ✓ A aplicação de técnicas de perfuração assistida será de difícil implementação quando existem outras infraestruturas na proximidade da sua instalação.

Nas técnicas de *trenchless* em que há lugar à reabilitação das infraestruturas de drenagem deverão, segundo Syachrani *et al.*, (2010), ser analisados os fatores de risco tais como as

---

<sup>5</sup> Os poços de ataque são constituídos por áreas associadas ao início e fim da extensão de tubagem a executar, e são essenciais para o início dos trabalhos. A sua dimensão dependerá da dimensão da conduta a instalar e da profundidade.

condições atuais da conduta ou quais os caudais afluentes no momento em que será realizada a obra.

Nas alíneas seguintes serão descritos alguns dos métodos atualmente disponíveis no mercado sem recurso a abertura de vala.

Foram analisados *sites* de fornecimento de serviços de instalação de condutas sem abertura de vala, tendo-se constatado que na sua maioria as empresas realizam trabalhos de perfuração assistida ou perfuração horizontal.

Os projetos onde mais têm sido aplicadas estas técnicas relacionam-se com a construção de grandes coletores e adutoras para clientes que fazem parte dos grupos que gerem as águas e as redes de saneamento em Portugal.

Os elementos relativos à descrição dos métodos foram obtidos por consulta a diversos artigos sobre a temática, publicados em revistas científicas.

#### a) **Perfuração Horizontal Dirigida (HDD – “Horizontal Directional Drilling”)**

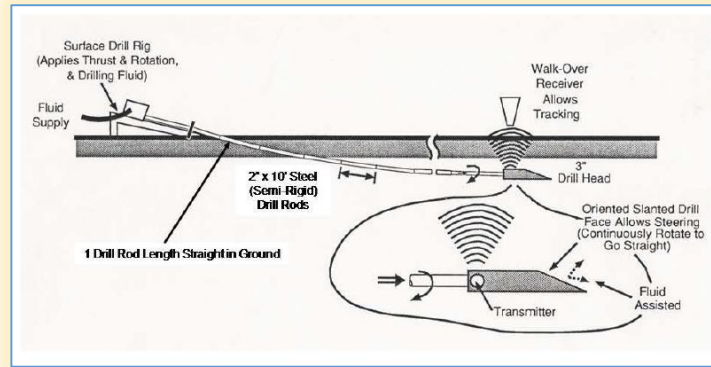
Inicialmente este método era aplicado à indústria petrolífera, utilizado nos anos 70. A aplicação deste método e o desenvolvimento da tecnologia registaram uma forte evolução na China, na década de 90, motivada pela elevada densidade populacional e de tráfego levando à necessidade de evitar ou reduzir as intervenções à superfície (Baosong e Najafi, 2007).

##### a.1) Domínio de aplicação

É um método indicado para aplicação em solos com características aluvionares, podendo ser aplicado em extensões até 2000 metros de comprimento e para diâmetros de cerca de 1300 mm. Este método pode ainda ser aplicável a solo rochoso.

##### a.2) Processo de execução

O método consiste numa primeira fase na cravação de um furo piloto (figura 8), com o auxílio por exemplo de técnicas de hidrojecto. Como a ferramenta de corte é excêntrica, durante a perfuração há lugar a um desvio controlado. Este controlo é conseguido recorrendo a sensores eletromagnéticos que estão na cabeça de corte os quais possibilitam a verificação em tempo real do posicionamento da cabeça de cravação.

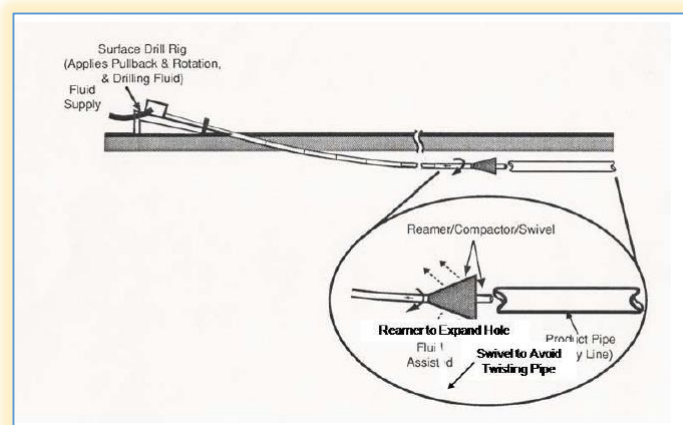


**Figura 8 – Furo Piloto - Técnica HDD Drilling**  
 Fonte: Slavin, 2009

Para a execução da escavação é necessário a injeção de bentonites ou polímeros a alta pressão. Com este fluido, é executado o corte por jato para além de outras funções como por exemplo a estabilização do furo como prevenção do colapso.

Na segunda fase deste método é feito o alargamento da secção. É substituída a cabeça biselada de perfuração pela cabeça de rotação/tração, alargando o furo para um diâmetro superior. Os diâmetros finais pretendidos obtêm-se à custa de alargamentos sucessivos. O tipo de alargador é adaptado ao tipo de terreno a perfurar (Slavin, 2009).

Na última fase é realizada a tração da conduta. Instala-se uma cabeça de limpeza à conduta e desta forma é executada a tração da mesma (figura 9).



**Figura 9 – Instalação da tubagem – Técnica HDD Drilling**  
 Fonte: Slavin, 2009

### a.3) Vantagens

Apresenta como vantagem relativamente a outros métodos de perfuração, não ser necessário a abertura de poços de ataque, reduzindo deste modo as áreas de estaleiro;

Permite alcançar um maior comprimento de instalação que outro método não destrutivo.

### a.4) Desvantagens

Para pequenas profundidades pode ocorrer a movimentação do solo;

Os tubos a instalar deverão ter elevada resistência à tração axial (Abraham *et al.*, 2002).

## b) **Microtunneling**

### b.1) Domínio de aplicação

De acordo com a sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE), este método teve origem no Japão em 1975 (Abraham *et al.*, 2002). Trata-se de um sistema comandado remotamente e recorrendo a equipamento de *pipejacking* (sistemas que aplicam forças permitindo a cravação dos tubos).

Este método é aplicado na construção de coletores, condutas de água e gás. Pode ser aplicado para diâmetros entre os 250 mm e os 3500 mm, permitindo o uso de diversos tipos de materiais na instalação das condutas, desde betão armado até aço, compostas com polietileno (Baosong e Najafi., 2007).

### b.2) Processo de execução

O recurso a esse método implica a execução de poços de ataque no início e final da extensão de infraestrutura a construir, por onde entrarão os equipamentos e tubagem.

É também necessário prever uma área de estaleiro para a instalação dos grupos de compressão (*pipejacking*), equipamentos de controlo do equipamento e também dos tanques com água para arrefecimento dos sistemas.

A conduta é instalada troço a troço, cravada após a cabeça de corte perfurar o terreno.

O alinhamento da conduta é controlado por laser. Toda a operação é controlada a partir do contentor de controlo onde estão localizadas os comandos de todo o processo, não se tornando necessário a existência de trabalhadores na conduta.

Os avanços diários conseguidos com este método dependem naturalmente do tipo de solo atravessado, podendo atingir rendimentos entre 9 a 18 m/dia.

### b.3) Vantagens

Reduz o movimento dos terrenos ao mínimo;

Reduz a perturbação para a população em geral;

Pode ser aplicado com a existência de níveis freáticos;

Tempos de construção reduzidos;

Não é necessária a entrada e trabalhadores dentro do túnel.

### b.4) Desvantagens

Não permite a utilização de tubos flexíveis tais como o PVC;

É necessário a execução de poço de entrada e de saída (Abraham *et al*, 2002).

## c) **Pipe Jacking**

### c.1) Domínio de aplicação

Este método tem aplicação em novas condutas de drenagem, substituição de condutas de gás, águas, telecomunicações, oleodutos.

É um método de *microtunneling* que não tem limite teórico para implementação do processo. É aplicável entre os 600 mm os 4200 mm (Baosong e Najafi, 2007).

Potencia menor movimento de terras, pode ser utilizado com vários tipos de solo. O método é adaptável e aplicável em solos coesivos e não coesivos, com ou sem água, em rocha, ou condições mistas.

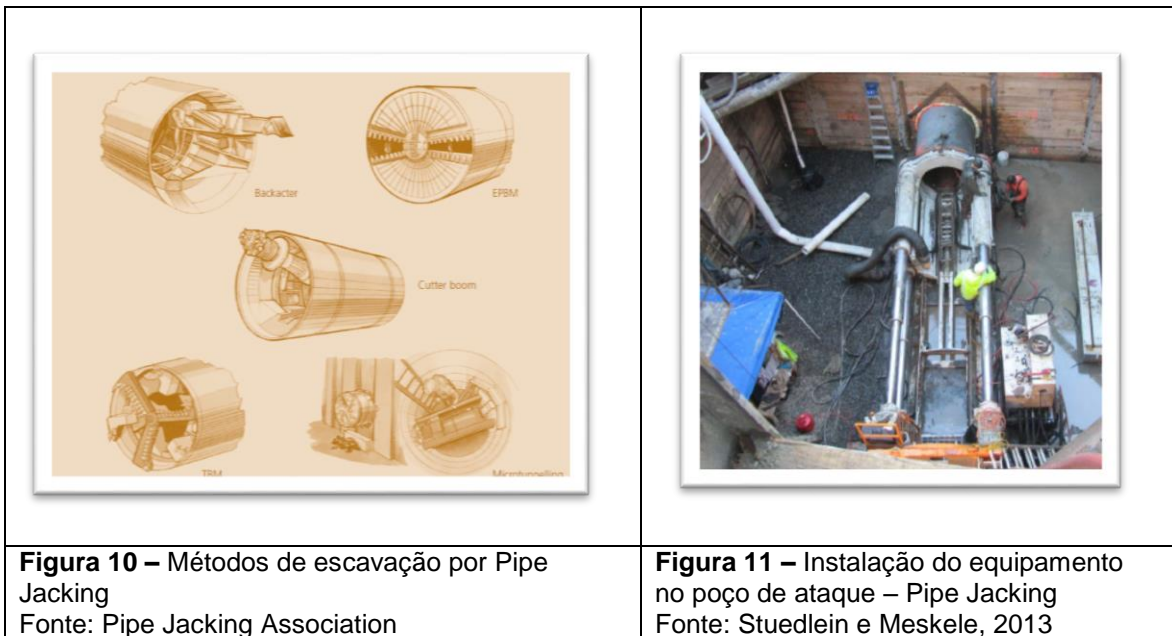
É aplicável em terrenos com nível freático superior à cota da rasante a que irá ficar instalado o tubo e também em solos instáveis.

### c.2) Processo de execução

São executados poços de ataque, isto é, poços onde são instalados os equipamentos constituídos por macacos hidráulicos (jacks) que irão executar a instalação das condutas através da aplicação de forças de compressão.

O número de "jacks" utilizado depende do tipo de terreno (da fricção provocado pelo avanço da máquina). O alinhamento da perfuração garante-se através da aplicação através de um sistema laser. Para tubagens mais pequenas pode ser usada equipamento de vigilância tradicional.

Dentro deste processo existem vários tipos de escudos que podem ser aplicados mediante as condições dos terrenos. A escavação pode ser mecânica ou manual, com tuneladora (TBM) ou através de escudos montados em braços que executam a escavação.



É um sistema direcional através da aplicação de um sistema laser. Para a aplicação desta técnica um conjunto de estudos terão de ser levados a cabo de modo a otimizar o projeto com a aplicação de soluções que melhor se adequem à construção das condutas.



### c.3) Vantagens:

Menor possibilidade de ocorrência de acidentes;

Redução de riscos associados a profundidades, abertura de valas;

Redução de volumes de escavação e aterros com conseqüente redução de desperdícios;

### c.4) Desvantagens:

Relação com as outras infraestruturas existentes;

Não é muito adequado a terrenos rochosos;

Não é adequado a obras com raio muito apertado.

A associação Inglesa de PipeJacking, através de uma ferramenta de cálculo, disponibilizada no seu site (<http://www.pipejacking.org/carboncalculator.html>), calcula as emissões de carbono (CO<sub>2</sub>) produzidas como conseqüência de um processo construtivo recorrendo a abertura de vala pelo método tradicional e compara-as com as emissões a partir do método *pipejacking*. Esta ferramenta poderá ser um ponto de partida para o projetista no momento de opção pelo método a escolher, já que a mesma permite entrar em linha de conta com os vários fatores que influenciam o projeto desde o tipo de terreno até ao tipo de via e verificar se para as características do projeto em causa será mais adequado o método tradicional ou o método por *trenchless*.

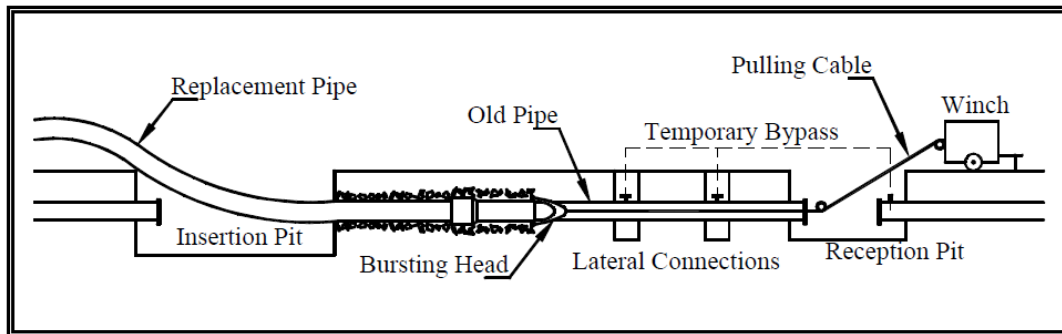
## d) **Pipe Bursting**

### d.1) Domínio de aplicação

Esta técnica tem aplicação na substituição de condutas de gás, água ou drenagem. A conduta é substituída por outra de igual diâmetro ou de diâmetro superior (Simicevic e Sterling, 2001).

### d.2) Processo de execução

A cabeça do equipamento é introduzida na tubagem existente e empurrada forçando o rebentamento da conduta existente. Ao mesmo tempo vai sendo introduzida a tubagem nova como se pode verificar na figura 12.



**Figura 12** – Aplicação da técnica Pipe Bursting

Fonte: Simicevic e Sterling, 2001

As tubagens substituídas através deste método terão entre 50 e 900 mm. Poderá ser aplicado para extensões entre 90 e 120 metros.

#### d.3) Vantagens

- Método mais rápido do que a abertura de vala;
- Mais eficiente;
- Menos destrutivo relativamente à vala aberta (Simicevic e Sterling, 2001).

#### d.4) Desvantagens

- Poderá ter dificuldades de aplicação em solos expansivos.
- Origina elevado ruído e vibração;
- Se a tubagem existente não estiver bem nivelada, a nova tubagem tenderá a não estar também adequadamente nivelada (Abraham *et al.*, 2002).

#### e) **Pipe Ramming**

##### e.1) Domínio de aplicação

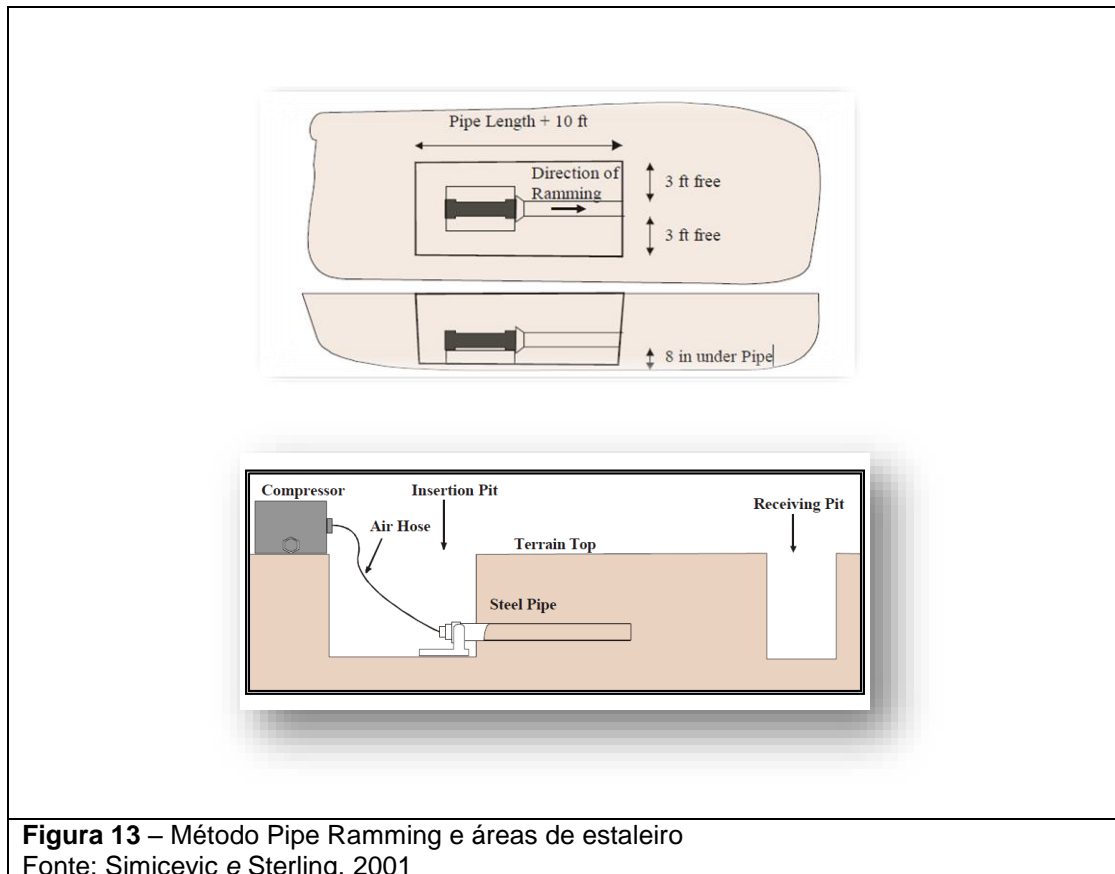
Segundo Simicevic e Sterling. (2001), este método é aplicável a extensões entre os 45 e os 90 metros, para tubagens com diâmetros que variam entre 100 mm e 1400 mm.

O tipo de terreno mais apropriado para a aplicação deste método são as argilas moles e areias. Não é um método usado em rocha.

### e.2) Processo de execução

Este método implica a utilização de condutas de aço que são cravadas no solo com recurso a um martelo pneumático sendo o excesso de solo retirado para a superfície.

É necessário prever uma área que inclua o espaço ocupado pela conduta e os equipamentos que através do compressor instalado à superfície promovem o cravamento da conduta (figura 13). O assentamento da conduta deve ser feito numa base sólida (coxim de apoio) que garante a estabilidade do processo.



### e.3) Vantagens

É um método que pode ser aplicado quando as áreas para instalação dos equipamentos são restritas e não suportam pesos muito elevados (Simicevic e Sterling, 2001).

Uma das vantagens mais significativas relaciona-se com o facto de utilizar equipamentos mais simples e menos onerosos quando comparados com os outros métodos *trenchless* tais como o *microtunneling* ou *HDD* (Stuedleine Meskele, 2013).

#### e.4) Desvantagens

Pelos motivos indicados anteriormente, no campo das desvantagens deste método deverão ser consideradas na etapa de elaboração do projeto, as informações relativas às distâncias das demais infraestruturas e quaisquer outros objetos existentes no subsolo. Deverá haver a garantia de que as vibrações produzidas por este método não induz danos nas infraestruturas mais próximas nem as danificará.

É um método que implica um maior ruído durante a execução da perfuração e pode provocar vibrações no solo significativas.

#### f) **Auger Boring Machine**

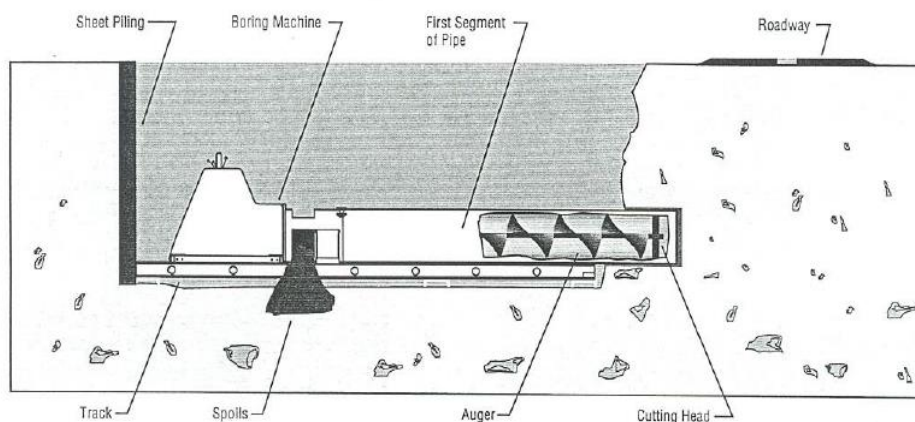
##### f1) Domínio de aplicação

É um método aplicável a vários tipos de terreno, sendo ideal para argila arenosa firme e para extensões entre 30 e 91.5 metros. Os diâmetros mais comumente aplicáveis variam entre os 200 e os 900 mm (Abraham *et al.*, 2002).

##### f2) Processo de execução

Este método implica a aplicação de um trado mecânico instalado num poço à cota que se pretende instalar a infraestrutura (figura 14).

Em primeiro lugar é executado um furo piloto, em segundo lugar será introduzido o trado que executa o alargamento do furo saindo as terras para o poço de ataque. Por último são introduzidos os tubos cravados.



**Figura 14** – Aplicação de equipamento Auger Boring - Trado mecânico  
Fonte: Abraham *et al.*, 2002

### f3) Vantagens

Para pequenos diâmetros é uma técnica económica;

A tubagem é instalada à medida que o trado mecânico vai perfurando o terreno.

### f4) Desvantagens

Para grandes diâmetros e onde é necessária mais precisão não é recomendável, sendo preferível recorrer aos processos de *Microtunneling* ou *Pipejacking*.

#### 3.1.4 RESUMO DOS MÉTODOS TRENCHLESS E SEU CAMPO DE APLICAÇÃO

Na tabela que se segue foi realizado um resumo não exaustivo das técnicas de reabilitação e instalação de infraestruturas analisadas no âmbito da presente dissertação.

**Tabela 2 - Técnicas de instalação de condutas sem abertura de vala**

<b>TÉCNICA</b>	<b>Designação da técnica segundo o guia 17 ERSAR</b>	<b>Domínio de aplicação</b>	<b>Conceito</b>	<b>Aplicabilidade/ Extensão Aplicável</b>	<b>Rendimento (valores de referência)</b>
<b>HDD Horizontal Directional Drilling</b>	Substituição	Nova construção	Perfuração Orientada para instalação de novas condutas. É realizado um furo piloto com injeção de lamas bentoníticas. Numa segunda etapa é instalado o tubo definitivo. Não necessita de realização de poços de ataque. A perfuração é feita através da superfície.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubagens de telecomunicações, águas, gás.</li> <li>• Aplicável entre 12 até 2000 metros de extensão</li> </ul>	180 m/dia
<b>Pipe Jacking</b>	Substituição	Nova construção	A perfuração é conseguida através de microtuneladora. A cabeça rotativa vai perfurando o terreno e o equipamento de "jacking" empurra a tubagem que vai sendo cravada. Para extensões elevadas poderão ser necessárias estações intermédias de empurre (jacking) dos tubos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubagens por gravidade, tubagens para esgoto doméstico e pluvial.</li> <li>• Aplicável a extensões até 490 metros.</li> </ul>	9 a 18 m/dia dependendo do tipo de terreno
<b>Microtunnelling</b>	Substituição	Nova construção	Método que surge na sequência do "pipe jacking" e é concretizado através de controlo remoto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubagens por gravidade para esgoto.</li> <li>• Aplicável a extensões entre 150 e 303 metros.</li> </ul>	9 a 18 m/dia dependendo do tipo de terreno

**Tabela 2** – Técnicas de instalação de consutas sem abertura de vala (continuação)

<b>TÉCNICA</b>	<b>Designação da técnica segundo o guia 17 ERSAR</b>	<b>Domínio de aplicação</b>	<b>Conceito</b>	<b>Aplicabilidade/ Extensão Aplicável</b>	<b>Rendimento (valores de referência)</b>
<b>Pipe /Bursting</b>	Técnica de renovação	Reabilitação	Substituição da tubagem existente que vai sendo rebentada e substituída por tubagem nova. A tubagem nova vai sendo puxada ocupando assim o lugar da tubagem existente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coletores, tubagens de água e de gás.</li> <li>• Extensões entre 90 e 120 metros.</li> </ul>	-
<b>Pipe Ramming</b>	Substituição	Nova construção	Utilizada em distâncias curtas é um método que recorre à aplicação de pancadas na tubagem de aço permitindo o cravamento da mesma no solo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicável em travessias</li> <li>• Extensões entre 12 a 60 metros.</li> </ul>	Entre 50 a 250 mm/min
<b>Auger Boring</b>	Substituição	Nova construção	Método bastante aplicado em travessias rodo e ferroviárias. Um trado mecânico perfura o terreno e uma tubagem de aço vai sendo cravada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicável em travessias</li> <li>• Extensões entre 30 a 91.5 metros.</li> </ul>	Entre 12 a 18 m/dia

Fonte: Abraham *et al.*, 2002; Baosong e Najafi, .2007; Simicevic e Sterling, 2001; Syadaruddin *et al.*, 2010,

**Tabela 3 – Domínio de aplicação das técnicas trenchless**

Técnica “Trenchless”	Diâmetros aplicáveis	Materiais	Tipos de terreno	Profundidade desejável praticada
HDD - Horizontal directional drilling	75 mm a 1300 mm	Aço	Maior aplicação em solos aluvionares, na travessia de rios e cursos de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mínimo 1,5 m sobre o extradorso da conduta;</li> <li>- 1,5x o diâmetro da conduta</li> <li>- Máximo de 50 metros</li> </ul>
Pipe Jacking	600 mm a 4200 mm	Aço; PVC;  Ferro dúctil  Betão Armado reforçado	Todos os tipos de terreno, exceto no terreno rochoso onde não é indicado	Mínimo 2x o diâmetro da conduta a aplicar
Microtunnelling	250 a 3500 mm	Aço,  Betão armado reforçado	Todos os tipos de terreno	3x o diâmetro da conduta com mínimo de 1,5 m
Pipe bursting	50 a 900 mm	PEAD (Polietileno de alta densidade)	Todos os tipos de terreno	-----



**Tabela 3 – Dominio de aplicação das técnicas de trenchless (continuação)**

Técnica “Trenchless”	Diâmetros aplicáveis	Materiais	Tipos de terreno	Profundidade desejável praticada
Pipe ramming	Entre 100 mm e 1400 mm	Aço	Maior aplicação em argilas moles e areias pouco densas abaixo do nível freático. Não aplicável em rocha.	3 a 6 metros  (pode funcionar com menor profundidade mas com uma cuidadosa monitorização dos movimentos das terras)
Auger Boring	Entre 100 mm e 1500 mm	Aço, betão	Aplicação em todo o tipo de terrenos com maior interesse em argilas arenosas.	- Mínimo 1,5 m sobre o extradorso da conduta;  - 2.0 x o diâmetro da conduta

Fonte: Abraham *et al.*, 2002; Baosong e Najafi, .2007; Simicevic e Sterling, 2001; Syadaruddin *et al.*, 2010.

### 3.1.5 MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE INFRAESTRUTURAS ENTERRADAS COM ABERTURA DE VALA

A instalação de condutas em vala aberta é o método mais comumente aplicável, não significando que seja sempre o mais adequado.

As razões para que seja o método mais utilizado prendem-se com questões técnicas, logísticas e financeiras.

Neste subcapítulo pretende-se explicar quais as características inerentes à aplicação deste método, os seus pontos fortes e fracos.

No capítulo 6, as ilações e referências aqui estabelecidas servirão para apoiar na comparação e análise dos métodos que serão indicados no estudo de caso.

A instalação das tubagens obedece a normas específicas que se encontram regulamentadas e que passam pela indicação das larguras adequadas de vala face ao diâmetro de conduta a instalar, à localização da vala que pode ser em passeio ou em arruamento, à profundidade da conduta a instalar (decreto regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto).

Relativamente à localização, as medidas de proteção das condutas face às cargas a que poderão estar sujeitas, são impostas na maioria das vezes pelas normas das próprias concessionárias. Cada concessionária estabelece limites de profundidade que visam a proteção das suas infraestruturas a médio, longo prazo, já que as ações externas como por exemplo as cargas rolantes a que ficarão sujeitas poderão provocar no caso de uma deficiente instalação, danos graves nas infraestruturas que implicarão interrupções do fornecimento, causando desta forma constrangimentos para a população em geral e perdas económicas para as concessionárias.

Como nem sempre é possível viabilizar um projeto aplicando integralmente todos os requisitos previstos nas normas das concessionárias e legislação aplicável são tomadas medidas preventivas e corretivas.

Assim cita-se a título de exemplo, como solução para proteção de condutas instaladas a pouca profundidade de modo a ficar garantida a sua integridade física relativa às cargas rolantes, proceder ao seu envolvimento em betão, reforçando-se desta forma fisicamente a infraestrutura.

Poderá também ser aplicado o “encamisamento” da conduta com uma tubagem cuja resistência à compressão diametral seja superior à da infraestrutura instalada.

O método da vala aberta poderá ser realizado de duas formas:

- ✓ através da forma mais tradicional, isto é, por escavação até à cota de instalação da conduta e sempre que necessário com aplicação de estruturas de entivação;
- ✓ através de escavação por método invertido, isto é são realizadas as estruturas de contenção que limitam o espaço que constituirá a vala e só depois começa a escavação. Este método tem o nome corrente de *cut and cover*.

O método de construção com vala aberta apresenta as seguintes vantagens:

- Não necessita de equipamentos específicos de perfuração ou escavação;
- Permite a instalação da banda avisadora indicada como necessária nas normas das concessionárias.

Apresenta como desvantagens:

- Para valas com elevadas profundidades, dependendo das características dos terrenos obriga à construção de estruturas de entivação onerosas, que garantam a estabilidade da vala, de modo a viabilizar a segurança da construção e das pessoas;
- Obriga a desvios de trânsito, à interrupção de passeios, criando desta forma obstáculos à normal circulação de veículos e pessoas;
- É necessário, com a abertura da vala, proceder à remoção e transporte de volumes de terreno que terão de ser transportados e depositados em vazadouro próprio. Decorrendo as obras em meio urbano as distâncias a percorrer pelos camiões para depositar as terras em vazadouro próprio são constrangimentos que provocarão por um lado impactos ao nível ambiental e também impactos de ordem económica já que os custos de transporte associados são elevados.

### 3.1.6 MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO E DE DETEÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS

- a) Através de levantamentos topográficos com o objetivo de proceder ao complemento das informações fornecidas pelas concessionárias.

Neste tipo de levantamento a equipa desloca-se ao campo tendo como objetivo cotar e identificar as tampas das caixas de visita existentes, determinar as cotas das tampas e se possível também as cotas de fundo das caixas de visita.

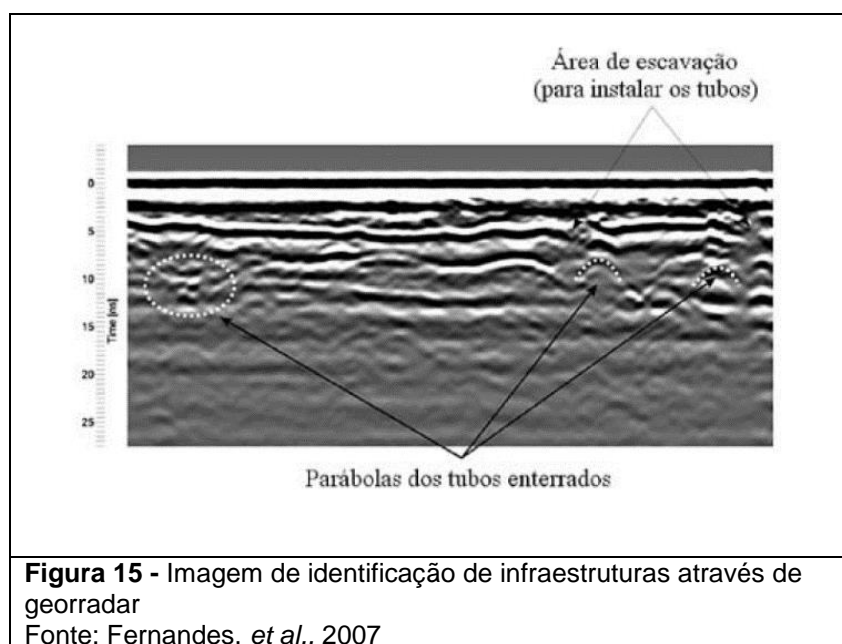
Quando as caixas se localizam no meio do arruamento, torna-se necessário solicitar e proceder a um desvio de trânsito recorrendo por exemplo à polícia de trânsito para o efeito.

Por norma os levantamentos ao nível das cotas de fundo têm-se verificado essenciais ao nível das redes de saneamento, cujos cadastros não apresentam fiabilidade quer em termos planimétricos quer nas cotas apresentadas.

Muitas vezes esta operação encontra-se dificultada pelo fato das tampas se encontrarem cobertas após uma repavimentação ou por estarem num estado de degradação e colmatação que impedem a equipa de topografia de proceder ao levantamento.

Uma caracterização exaustiva das infraestruturas existentes implicará para além da identificação do tipo e cotas das caixas, a verificação do estado de colmatação dos coletores e também do seu alinhamento. Muitas vezes se os cadastros apresentam informação deficitária poderá tornar-se muito útil que a equipa de levantamento topográfico inclua na sua informação a indicação da orientação dos troços de coletor. Se em cada caixa de visita for quantificada as ligações que a ela chegam e dela partem poderá ser viável a definição de todos os troços cuja informação se encontra omissa ou menos precisa nas plantas de cadastro.

b) Pela aplicação de equipamentos de deteção de infraestruturas enterradas (figura 15);



b1 – Por georradar (Muggleton, *et al.*, 2012)

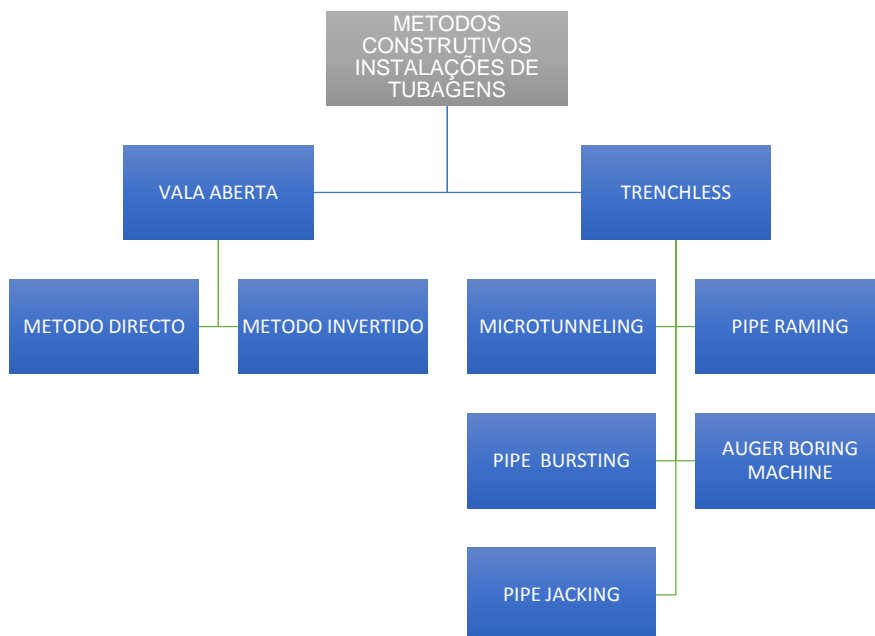
Através da aplicação de ondas electromagnéticas ou baixas frequências vibro acústicas (Muggleton, *et al.*, 2012). Aplicando baixas frequências e através de ressonância que se altera sempre que encontra elementos enterrados e com diferentes características do terreno, é possível detetar tubagens enterradas.

b2 - Por tecnología RFID (Colvero *et al.*, 2008)

Este método permite a deteção das infraestruturas por tecnologia de radio frequência. O método é no entanto aplicável desde que, aquando da instalação da conduta, tenha sido também instalada uma etiqueta inteligente, isto é uma banda avisadora da existência da conduta e que contém uma banda magnética. O sinal é captado por aparelhos com leitura de radiofrequência. Em média é possível detetar através deste método infraestruturas que estejam a cerca de 0.8 m de profundidade sem margem de erro.

### 3.1.7 RESUMO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS

A figura 16 pretende sintetizar os principais métodos utilizados para construção de infraestruturas de subsolo e que são alvo de análise no presente trabalho.



**Figura 16** - Resumo dos métodos construtivos identificados

### 3.2 LEGISLAÇÃO E OUTRAS NORMAS APLICÁVEIS

Na concretização dos projetos de serviços afetados, será necessariamente aplicada a portaria 701 H/2008 no que concerne à definição das etapas de projeto e pelos requisitos mínimos a cumprir em cada etapa.

Esta portaria define em cada fase de projeto, desde o estudo preliminar ao projeto de execução, passando pela assistência técnica em obra, quais os elementos a considerar na apresentação do projeto e em função do tipo de projeto.

Na elaboração dos projetos deverão ser tidas em consideração as normas das concessionárias e as normas que regulam a aplicação dos materiais no que concerne à sua resistência e domínio de aplicação.

No domínio da aplicação das tubagens em vala aberta, várias são as normas europeias e internacionais que se preocupam em definir as resistências mínimas dos materiais aos impactos e sobrecargas e sua aplicabilidade ao transporte de fluidos, quer sejam eles a água potável, gás ou águas residuais.

Já na aplicação dos métodos de *pipe-raming*, por exemplo, esta questão não é tão clara.

Segundo Simicevic e Sterling, (2001), existe normalização americana para a tubagem de aço que pode ser aplicada no método anteriormente referido, mas não existe normalização aplicável ao método em si.

A ERSAR através do seu guia técnico nº 17 consolidou informação sobre as técnicas de Renovação, Substituição e Reparação, no que concerne aos métodos aplicados e às normas nacionais e europeias aplicáveis. Este guia, lista as normas portuguesas NP e Europeias, relativas aos requisitos e características das tubagens, na sua aplicação na condução de fluidos e instalação em vala, das quais se destaca para além de outras aplicáveis a métodos *trenchless*, a norma NP EN 14457:2008.

## CAPITULO 4. ANÁLISE A CASOS INTERNACIONAIS E NACIONAIS

### 4.1 METRO DE SÃO PAULO – LINHA VERDE 2 – MONOTRILHO

De acordo com a informação constante no *site* Metrô de São Paulo, consultado em 27/06/2014, este foi fundado em 24 de abril de 1968, tendo as obras da Linha Norte- Sul, sido iniciadas oito meses depois.

Atualmente possui quatro Linhas em operação num total de 65,9 quilômetros de rede 1107 milhões de passageiros em 2013.

O Metro de São Paulo apresenta uma expansão significativa nos últimos anos em termos de linhas construídas e em construção.

Neste capítulo será focado o caso de Metro Monotrilho de São Paulo – Linha 15 entre Cidade Tiradentes e Vila Tolstoi, atualmente em construção e projeto (figura 17).



**Figura 17** - Imagem da construção da via em Monotrilho  
Fonte: Jornal Época de São Paulo Vida Urbana - 17/08/2012,  
consultado em 2014/06/26 (edição *on-line*)

Esta entidade lançou a concurso o projeto executivo para a linha 15 de Metro em Monocarril<sup>6</sup> com a emissão de um projeto básico das várias especialidades intervenientes,

<sup>6</sup> O Monocarril (“Monotrilho”) percorre mais de 15 Km ao longo das Avenidas principais da Cidade de São Paulo, na zona leste. E constituído pelas vigas guia elevadas a cerca de 15 metros do solo, onde assentam as carruagens. As estações também elas elevadas, constituídas por três níveis e assentes

entre elas os projetos de desvios de serviços afetados (“Remanejamentos das utilidades publicas”).

O Metro de São Paulo emite associado a cada concurso, as instruções técnicas que norteiam a execução dos projetos.

No caso do Metro de São Paulo, o estudo das infraestruturas através do mapeamento recorrendo ao uso de equipamentos sensores e também sondagens, é incluído em fase de projeto, imprimindo ao estudo custos que deverão estar devidamente quantificados em sede de proposta.

No âmbito do projeto de identificação e desvios das infraestruturas publicas (intitulado de no remanejamento de utilidades publicas), as ações a desencadear são as seguintes:

- 1 - Contacto com as entidades concessionárias;
- 2 – Recolhas dos elementos de cadastro mais atualizados;
- 3 – Levantamentos topográficos par validação da posição das caixas de visita e cotas de caixas de drenagem;
- 4 – Utilização de todos os meios disponíveis nomeadamente por georradar, para deteção e confirmação das infraestruturas existentes, nomeadamente alinhamentos, profundidades;
- 5 – Levantamento através de sondagens da localização das condutas.

Com esta estratégia o dono de obra traça linhas orientadoras para que logo na fase de projeto sejam detetadas as principais diferenças entre os cadastros fornecidos pelas concessionárias e a realidade.

Esta solução adotada na fase de projeto minimiza o problema mais comum detetado neste tipo de projetos e que se prende com o facto de o projetista não conseguir identificar as infraestruturas existentes, devido à existência de cadastros não fidedignos.

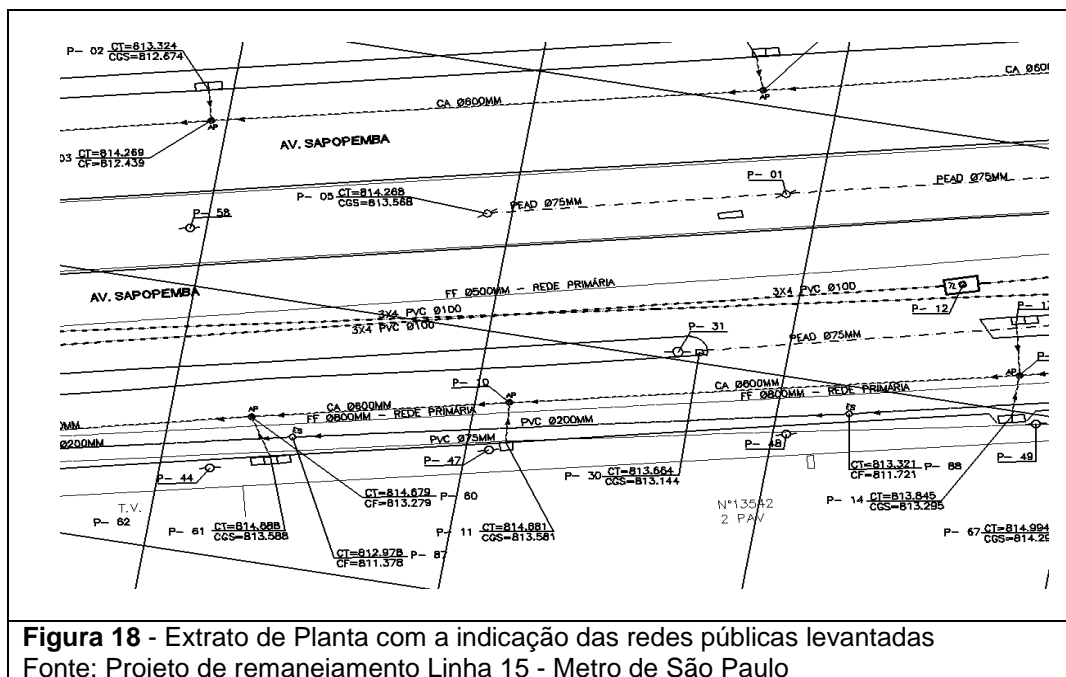
Após analisadas as plantas de cadastro fornecidas pelo dono de obra através do projeto básico lançado a concurso e as informações posteriores fornecidas pelas concessionárias através de cadastros atualizados, é completada a informação. O conjunto das

---

em 4 alinhamento de pilares, apresentam ao nível da execução das fundações interferências importantes com as infraestruturas existentes.



informações é incluído nas plantas das utilidades públicas (infraestruturas de subsolo) conforme demonstrado no extrato da planta indicado na figura 18.



**Figura 18** - Extrato de Planta com a indicação das redes públicas levantadas  
Fonte: Projeto de remanejamento Linha 15 - Metro de São Paulo

Concretizaram-se também em sede de elaboração do projeto de execução, levantamentos topográficos com a verificação de cotas de soleira das caixas e das tubagens. Outro método previsto nas instruções técnicas do Metro de São Paulo, para detecção das infraestruturas, é a utilização de equipamento georradar. A associação destes métodos permitiu elaborar as tabelas com a caracterização das infraestruturas através da indicação dos seus diâmetros, cotas de tampa, cotas à geratriz superior e/ou cota de soleira das mesmas. Como se exemplifica na tabela da figura 19, os pontos levantados estão coordenados e identificados com a máxima informação possível obtida através dos métodos anteriores.

Em alguns casos de condutas mais profundas, foram também realizadas sondagens. Estas sondagens consistem na abertura de valas/poços na área onde se verificou através de cadastro, existir a conduta, sendo que deverão ser executadas no mínimo duas sondagens para verificação do alinhamento da tubagem.

O conhecimento do alinhamento real da infraestrutura é essencial já que poderá condicionar as áreas de implantação das obras previstas, obrigando por vezes e caso se tratem de infraestruturas não passíveis de desvio, a alterar processos construtivos ou mesmo a modificar os limites de implantação dos edifícios.

## 1. TABELA DESCRITIVA DAS REDES DE UTILIDADES PÚBLICAS

Número do ponto	Tipo	Coord. N	Coord. E	Cota de Terreno ou tampa	Cota de fundo ou chegada	Geratriz Superior	Observação
1	Poste Misto	243167,0333	175922,1206				SEM IDENTIFICAÇÃO
2	Rede Águas Pluviais	243167,9966	175873,1682	813,324		812,674	CA Ø500MM
3	Pv Águas Pluviais	243165,6966	175873,7298	814,269	812,439		
4	Rede Elétrica	243197,8858	176001,6381	814,944		814,144	PEAD Ø75MM
5	Rede Água	243127,5923	175848,9963	815,560		814,760	PEAD Ø75MM
6	Rede Água	243156,1315	175894,3756	813,423		812,823	PVC Ø75MM
7	Rede Telefone	243138,1603	175847,168	813,376		812,676	3X4 PVC Ø100
8	Rede Telefone	243138,1603	175847,168	813,376		812,666	3X4 PVC Ø100
9	Rede Telefone	243140,0122	175846,8476	813,362		812,512	3X4 PVC Ø100
10	Pv Águas Pluviais	243143,5616	175902,8318	814,674	813,274		
11	Rede Águas Pluviais	243141,2031	175903,0658	814,681		813,581	CA Ø500MM
12	Pv Telefone	243161,1357	175938,3132	813,792	811,392		3X4 PVC Ø100 - 3X4 PVC Ø100

**Figura 19** - Extrato de tabela descritiva para o levantamento na área da Estação Jardim Planalto  
 Fonte: Projeto de desvios dos serviços afetados (“remanejamento”)

Relativamente à deteção das redes por georradar foram analisados alguns documentos bibliográficos sobre o tema. Muggleton *et al.* (2012), refere que é possível recorrendo a baixas frequências detetar objetos enterrados, nomeadamente tubagens. Este método deve no entanto servir como complemento dos métodos tradicionais de deteção das infraestruturas.

De acordo com estudos elaborados em Portugal, a inspeção por georradar possibilita a deteção das várias infraestruturas sem que para tal seja necessário proceder a escavação e portanto sem transtornos para a população em geral. Fernandes *et al.* (2007), refere que este trabalho, implica uma equipa de duas pessoas, utilizando um equipamento específico, sendo para tal necessário pessoal especializado. Este método pode ser aplicado a cabos de fibra ótica, elétricos e tubagens. O processamento da informação e a análise aos elementos resultantes da leitura feita pelo equipamento apenas poderá ser feito por especialistas profundamente conhecedores dos *inputs* e *outputs* dos dados registados.

No entanto e face aos benefícios de ser possível incluir a informação quanto às infraestruturas existentes numa fase prévia de projeto, com recurso aos dados fornecidos por este método, parece justificar-se a utilização do mesmo.

Como tem vindo a ser detetado, ao longo dos últimos anos de elaboração de projetos deste tipo, os inconvenientes de não conhecer o local exato das infraestruturas e a necessidade de proceder a abertura de poços para a determinação da sua localização (situação que tem sido possível só após da entrada em obra), parece justificar os custos inerentes à aplicação deste equipamento.

## 4.2 METRÔ DO RIO DE JANEIRO - ENTREVISTA PRESENCIAL

O Metrô do Rio de Janeiro foi inaugurado em 1979<sup>7</sup>, tendo primeira Linha 4,3 quilômetros.

Em 1980 o Metro teve a sua primeira expansão e em 1984 iniciou a Linha 2 com a construção da Estação Triagem inaugurada em 1988. Em 1996 foram construídas mais duas estações, sendo a exploração da linha conseguida com a circulação de nove composições e com intervalos de 6 minutos.

Após 2007 foram construídas mais estações tanto na Linha 1 como na linha 2.

Em deslocação ao Rio de Janeiro no Brasil em Abril de 2014, foi realizada visita à Linha 4 (em execução) do Metro do Rio de Janeiro.

Esta linha (figura 20) será explorada por uma concessionária distinta da atualmente responsável pelas Linhas de Metrô já construídas, a MetrôRio.

No decorrer desta visita foi constatado que a preocupação com a comunidade está patente nos métodos e processos escolhidos, no traçado da linha, com a localização das suas estações em praças onde existe menor impacto com os arruamentos, edifícios e infraestruturas de subsolo.

Todo o desenvolvimento da obra é transmitido à população quer através do sítio internet quer através de um centro interativo, aberto ao público com a informação atualizada sobre o estado de evolução da obra.



**Figura 20** - Imagem da Linha 4 em construção.  
Fonte: Fotografia própria sobre o original do Metro do Rio

<sup>7</sup> Segundo informação constante no sítio INTERNET do Metro do Rio consultado em 26/06/2014.

A obra da Linha 4 foi lançada a concurso pelo Governo do Rio de Janeiro. Na visita à obra, acompanhada por representante do MetrôRio e por responsável pelo planejamento da obra de desvios das infraestruturas, foi possível verificar alguns dos métodos utilizados nos desvios das redes (exemplos nas figuras 21, 22, 23 e 24).



**Figura 21** - Desvio de conduta de água com suspensão sobre a linha de água

Nesta linha os projetos de desvios são realizados pelo empreiteiro, existindo um departamento dedicado inteiramente a estes projetos.

Os cadastros são fornecidos pelas concessionárias em papel, gerindo o empreiteiro diretamente com aquelas entidades os desvios necessários a executar.

O planejamento dos desvios é feito de acordo com o faseamento da obra e acordado previamente com a concessionária.

Caso existam dúvidas relativas à localização das infraestruturas, o empreiteiro entra em contacto com a concessionária e através de sondagens verifica a localização das condutas e cabos.



**Figura 22** - Pormenor de válvula em conduta desviada



**Figura 23** - Suspensão executada para suportar conduta de água desviada



**Figura 24** - Suspensão física de condutas de cabos de telecomunicações e da rede de incêndios dentro do estaleiro.

Questionou-se sobre os métodos utilizados para a execução dos desvios tendo-se constatado que nesta obra e no geral não se recorre a georradar nem a métodos de perfuração assistida para a instalação das condutas.

Por outro lado sendo o projeto dos desvios executados pelo empreiteiro em estreita colaboração com as concessionárias é possível garantir a fiabilidade do projeto já que a



localização das condutas é verificada através de sondagens em tempo real e em simultâneo com o projeto.

#### **4.3 METRO DE SUPERFÍCIE VERSUS METRO ENTERRADO NAS INFRAESTRUTURAS DE SUBSOLO**

A interferência das obras de construção das Redes de Metro quer pela extensão da linha quer pelas áreas associadas à construção das estações afetam grandemente a utilização do domínio público colocando entraves à circulação de trânsito rodoviário e pedonal e da manutenção dos serviços públicos de fornecimento de água saneamento, energia e telecomunicações.

No seguimento do levantamento das principais técnicas utilizadas em Portugal para o tratamento, desvio e substituição das infraestruturas cabe neste ponto comparar o tipo de intervenção mais aplicada nas redes de saneamento e nas redes de águas para o caso de intervenções devidas a construção de Metro Ligeiro com Metro subterrâneo.

##### **4.3.1 PRINCIPAIS IMPLICAÇÕES DO METRO LIGEIRO DE SUPERFÍCIE**

Este tipo de Metro apresenta a vantagem de não exigir escavações em grandes profundidades e por isso tornar-se do ponto de vista da construção civil da plataforma da via menos oneroso do que o metro subterrâneo com a aplicação de métodos de escavação com tuneladora extremamente onerosos.

O impacto provocado pela sua construção revela-se no entanto mais elevado no que respeita às interferências com as infraestruturas de subsolo que são afetadas ao longo de todo o comprimento da linha.

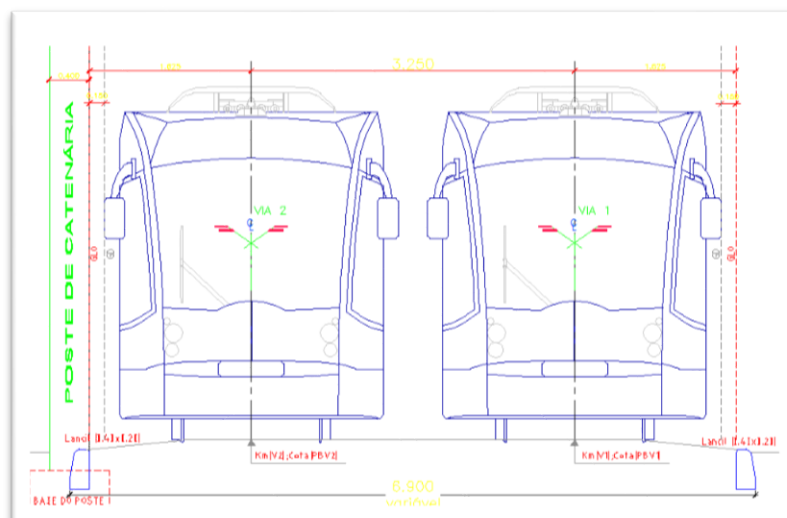
O tipo de desvios preconizados decorre dos constrangimentos físicos provocados pela fundação da plataforma da via do Metro, que como se pode constatar pelas figuras 25 e 26 abaixo apresentadas, condiciona todas as infraestruturas que se encontram a uma profundidade inferior a 1,4 metros a partir do nível do arruamento.

Como se pode verificar pelo exemplo das figuras 25 e 26, que reflete a terraplenagem executada num dos arruamentos por onde passa atualmente o Metro Ligeiro de Superfície de Almada, construído em 2002, o espaço canal e profundidade de caixa para construção da plataforma são significativos em área e volume de ocupação.



**Figura 25** - Terraplenagem para permitir a execução da plataforma do Metro ligeiro - Obra Metro Sul do Tejo - Almada

Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult



**Figura 26** - Perfil tipo de Metro ligeiro de superfície com catenária<sup>8</sup> lateral  
Fonte: Projeto Metro Sul do Tejo - Almada

As obras de Metro Ligeiro de Superfície têm características muito próprias e dispare das obras de Metro pesado. Tratando-se de uma obra em que a maioria das intervenções se

<sup>8</sup> A catenária é o sistema constituído por postes e cabos de alimentação de energia que garante o funcionamento do Metro.

faz à superfície, não havendo lugar a escavações em grande profundidade, há por outro lado um maior nível de interferência com as infraestruturas enterradas, pois a implantação da plataforma ocorre maioritariamente em meio urbano, já consolidado.

O tipo de intervenção nas infraestruturas passa por um maior número de desvios definitivos que visam deixar livre uma faixa de cerca de 10 metros de largura com uma base que pode chegar a 1.80 m de profundidade, para fundação da via, conforme já ilustrado nas figuras 25 e 26.

Neste sentido deverão ser previstos desvios ou possíveis reforços para as infraestruturas existentes. Fazendo-se uma análise sumária às variadas soluções de intervenção, resumem-se na figura 27 as várias hipóteses comumente encontradas nas obras de Metro Ligeiro, não excluindo outras que venham a ser utilizadas no âmbito das várias obras que se encontram a decorrer no mundo.

Como se pode verificar a ocupação do espaço urbano pela linha de Metro evidencia a necessidade de reservar um espaço, dito espaço canal com uma largura de cerca de 7 metros. Para além desta largura é também necessário que se prevejam as áreas necessárias às instalações dos postes de catenária. Esses postes poderão apresentar uma localização lateral ou central, mediante as necessárias adaptações do traçado e espaço disponível na rede viária.

Em resumo para além da base de fundação para a instalação da via também a fonte de alimentação da linha de metro deve ser estudada de modo à sua compatibilização com as infraestruturas enterradas e áreas existentes.

Estruturando o que podem ser as várias implicações apresenta-se na figura 27 o resumo do tipo de interferências causadas nas várias infraestruturas.





**Figura 27** - Resumo das possíveis interferências do Metro Ligeiro com as infraestruturas.

A interferência tipo A surge quando ao longo dos arruamentos existem infraestruturas cuja implantação coincide com a do traçado previsto para o Metro Ligeiro. Nestes casos prevê-se o desvio definitivo da infraestrutura pois em caso de intervenção futura a existência da mesma sob a linha de metro provocaria elevados constrangimentos.

Na interferência B, estando na base do problema a incompatibilidade de cotas, o desvio definitivo das redes é essencial para que se possa manter o traçado previsto para a linha de metro.

A interferência C implica que as redes cujo traçado é perpendicular à linha de metro e que não interfiram ao nível altimétrico possam permanecer. No entanto e dependendo do tipo de infraestrutura deverão ser tomadas medidas de protecção das condutas.

Na interferência D são criadas condições para que as infraestruturas fiquem suficientemente afastadas da plataforma do metro ligeiro, prevendo-se muitas vezes multitubulares que permitam a colocação de condutas no futuro.

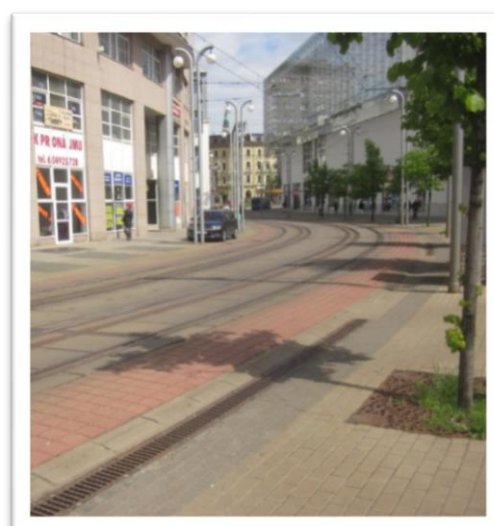
O espaço canal onde será inserido a plataforma de Metro, isto é, o espaço necessário para instalação de todos os componentes do sistema Metro Ligeiro desde os carris, passando pelos aparelhos de via e catenária (sistema de fornecimento de energia), provocam um reordenamento do território. Este reordenamento é de tal modo importante que constitui uma das principais preocupações das partes envolvidas no desenvolvimento do projeto desde a área de paisagismo que atua na reclassificação dos espaços, à reestruturação da rede viária que sofrerá alterações significativas dando lugar à alteração de sentidos de circulação, à alteração da iluminação pública e todos os equipamentos inerentes ao espaço público.

A integração do novo meio de transporte na rede viária e espaço envolvente gera conflitos com as infraestruturas de subsolo na medida em que não serão só os ramais principais das redes a serem afetados. Os ramais domiciliários de água, gás, eletricidade, telecomunicações sofrem também adaptações pois a reestruturação do espaço tem lugar muitas vezes em toda a largura do arruamento, isto é, de fachada a fachada.

Comos exemplos de integração de um metro ligeiro em meio urbano, as figuras 28 e 29 ilustram os exemplos de Praga e de Liberec (República Checa).



**Figura 28** - Metro Ligeiro em Praga - Republica Checa



**Figura 29** - Metro Ligeiro em Liberec - Republica Checa

Para além deste constrangimento em profundidade existem outras componentes do sistema, locais técnicos, estações e maciços de implantação dos postes que fornecem a energia ao sistema de metro, que pela sua dimensão e quantidade afetam também eles as infraestruturas de subsolo.

Adicionalmente às ações a levar a cabo nas condutas existentes, devem ser previstas soluções para o futuro, de modo a assegurar que uma vez em exploração, o Metro Ligeiro não sofra interrupções prolongadas motivadas por intervenção em infraestruturas.

Assim devem ser previstos negativos<sup>9</sup> que possam ser utilizados pelas concessionárias sempre que se justifiquem ampliações das suas redes. A localização destes deverá ser analisada tendo em consideração as áreas possíveis de expansão futura devendo ser acordadas e aprovadas pelas concessionárias.

Por norma deve ser previsto um reforço quantitativo de negativos nas zonas de cruzamentos. Estas condutas/negativos são colocados a cotas que não interferem com as fundações do metro e com um comprimento para além da largura da plataforma do metro, para que sejam possíveis as intervenções futuras sem necessidade de parar a circulação do metro.

#### 4.3.2 PRINCIPAIS IMPLICAÇÕES DO METRO PESADO – ENTERRADO

No caso do Metro enterrado as interferências com as infraestruturas sucedem em maior percentagem na área das estações e também na área de construção dos poços de ventilação de meio troço, por se tratarem de áreas com escavação a céu aberto. Como se pode verificar pela figura 30, a área de ocupação da via pública é significativa. Neste caso em que a estação foi implantada sob uma via principal com diversas infraestruturas nomeadamente coletores, os desvios foram inevitáveis.

Por norma os tuneis são executados a uma profundidade compatível, por um lado com o processo construtivo, por outro para fazer face a constrangimentos de ordem altimétrica relacionados com a morfologia do terreno e também com a existência de construções subterrâneas como as caves dos edifícios.

Tem-se verificado a ocorrência de algumas interferências com a construção dos tuneis, provocada pela existência das grandes adutoras de água ou coletores.

---

<sup>9</sup> Os negativos são reservas constituídas por um conjunto de tubos em PVC, localizados em cota compatível com a plataforma de metro e que permitirão no futuro instalar novas condutas sem necessidade de interromper linha de metro.



**Figura 30** - Construção da Estação Moscavide -Obra da estação  
Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult

Nestes casos e pela extrema importância das infraestruturas estudam-se soluções de engenharia ao nível da conceção estrutural dos tuneis e também da própria proteção das infraestruturas. Estas poderão passar por soluções de reforço exterior através do reforço das juntas ou através da preparação com resinas das fissuras existentes (guia técnico 17 da ERSAR) ou ainda do reforço das juntas internamente.

## **CAPITULO 5. ANÁLISE AOS SERVIÇOS AFETADOS - METRO DE LISBOA**

De modo a afinar a linha de estudo e tendo por objetivo conduzir essa mesma linha para o estudo de caso do Metro de Lisboa, considerou-se relevante identificar as questões mais prementes relacionadas com os desvios dos serviços afetados.

Numa primeira etapa deste capítulo são identificados os principais tipos de desvios e apontadas as soluções técnicas passíveis de serem utilizadas em projeto e que decorrem da experiência neste tipo de projetos. Experiência essa fundada na troca de conhecimento com as entidades concessionárias e com os colegas de profissão.

Numa segunda etapa considerou-se importante compreender efetivamente qual o grau de intervenção nos serviços afetados decorrente das obras do Metropolitano de Lisboa, tendo sido focada a análise na comparação entre a percentagem de desvios definitivos versus reabilitações.

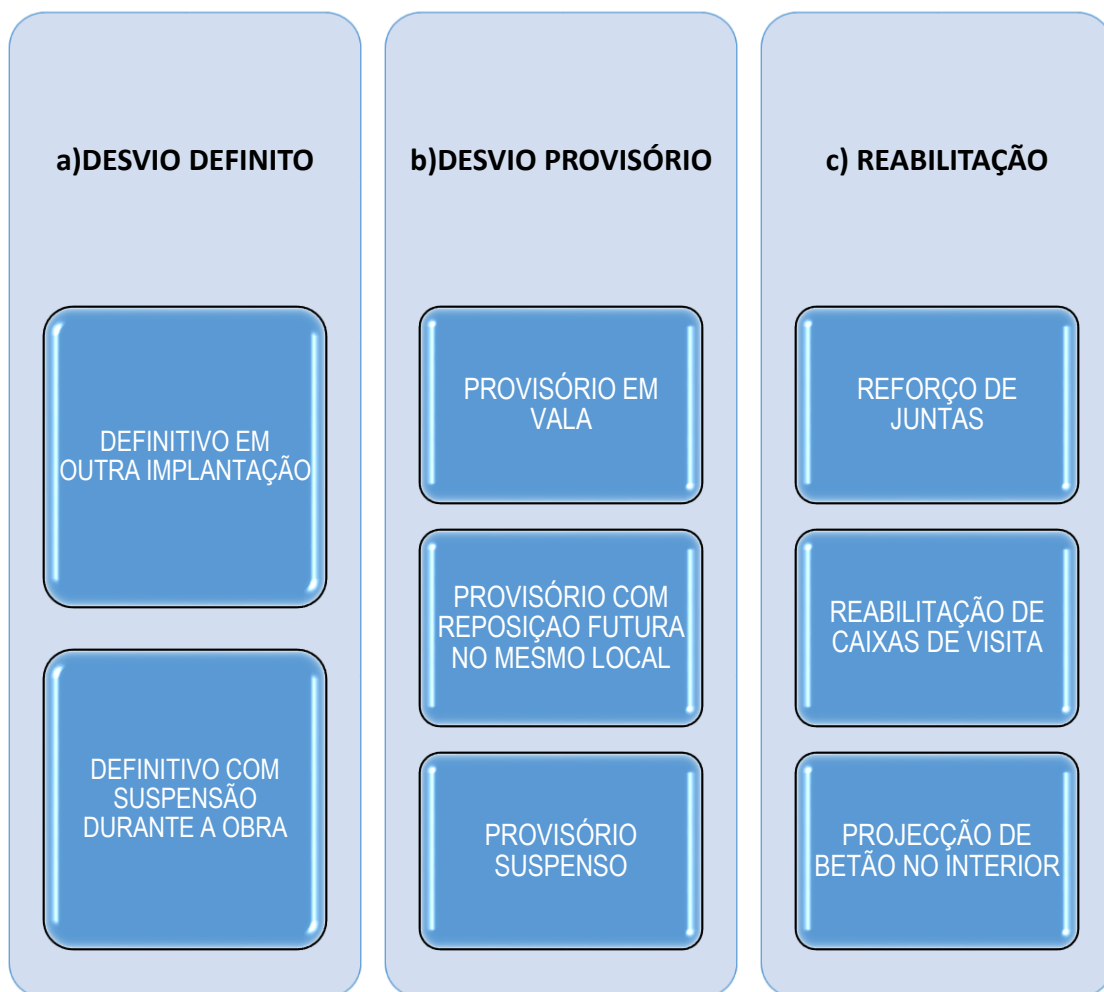
Na terceira etapa deste capítulo e sendo o papel do projetista o principal foco desta dissertação, pretendeu-se através da análise de informação prestada por outras empresas de projeto, aferir quais as suas principais dificuldades e de que modo são ultrapassadas.

Neste caso e pretendendo o presente estudo esclarecer e perceber que ferramentas são atualmente disponibilizadas pelo mercado que melhor se adequem ao desenvolvimento dos projetos foi fundamental partilhar e discutir o tema.

### **5.1 DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES TÉCNICAS**

Neste subcapítulo pretende-se identificar uma compilação de soluções técnicas que poderão ser previstas em projeto.

As soluções de desvio das infraestruturas que visam a libertação da área para a construção da obra da linha de Metro subterrâneo, podem dividir-se conforme indicado na figura 31 em soluções de desvio definitivas, desvio provisórias, definitivas com necessidade de suspensão, provisórias com necessidade de suspensão ou provisórias com posterior reposição na mesma localização e de reabilitação de parte (figura 32) ou totalidade da infraestrutura.



**Figura 31** - Tipologia dos desvios usuais das infraestruturas em obras

Nos vários tipos de desvios serão aplicadas soluções de proteção destacando-se seguidamente as que mais têm vindo a ser aplicadas em obras do Metro de Lisboa:

- Proteção das condutas suspensas contra raios ultravioletas;
- Soluções de suspensão com perfis e cabos de suspensão;
- Desvios provisórios em material com maior facilidade de suspensão;
- Nas condutas colocadas fora de serviço, necessidade ou não da sua demolição/desativação e se necessário sob que forma (abrindo vala, retirando a conduta, ou enchendo com betão a conduta desativada).

Estas soluções são sempre discutidas e acordadas com as concessionárias respetivas e só assumidas após a aprovação pelas mesmas.





**Figura 32** - Reabilitação de caixa de visita de Telecomunicações  
Remodelação da Estação Saldanha 1  
Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult



**Figura 33** - Desvios de trânsito na Remodelação da Estação Areiro para permitir os desvios das infraestruturas - Obra de remodelação da Estação Areiro  
Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult

As tabelas 4 a 7 decorrem da necessidade de sistematizar soluções e foram elaboradas de acordo com a experiência dos últimos 10 anos nestes projetos e nas várias reuniões havidas com as concessionárias.

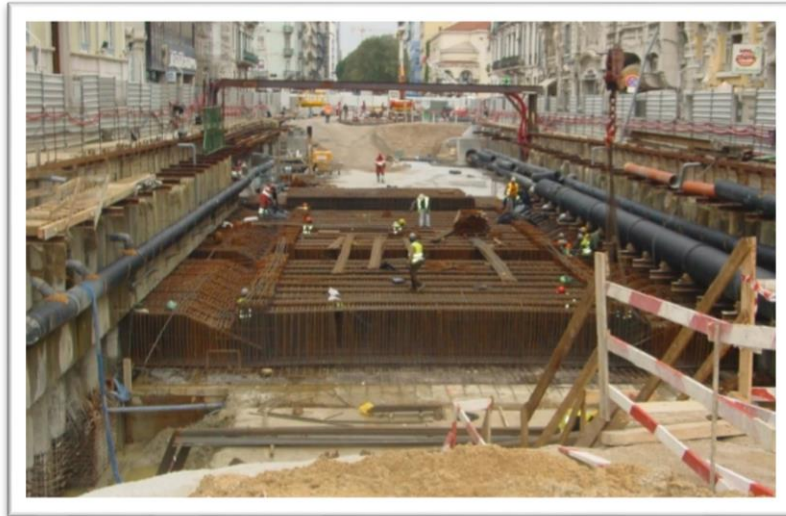
**Tabela 4 – Rede de saneamento, tipos de desvio**

INFRAESTRUTURA	➤ REDE DE SANEAMENTO	
PROBLEMA	MATERIAL	SOLUÇÃO TÉCNICA
Desvio definitivo	PEAD, Betão, PVC corrugado <sup>10</sup>	Com execução de vala a céu aberto devidamente entivada, e as medidas de desvios de trânsito necessárias.
Desvio com suspensão ou apoio físicos	PEAD, PVC corrugado	Podem ser aplicadas estruturas metálicas para suporte. (figuras 34 e 35).
Manter no local com reabilitação ou alteração de tubagem	Betão, PEAD, injeções de argamassas <sup>11</sup>	Reforço das juntas, tratamento de fissuras.

<sup>10</sup> A opção por qualquer um destes materiais implica não só um estudo económico como também um estudo técnico (em que seja garantida a resistência à compressão diametral do material). Esta exigência técnica é muitas vezes reforçada pela Câmara Municipal em sede de desenvolvimento do projeto. Pretende-se assim garantir que não ocorram fenómenos de esmagamento da tubagem devido ao peso das cargas do terreno ou de cargas derivadas à circulação dos veículos.

<sup>11</sup> De acordo com o guia técnico nº 17 de ERSAR. E seguindo as indicações das normas NP EN 12889:2008 (IPQ, 2008b) e NP EN 1610:2008, para as técnicas de substituição, e as normas prEN 15885:2010 para as técnicas de renovação e de reparação.





**Figura 34** - Apoio físico do coletor com recurso a perfis metálicos e abraçadeiras - Obra Estação de Metro Saldanha  
Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult



**Figura 35** - Suspensão física do coletor com recurso a perfis metálicos e cabos  
Obra Estação de Metro Saldanha  
Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult

**Tabela 5 – Rede de águas – tipos de desvio**

INFRAESTRUTURA	➤ REDE DE ÁGUAS	
PROBLEMA	MATERIAL	SOLUÇÃO TÉCNICA
Desvio definitivo	Ferro fundido, PEAD, AÇO (para grandes diâmetros)	Com execução de vala a céu aberto devidamente entivada, e as medidas de desvios de trânsito necessárias.
Desvio com suspensão física	PEAD, AÇO (para grandes diâmetros)	Podem ser aplicadas estruturas metálicas para suporte. Devem ser protegidas as tubagens de agressões físicas e dos raios ultravioletas.
Manter no local com reabilitação ou renovação	Juntas metálicas externas, juntas internas <sup>12</sup>	Reforço das juntas, tratamento de fissuras (figura 36), execução de caixas de visita para acesso de manutenção.



**Figura 36 -** Condução de água- abertura de vala para reabilitação de juntas - Obra Estação de Metro Areeiro

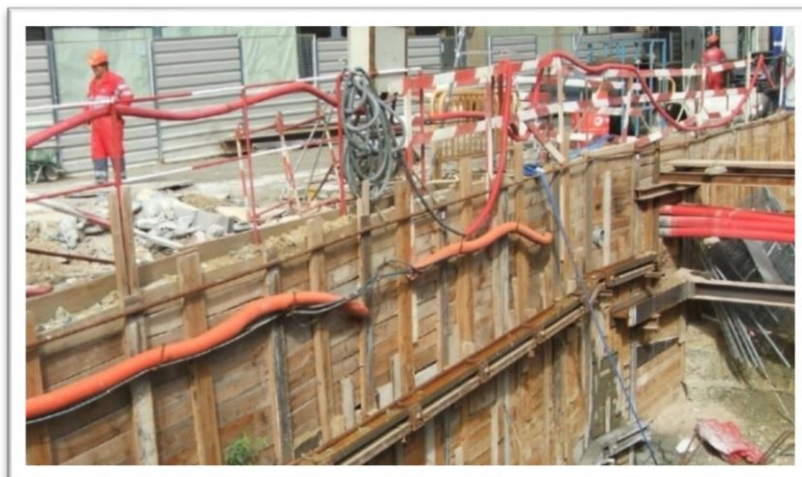
Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult

<sup>12</sup> Segundo o manual técnico da EPAL, são as mais usuais neste tipo de reabilitação. Esta solução foi aplicada na sequência das obras do Metro do Prolongamento da Linha de Vermelha Oriente / Aeroporto.

**Tabela 6 – Rede elétrica/Telecomunicações, tipos de desvio**

INFRAESTRUTURA	➤ REDE ELÉCTRICA /PT - COMUNICAÇÕES	
PROBLEMA	MATERIAL	SOLUÇÃO TÉCNICA
Desvio definitivo	Tubagem em PVC Corrugado, PEAD, Polímero reforçado em fibra <sup>13</sup> ,	Devem ser previstas valas com tubos de reserva para futuras utilizações. Execução de vala a céu aberto devidamente entivada e as medidas de desvios de trânsito necessárias.
Desvio com suspensão física	Tubagem em PVC Corrugado para instalação de cabos	Podem ser aplicadas estruturas metálicas para suporte (figura 37). Devem ser protegidas as tubagens de agressões físicas e/ou dos raios ultravioletas.
Manter no local com reabilitação ou renovação	Não aplicável	Caso seja possível manter as infraestruturas no local devem propor-se medidas de proteção/envolvimento em betão, proteção com estrutura de madeira para proteção contra raios ultravioletas.

<sup>13</sup> Materiais mais utilizados de acordo com o Manual ITUR (telecomunicações).



**Figura 37** - Suspensão física de condutas e cabos de telecomunicações e de eletricidade - Obra Estação de Metro Saldanha  
 Fonte: Base de dados da empresa Ferconsult

**Tabela 7** – Rede de gás, tipos de desvio

INFRAESTRUTURA		➤ REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS
PROBLEMA	MATERIAL	SOLUÇÃO TÉCNICA
Desvio definitivo	PEAD, Aço	Execução de vala a céu aberto devidamente entivada e medidas de desvios de trânsito necessárias. Necessidade de proteção mecânica extra em arruamento, através de aplicação de mangas metálicas ou em PVC. <sup>14</sup>
Desvio com suspensão física	PEAD, Aço	Podem ser aplicadas estruturas metálicas para suporte. Devem ser protegidas as tubagens de agressões físicas e/ou dos raios ultravioletas.
Manter no local com reabilitação ou renovação	AÇO, PEAD	Com recurso a processos de <i>pipe bursting</i> , é possível manter o alinhamento da conduta pré-existente e substituí-la com a aplicação de nova tubagem

<sup>14</sup> A concessionária de gás apresenta nas suas especificações critérios muito específicos de instalação das condutas, baseados nas diretivas legais existentes para as redes de gás.

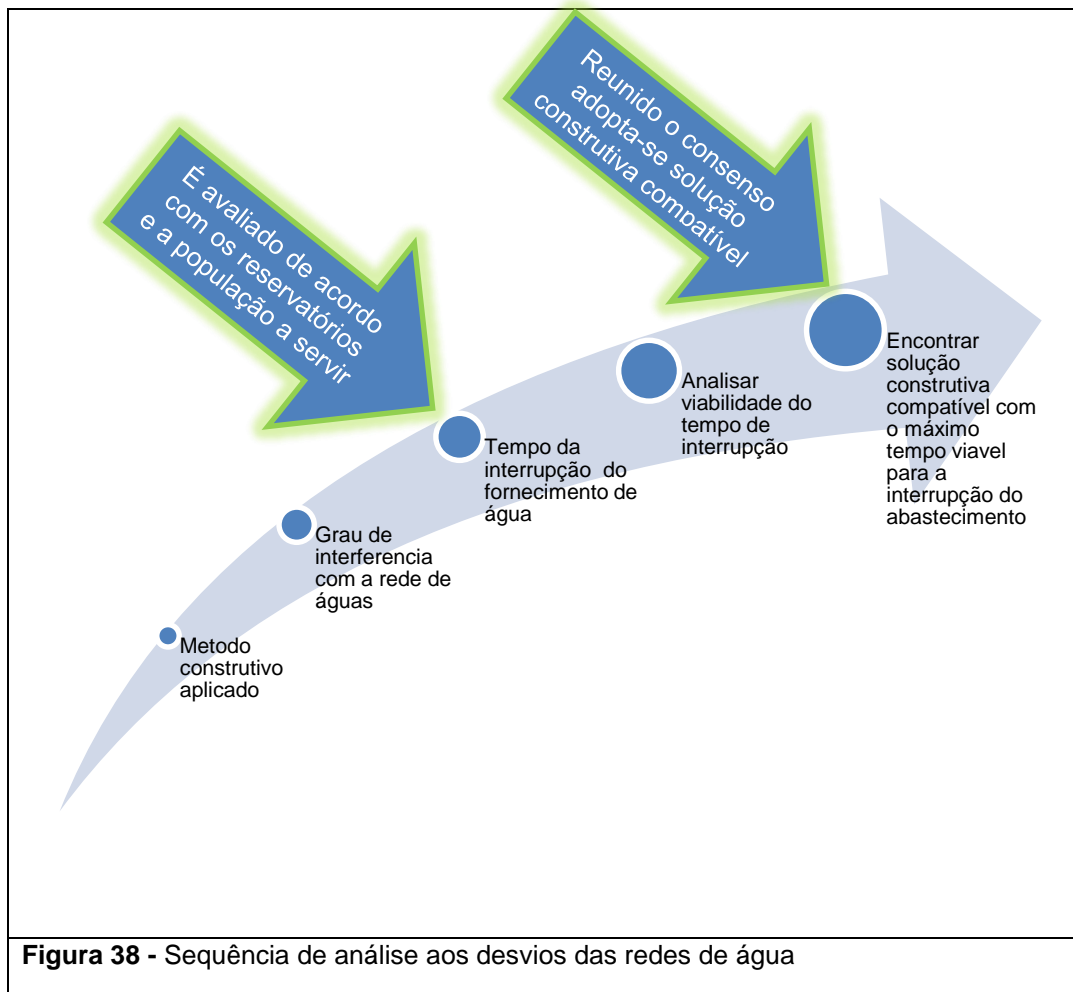
Nas tabelas 4 a 7 foram focadas as questões relacionadas com a instalação da infraestrutura em linha, isto é das condutas, no entanto haverá também a considerar a execução/ proteção/ reabilitação das caixas de visita, que muitas vezes pelas dimensões em causa representam para a obra um obstáculo.

#### 1- Caso das redes de distribuição de águas:

Quando as grandes adutoras que atravessam as cidades são alvo de possível intervenção para a execução das obras do Metro, levantam-se problemas de ordem técnica que passam pela questão vital de manter o fornecimento de água à população sem perturbações. Desta forma e de modo a minimizar tempos de paragem do serviço, o planeamento da obra deve ser estrategicamente pensado.

A sequência de ações para a definição do projeto de desvio da rede de águas inicia-se conforme identificado na figura 38, pela escolha de um método construtivo seguido da verificação dos possíveis tempos de interrupção na rede. É a concessionária que define o tempo máximo de interrupção sendo no entanto negociado com o projetista, face às características da obra, à necessidade de proceder a desvios de trânsito e aos tempos de execução das estruturas da estação de metro.

Para além de um processo construtivo adequado deverão ser aplicadas medidas complementares. Estas medidas passam pela instalação de processos de instrumentação com a inclusão de inclinómetros e extensómetros que permitam monitorizar a infraestrutura e detetar oscilações ou movimentos desadequados à manutenção da integridade da infraestrutura.



## 2 - Caso das telecomunicações:

Os casos de infraestruturas de telecomunicações que recorrem à fibra ótica para a transmissão de sinal, quando afetadas podem colocar em causa o funcionamento de agências bancárias, hospitais e outras entidades que não poderão correr risco de uma falha de informação. Para estes casos devem ser pensados desvios definitivos que minimizem as interrupções no fornecimento das telecomunicações. Tornam-se por isso desvios bastantes onerosos pois há lugar à substituição de elevadas extensões de cabos. Devido às especificidades dos cabos de fibra ótica o seu corte e nova união não pode ocorrer em qualquer local. É necessário substituir um cabo na sua totalidade entre os dois pontos de união existentes e que estão inseridos em caixas de visitas próprias. Embora a extensão de cabo diretamente afetada possa ser apenas de alguns metros a substituição pelas razões acima apresentadas pode chegar às dezenas ou centenas de metros.

### 3 - Caso da Rede de Drenagem

Esta infraestrutura tem pelas suas características físicas grande impacto para o desenvolvimento de uma obra de Metro. As profundidades, o tipo de estrutura e material e o facto de não existir grande flexibilidade para a alteração da sua cota, condicionam em muito as soluções construtivas do projeto de uma estação ou túnel de Metro. No planeamento do desvio de obras deste género é inclusive tido em consideração a melhor altura do ano para proceder ao desvio. Embora não seja possível prever com muita antecedência os fenómenos climatéricos, sempre que o espaço temporal da obra o permite tenta-se executar este tipo de desvio nas épocas de menor probabilidade de chuva. Por outro lado e de modo a prevenir inundações durante a obra, esta é planeada executando-se a quase totalidade do desvio, promovendo no final as ligações com o coletor existente. Qualquer obra desta natureza será sempre acompanhada de medidas de bombagem visando a correta execução da obra e também a garantia que o espaço envolvente não sofrerá danos nem colocará em risco a normal circulação das pessoas.

## **5.2 ANÁLISE COMPARATIVA DE DESVIOS VERSUS REABILITAÇÕES**

Nesta fase de desenvolvimento do estudo duas perguntas se impõem:

- a) Qual a percentagem de desvios definitivos/provisórios visando a construção de uma estação de Metro enterrada?
- b) Qual a percentagem de reabilitações, com manutenção das infraestruturas através do seu reforço e/ou tratamento?

A resposta a estas questões torna-se relevante na medida em que se pretende afinar a linha de estudo para as soluções mais comumente utilizadas em obras de metro subterrâneos e concluir sobre a melhor forma de executar os projetos de desvios.

Verificou-se por análise a projetos desenvolvidos nos últimos 10 anos no Metropolitano de Lisboa que em fase de projeto foram previstas na sua maioria desvios definitivos.

Foram analisados 3 projetos:

- A remodelação da Estação Areeiro;
- A execução da Estação Moscavide;
- A execução da Estação Aeroporto.

A comparação foi realizada com base na extensão em metros lineares das infraestruturas afetadas, não se considerando a distinção entre os diâmetros. Os valores apresentados são percentuais. Os resultados foram tratados e transformados em gráficos de barras para uma melhor interpretação (figuras 39, 40 e 41). Os gráficos seguidamente apresentados refletem a análise efetuada em duas dimensões: Desvios (englobando os desvios definitivos e provisórios) e Reabilitações. São apresentados resultados em %, evidenciando para cada um dos casos a % de metros de linha em referência ao total das redes analisadas.

A área de intervenção de uma nova estação implica a abertura de grandes áreas de escavação, as quais levarão necessariamente aos desvios das infraestruturas. Podem no entanto tratar-se de desvios provisórios com o posterior reposicionamento na sua posição inicial após a consolidação da obra. No caso da remodelação de uma estação, a área de intervenção será necessariamente menor, não invalidando no entanto que aconteça interferência com as infraestruturas, conforme se constatou no caso da Estação Areeiro.

Todas as infraestruturas deverão respeitar as cotas altimétricas e planimétricas, no entanto é nesta fase que se verifica na maioria das situações que o perfil tipo de instalação de redes, não consegue ser cumprido.

A razão que conduz a esse não cumprimento passa pelo surgimento de uma nova estrutura de subsolo que é a própria estação, ocupando muitas vezes, face aos diversos constrangimentos, um espaço que antes era ocupado pela infraestrutura.

Quando a concessionária impõe o restabelecimento das condições iniciais das infraestruturas, mas tal não é possível face ao constrangimento imposto pelo surgimento da estrutura da estação, poderão optar-se por soluções de proteção das infraestruturas que garantam a sua integridade física, conforme já mencionado no capítulo 3.

#### **a) Estação de Metro Areeiro**

Por análise ao gráfico da figura 39 constata-se que apenas uma das redes é sujeita a reabilitação. A grande maioria das intervenções trataram-se de desvios definitivos.





**Figura 39** - Estação Areeiro - Estudo comparativo – desvios/reabilitação  
Fonte: Elaboração própria com base em dados de projeto

Este caso deveu-se à extrema importância da infraestrutura, à não viabilidade do seu desvio por razões relacionadas com a continuidade de abastecimento de água à população e a consequente necessidade de minimização dos tempos de paragem no fornecimento.

Neste caso e após discussão do problema com a concessionária foi encontrada uma solução que permitiu viabilizar a ampliação da estação e ainda assim evitar o desvio da infraestrutura.

A solução passou por um reforço ao nível das juntas da conduta que garantam a sua estabilidade aquando das escavações necessárias para a construção das estruturas da estação.

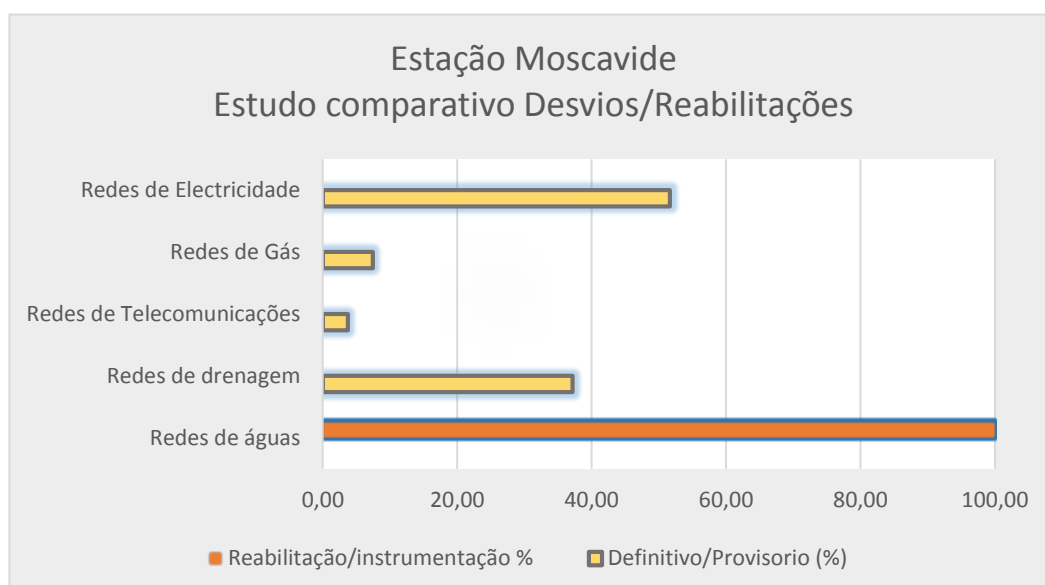
Todo o processo construtivo deve ser pensado de modo a integrar os pressupostos de proteção da conduta.

#### **b) Estação de Metro Moscavide**

Neste caso a estação é nova e insere-se num espaço urbano dominado por vias de circulação com grande afluência de transportes públicos. A estação é construída por fases já que se pretende manter a possibilidade de circulação de veículos de transporte público

e também privados. As novas estruturas nomeadamente dos acessos à estação que se localizam nos passeios iriam interferir com as infraestruturas existentes. Assim verificou-se a necessidade de desviar as infraestruturas.

No caso de uma rede de águas que pela profundidade e dimensão não permitia o seu desvio, houve lugar à sua reabilitação e a um ajustamento no projeto da estação para permitir a manutenção da conduta.

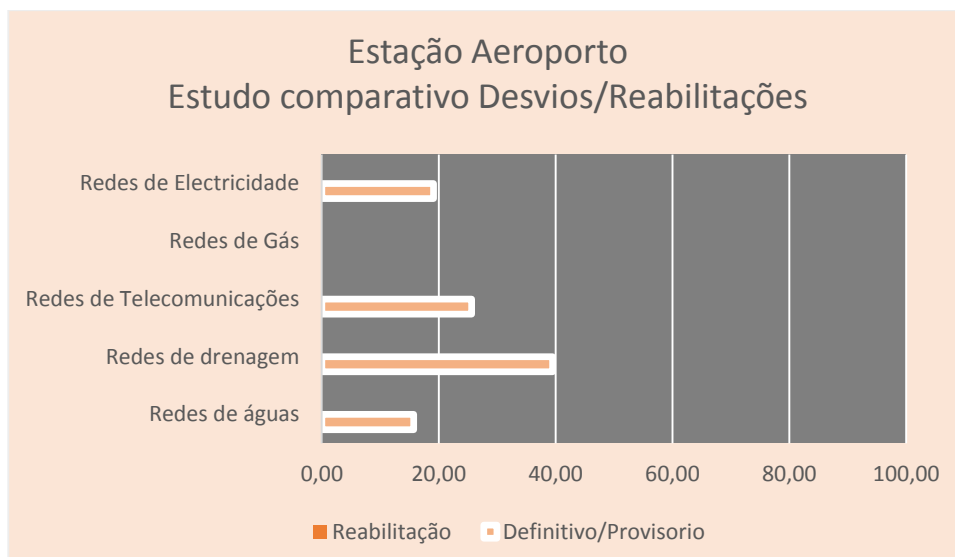


**Figura 40** - Estação Moscavide - estudo comparativo – desvios/reabilitação  
Fonte: Elaboração própria com base em dados de projeto

### c) Estação de Metro Aeroporto

Também no caso da Estação Aeroporto, inserida numa área em que a manutenção da circulação automóvel é crucial, foram propostos desvios faseados, coordenando tais desvios com as várias etapas de execução das estruturas da estação.

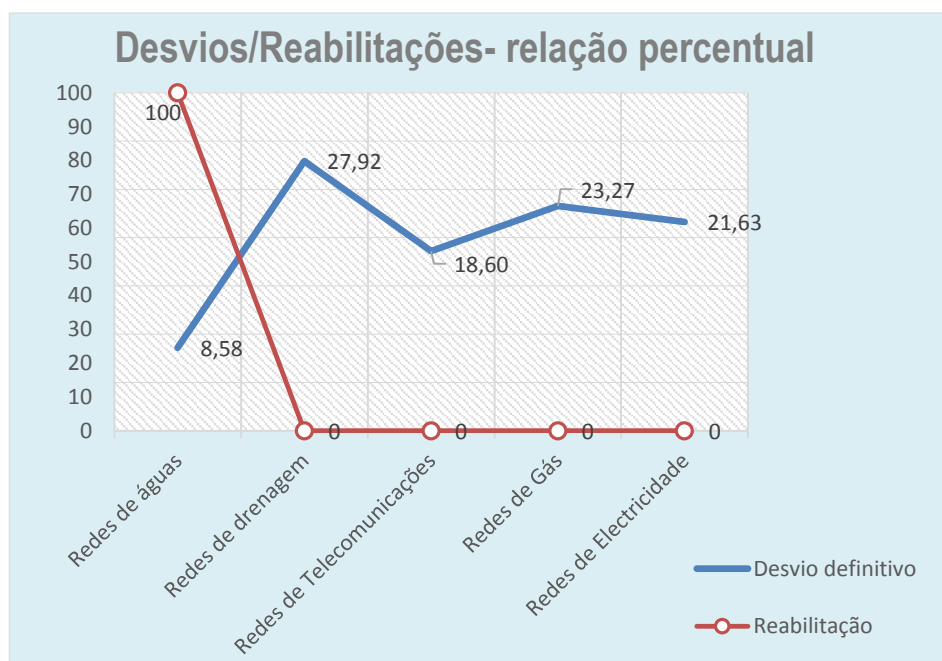
Nesta obra verificou-se não existir uma grande densidade de infraestruturas, tendo no entanto sido necessário prever desvios definitivos e adaptações do projeto da estação, num dos seus acessos, às infraestruturas de drenagens existentes.



**Figura 41** - Estação Aeroporto - estudo comparativo – desvios/reabilitação  
 Fonte: Elaboração própria com base em dados de projeto

#### d) Estudo comparativo

Por leitura no gráfico apresentado na figura 42 que compara os resultados entre as três estações, em termos percentuais relativos à extensão de desvio realizada, verificou-se a ocorrência de uma maior percentagem com 27.92% de desvios definitivos/provisórios na rede de drenagem. Os constrangimentos altimétricos que não permitem a manutenção destas redes, durante a execução da estação, são a principal causa.



**Figura 42** - Estudo comparativo entre as 3 estações – desvios/reabilitação  
 Fonte: Elaboração própria com base em dados de projeto

Torna-se portanto interessante explorar as técnicas associadas à execução das redes de coletores, pelo que o estudo caso apresentado no capítulo 6, refletirá o resultado da informação tratada e adquirida durante o desenvolvimento desta dissertação.

Por outro lado na rede de distribuição de águas, verificou-se existir uma percentagem significativa de reabilitações (a única rede em que se verificou reabilitações). Esta situação deveu-se ao facto de ocorrerem interferências com as grandes condutas de distribuição cuja cota altimétrica não colide com a estrutura da estação, mas que ainda assim estão próximas da obra de metro. Nestes casos são desenvolvidos todos os esforços de modo a manter a conduta operacional através da inclusão de estruturas de suspensão/apoio e reabilitação da conduta com o tratamento de fissuras.

São muitas vezes desenvolvidas estruturas de suporte e proteção que permitam a sua integridade física e/ou realizado reforço da própria conduta através de aplicação de revestimentos internos na zona das juntas e também de acessórios em aço, existentes no mercado e que se aplicam em torno das juntas.

Para tratamento interno são aplicadas resinas que tratam fissuras e para condutas de grandes diâmetros poderão ainda ser aplicadas juntas elásticas tal como identificado por Almeida e Cardoso (2010). Algumas destas técnicas foram aplicadas na reabilitação de condutas de água no âmbito das obras de Metro da Linha Vermelha Oriente/Aeroporto.

### **5.3 INQUÉRITOS ÀS EMPRESAS DE PROJETO**

#### **5.3.1 RESULTADOS DOS INQUÉRITOS AOS PROJETISTAS**

Foi desenvolvido um inquérito para aplicação às empresas de projeto, com curriculum na área dos desvios de infraestruturas. O objetivo deste inquérito era avaliar quais os pressupostos mais relevantes para o desenvolvimento dos projetos de desvios, quais as dificuldades sentidas pelas empresas e de que modo as mesmas são ultrapassadas.

O modelo do inquérito encontra-se indicado na figura 43.

<b>Questionário às empresas de projecto</b>	
<b>Percepção das empresas de projecto às principais dificuldades encontradas para a execução dos projectos de desvios das infraestruturas nomeadamente de colectores e águas</b>	
<b>Quais os principais problemas detectados ao nível do projeto (atribuir classificação em função do grau de importancia de 1 menos a 4 mais)</b>	
Dificuldades na análise aos cadastros das redes existentes	
Dificuldades no acesso à informação junta das concessionárias	
Por ausência de dados topográficos	
Por ausência de dados de sondagens	
<b>Principais técnicas de execução identificadas ao nível de projecto como necessárias para a pressecução dos objectivos</b>	
<b>Quais os métodos mais aplicados nos últimos 10 anos classificando de 1 a 4 por grau de importancia (1 menos a 4 mais)</b>	
Instalação de tubagem com recurso à execução de vala aberta	
Instalação de tubagem com recurso à técnica de renovação	
Instalação de tubagem com recurso à técnica de construção por metodos de escavação dirigida	
Tratamento das condutas com recurso à técnica reparação	
<b>Na elaboração do projecto qual o grau de prioridade estabelecida para as acções descritas</b>	
<b>Classificando de 1 a 5 (1 menos importante e 5 mais)</b>	
Procura da sistematização dos processos de execução	
Preocupação na adaptação às exigências da obra	
Identificação preliminar de fases de obra versus desvios de transito	
Estudar a viabilidade de execução de desvios com o menor impacto sobre população obra, transito	
Outra situação. Qual?.....	

<b>Listagem de técnicas</b>
<b>Técnica de Renovação/Reabilitação</b>
Pipe Bursting (técnica de renovação com instalação de condutas PEAD no interior de condutas existentes)
Revestimento projetado
<b>Técnica de construção/instalação/substituição</b>
Instalação de tubo com Vala aberta
HDD - Horizontal directional drilling (perfuração dirigida)
Microtunnelling (perfuração dirigida)
Pipe Jacking (perfuração com cabeça rotativa e cravação de tubo)
Pipe Ramming (cravação de tubo em aço)
<b>Técnica de reparação</b>
Reforço de juntas: Qual o metodo?.....
Reparação por enchimento com argamassa para tratamento de juntas
outras técnicas.Quais?.....

**Figura 43 – Modelo de questionário às empresas de projeto**

Neste sentido foram colocadas três questões:

- a) Quais as dificuldades na execução dos projetos?
- b) Quais as principais técnicas de execução identificadas ao nível do projeto?
- c) Qual o grau de prioridade das ações relacionadas com a execução dos projetos?

Foram auscultadas três empresas de projeto tendo sido tratados os dados recolhidos através da aplicação de uma média aritmética, obtendo-se os resultados que se encontram explanados nos gráficos apresentados nas figuras 44, 45 e 46.

Uma das empresas corresponde à empresa Ferconsult SA tendo a autora da presente dissertação expressado as suas respostas enquanto profissional da área. As outras duas empresas são entidades reconhecidas no setor tendo o inquérito sido respondido por engenheiros que desenvolvem atividade nesta área em concreto.

A atribuição de pontuação a cada grupo de questões foi definida por ordem numérica de 1 a 5 ou de 1 a 4, tendo sido solicitado às empresas que atribuíssem pontuação conforme o grau de importância que atribuíam às questões dentro de cada um dos três grupos de questões. Na tabela 8 resumem-se as respostas dadas.

	QUESTÕES	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	MÉDIA
Questão 1	Dificuldades na análise aos cadastros das redes existentes	3	2	3	2,67
	Dificuldades no acesso à informação junta das concessionárias	1	1	1	1,00
	Por ausência de dados topográficos	2	3	2	2,33
	Por ausência de dados de sondagens	4	4	4	4,00
Questão 2	Instalação de tubagem com recurso à execução de vala aberta	4	4	4	4,00
	Instalação de tubagem com recurso à técnica de renovação	3	3	3	3,00
	Instalação de tubagem com recurso à técnica de construção por métodos de escavação dirigida	2	1	2	1,67
	Tratamento das condutas com recurso à técnica reparação	1	2	1	1,33
Questão 3	Procura da sistematização dos processos de execução	1	2	1	1,33
	Preocupação na adaptação às exigências da obra	4	4	4	4,00
	Identificação preliminar de fases de obra versus desvios de trânsito	5	5	5	5,00
	Estudar a viabilidade de execução de desvios com o menor impacto sobre população obra, trânsito	3	3	3	3,00

**Tabela 8** – Tratamento dos questionários às empresas

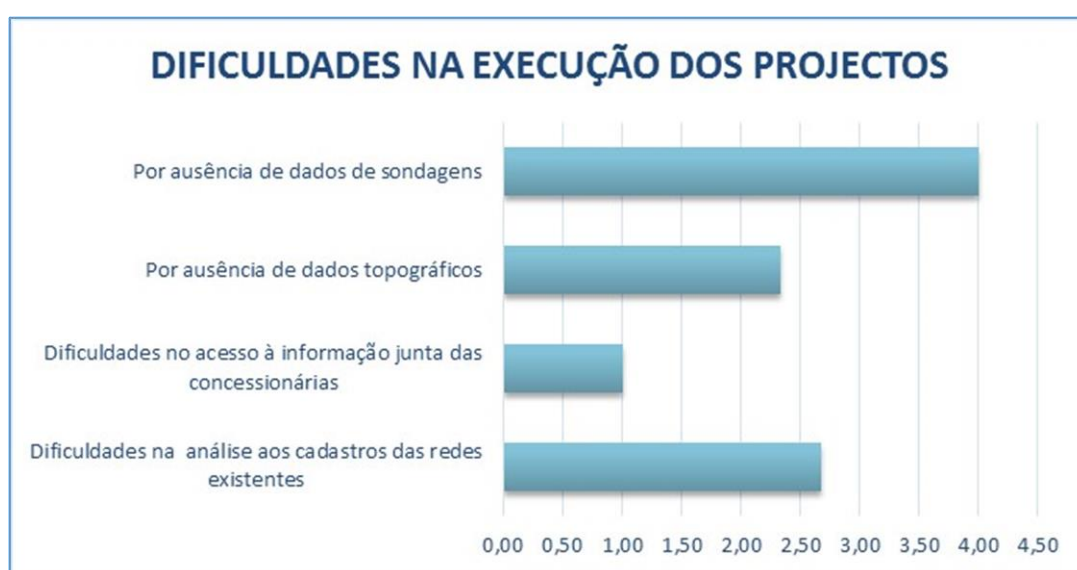
### a) Dificuldades na execução dos projetos

Na elaboração do projeto de desvios de infraestruturas vários poderão ser os fatores causadores da menor eficácia na identificação das soluções mais económicas e tecnicamente de maior facilidade de execução.

Um dos aspetos já focados em pontos anteriores prende-se com o facto das informações prestadas pelas concessionárias nem sempre estarem atualizadas e/ou serem meramente informativas não espelhando a realidade face ao efetivamente instalado.

Por outro lado constata-se não existirem disponíveis ou não estarem previstos no âmbito dos contratos realizados com os clientes, os elementos que se prendem com os levantamentos topográficos necessários à correta identificação das infraestruturas, ou com a execução de sondagens para deteção das mesmas.

Por análise ao gráfico da figura 44 conclui-se que efetivamente a ausência de sondagens e a dificuldade na análise aos cadastros das redes existentes serão as principais dificuldades encontradas pelo projetista.



**Figura 44** - Dificuldades na execução de projetos

Fonte: Elaboração própria com base no questionário a empresas de projeto

## **b) Métodos mais aplicados**

No desenvolvimento do projeto e na sequência dos métodos identificados anteriormente foi questionado às empresas quais os métodos que mais frequentemente são propostos nos projetos.

Verificou-se que continua a ser o método de instalação de tubagem em vala a céu aberto o mais aplicado (figura 45).

As técnicas de instalação de condutas menos utilizadas são as que implicam o recurso a perfuração dirigida. Neste caso poder-se-á pensar que existe ainda em Portugal alguma

resistência à utilização das técnicas e equipamentos existentes no mercado e por isso não são indicados como possibilidade para a execução da instalação da infraestrutura. Existem no entanto em Portugal empresas que executam os trabalhos de instalação das tubagens ou alugam os equipamentos necessários aos métodos de escavação dirigida.

O tratamento de condutas através da sua reparação terá menos aplicação, pois no âmbito dos trabalhos de desvios de infraestruturas será de menor aplicação, já que por norma as infraestruturas são deslocalizadas. Será no entanto de salientar que para os coletores existentes na proximidade das obras e que serão mantidos, a reparação é algo de efetivamente importante.

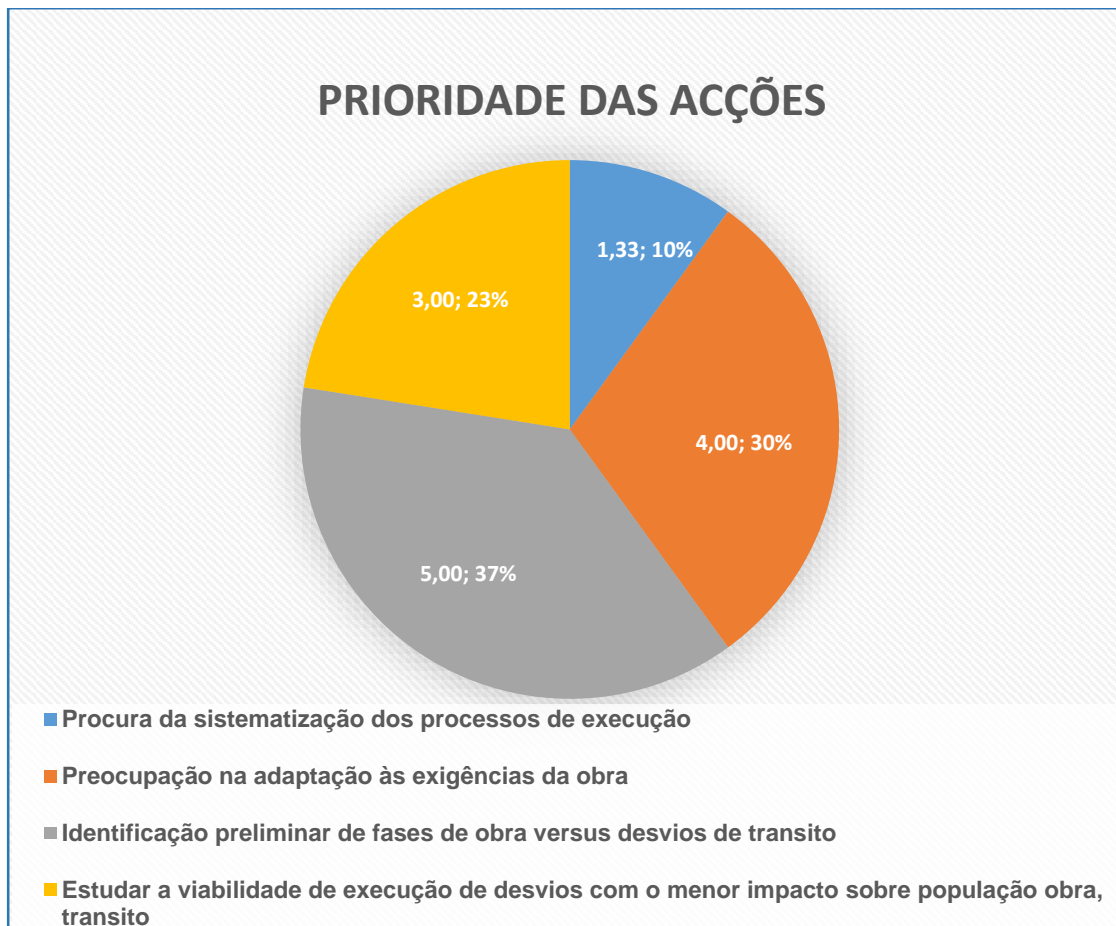


**Figura 45 - Métodos de instalação de tubagens mais aplicados**  
Fonte: Elaboração própria com base no questionário a empresas de projeto

### c) Prioridades na execução dos projetos

A questão exposta através do gráfico da figura 46, pretende colocar à discussão quais as ações priorizadas pelo projetista na elaboração de um projeto de desvios de infraestruturas.





**Figura 46** - Prioridade das ações a desencadear na elaboração dos projetos  
 Fonte: Elaboração própria com base no questionário a empresas de projeto

Verifica-se que o projetista identifica como ação prioritária com 37% de prevalência, a adequação dos desvios das infraestruturas às fases de obra e conseqüentemente aos desvios de trânsito. Esta etapa do processo torna-se extremamente relevante já que, e de acordo com os resultados expressos no gráfico anterior (gráfico da figura 45 - Métodos mais aplicados), o método mais utilizado para a instalação das infraestruturas será a vala aberta. Assim a análise cuidada das várias fases de desvio e das suas implicações na ocupação dos espaços pedonais e rodoviários, revela-se efetivamente como uma medida minimizadora das conseqüências para obra e população em geral.

Os desvios de trânsito serão coordenados com os faseamentos construtivos da obra e com as várias fases de desvio das infraestruturas.

### 5.3.2 ANÁLISE E CONCLUSÕES DOS INQUÉRITOS

No desenvolvimento do processo, o projetista aplica os métodos mais correntes, não indicando como hipóteses alternativas para a execução dos desvios, os métodos de *trenchless*. Apresenta de forma objetiva uma preocupação com a população em geral na medida em que são considerados desvios que minimizem tempos de corte dos serviços e transtornos ao nível dos necessários desvios de trânsito.

## **CAPÍTULO 6. ESTUDO DE CASO: METRO DE LISBOA - DESVIO DO COLECTOR NO TROÇO 98º DA LINHA VERMELHA ORIENTE/AEROPORTO**

### **6.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO**

Na definição do traçado de Metro do Prolongamento da Linha Vermelha Oriente/Aeroporto, vários foram os dados de entrada verificados, desde as características dos terrenos aos constrangimentos altimétricos provocados quer pela morfologia do terreno quer por prédios e respetivas caves.

O perfil do traçado foi estudado e adaptado de acordo com os vários *inputs*, tendo sempre por base o cumprimento dos critérios de cálculo do traçado como as inclinações máximas e mínimas da via e os recobrimentos mínimos exigidos pelo método construtivo do túnel.

Relativamente às redes de coletores, na grande maioria das situações foi necessário efetuar desvios, para fora da área de construção das Estações.

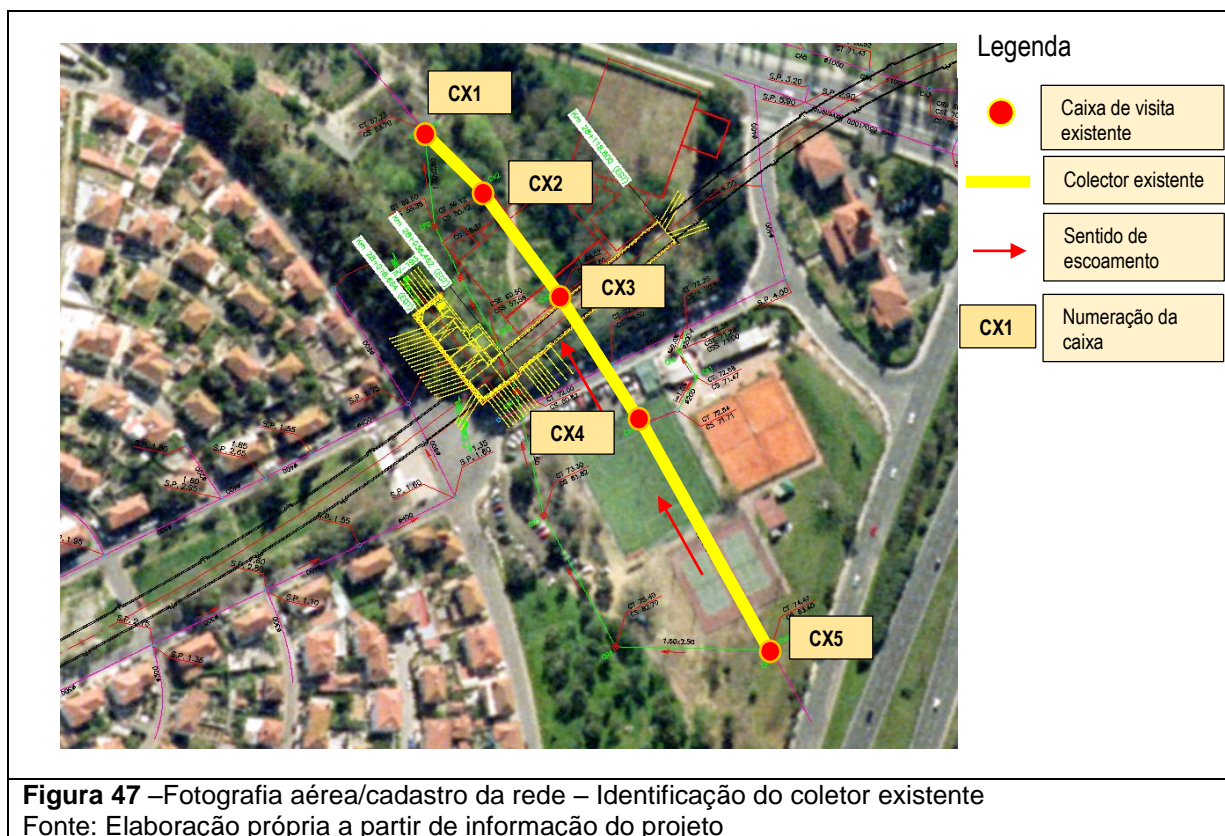
No entanto no caso particular do túnel do troço 98º, entre a Estação Encarnação e a Estação Aeroporto conforme indicado na figura 47, identificou-se a impossibilidade de manutenção de um coletor existente, a elevada profundidade que colidiria com o túnel de metro. Na impossibilidade de rever o perfil do traçado devido a constrangimentos de ordem técnica, procedeu-se à análise e proposta de desvio do coletor conforme implantação indicada na figura 47.

O desvio em planta, conforme se pode verificar na figura 47, implicou ser necessário adotar menores inclinações de modo a serem cumpridas as cotas de início e final do traçado, para correta ligação à rede existente.

### **6.2 SOLUÇÃO DO PROJETO**

#### **a) Identificação das características do coletor existente**

1º - É solicitado à Câmara Municipal de Lisboa as características, material e local de implantação do coletor. Os dados são sobrepostos em planta com a infraestrutura do Metropolitano de Lisboa e são verificadas as interferências existentes.



**Figura 47** –Fotografia aérea/cadastro da rede – Identificação do coletor existente  
 Fonte: Elaboração própria a partir de informação do projeto

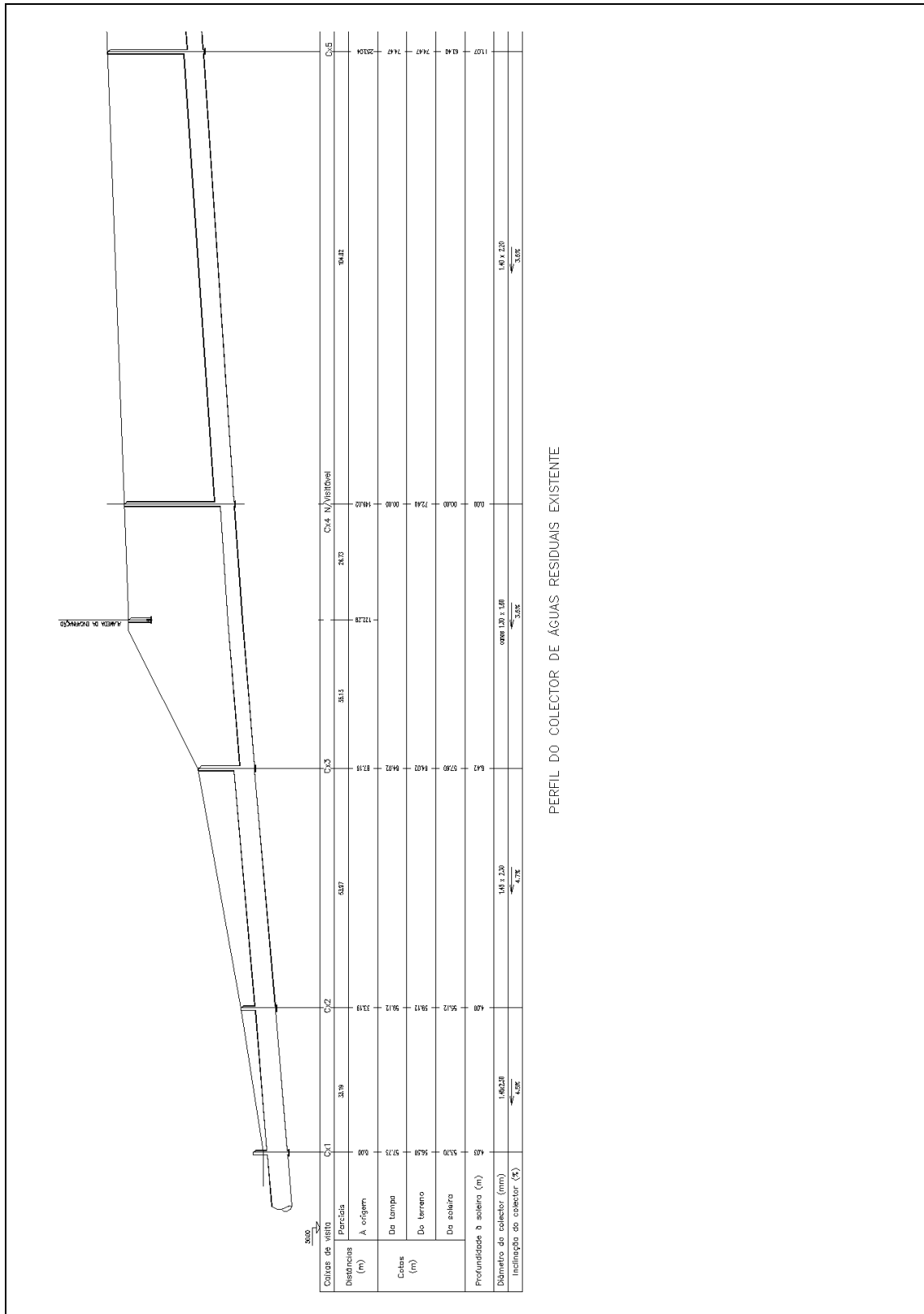
2º - É realizada a confirmação dos dados de cadastro fornecidos através do levantamento topográfico. Este levantamento consiste na localização das tampas das caixas de visita e na verificação das cotas de soleira das caixas e coletores que foram levantadas. A informação é posteriormente transposta para a planta de trabalho e são então realizados os ajustes ao traçado do coletor. Na tabela 9 resumem-se as características da rede de drenagem existente.

**Tabela 9** – Caracterização do coletor existente

Trecho	Inclinação do coletor ( %)	Diâmetro (m)	Material
CX1 – CX2	4.5	Oval 1.45*2.20	Betão
CX2 – CX3	4.7	Oval 1.45*2.30	Betão
CX3 – CX4	3.5	3 canos 1.30*1.60	Betão
CX4 – CX5	3.5	Oval 1.4*2.20	Betão

Fonte: Elaboração própria com base em dados do projeto

Após a caracterização em planta é definido o traçado em perfil conforme representado na figura 48.



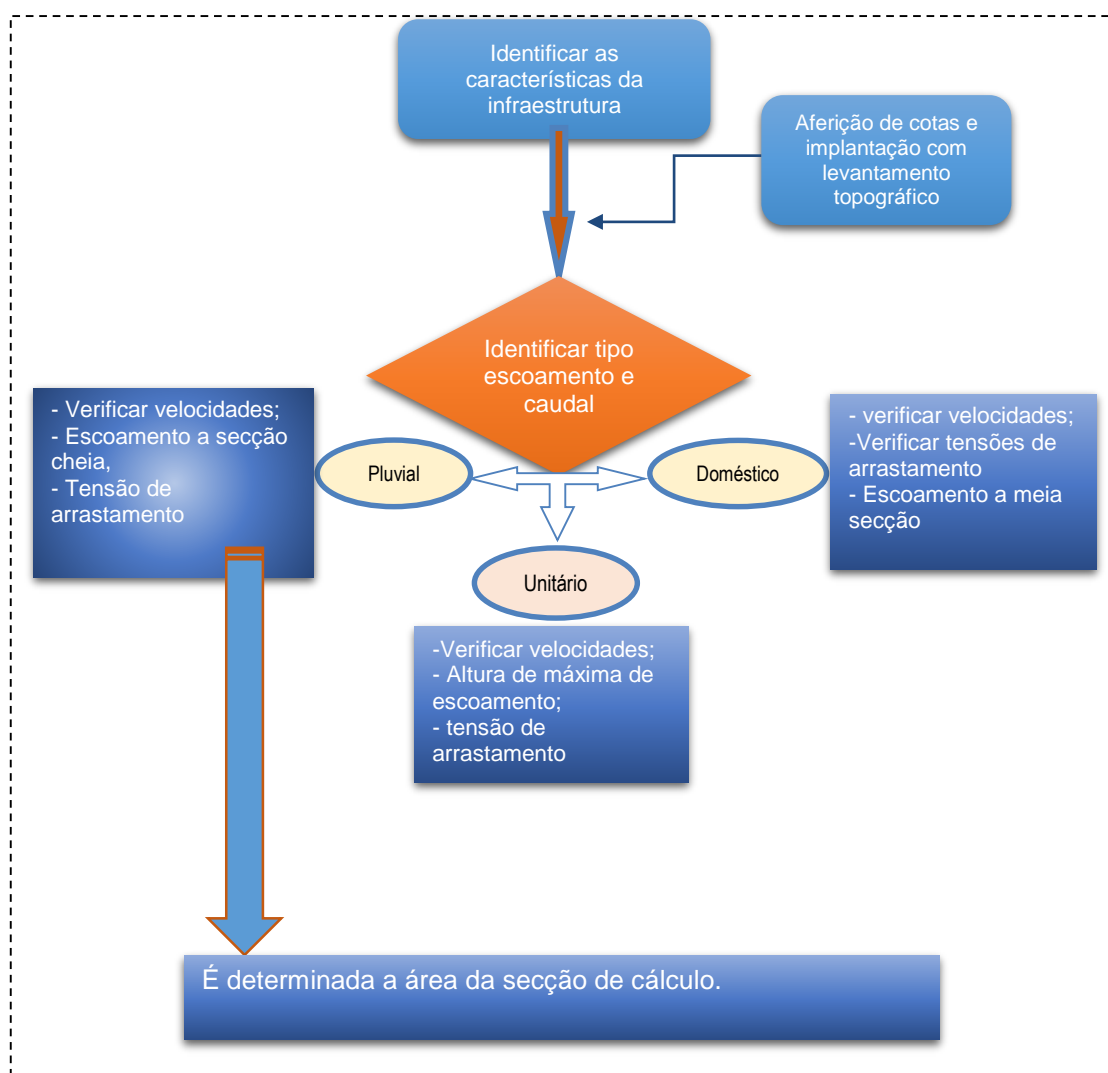
PERFIL DO COLECTOR DE ÁGUAS RESIDUAIS EXISTENTE

**Figura 48** - Perfil do coletor existente a desviar  
 Fonte: Projeto de ocupações de subsolo – Linha Vermelha

3º - Identificação do tipo de coletor, pluvial, doméstico ou unitário. Esta informação é cedida pela Câmara Municipal de Lisboa e torna-se primordial pois após a identificação da necessidade de desvio do coletor deverá ser realizada a análise à capacidade de escoamento de modo a ser garantida no mínimo a mesma capacidade.

b) Análise ao caudal escoado

A análise à capacidade de escoamento teórica do coletor seguiu a sequência identificada na figura 49.



**Figura 49** - Sequência de cálculo

Uma das indicações da Câmara de Lisboa foi que o projetista considerasse para aferição do caudal de cálculo, as condições do coletor mais a jusante e não o troço de coletor inicial.

Concluiu-se assim que para o coletor instalado as condições eram as expressas na tabela 10.

**Tabela 10 – Caracterização do coletor existente**

<b>Caracterização do coletor existente</b>							
<b>Dimensão</b>	<b>Inclinação</b>	<b>K</b>	<b>Secção Molhada</b>	<b>Perímetro molhado</b>	<b>Raio Hidráulico</b>	<b>Q</b>	<b>V</b>
(m)	%	(m <sup>1/3</sup> /s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)
Oval 1,40*2,45	2,4	75	2,76	6,29	0,44	18,61	6,72

Fonte: Elaboração própria com base em dados do projeto

Como se pode verificar para o pressuposto de funcionamento a secção cheia e inclinação existente, a rede de drenagem apresenta uma velocidade superior à máxima admissível de 5 m/s (regulamento 23/95).

O coletor proposto seria executado em vala a céu aberto segundo o perfil apresentado na figura 50 com profundidade média de 11 metros.

A secção proposta para o coletor seria de 1.5 por 2.5 m conforme ilustrado na figura 51.

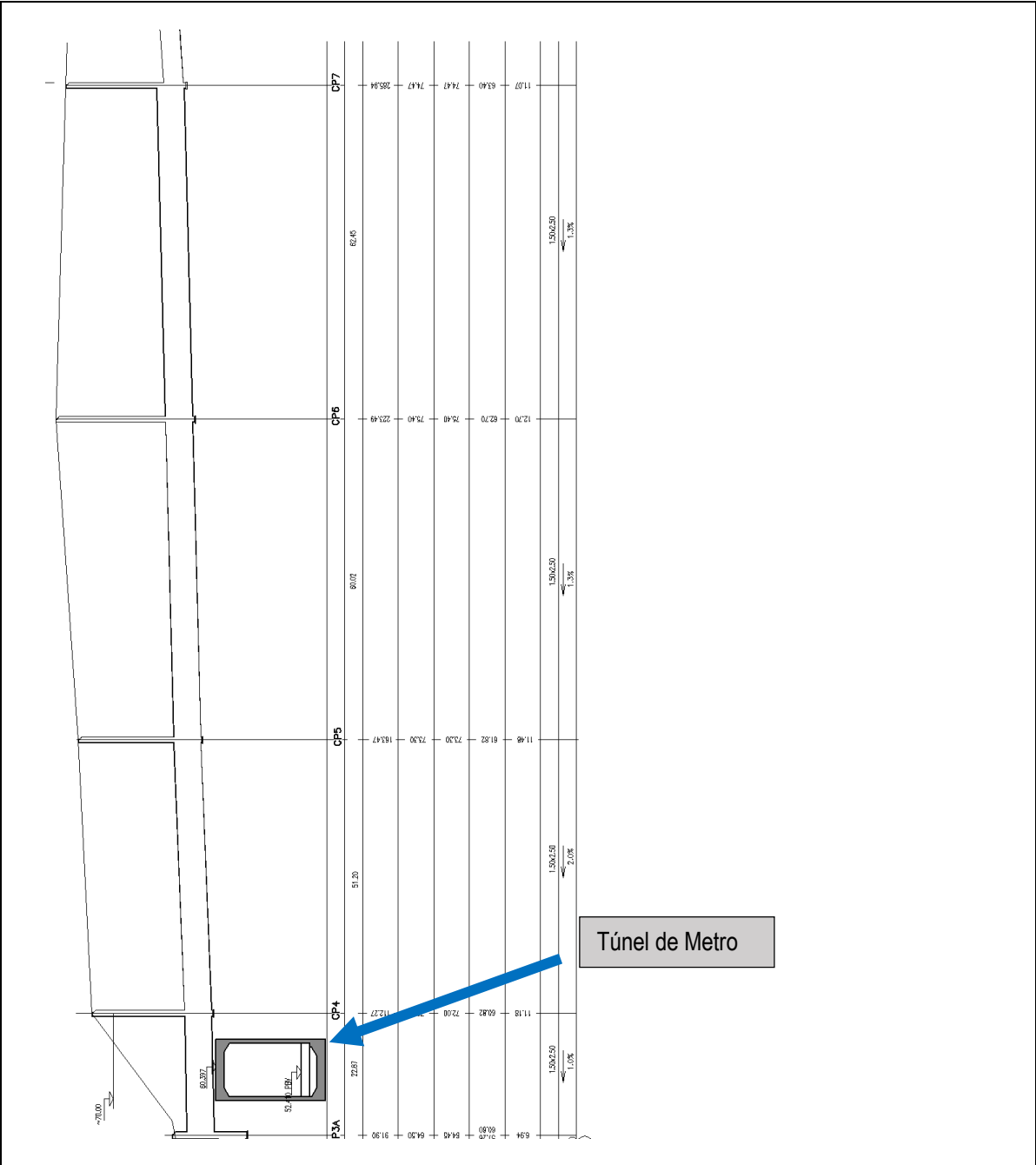


Figura 50 –Projeto de desvio do coletor

Fonte: Projeto de ocupações de subsolo – Linha Vermelha

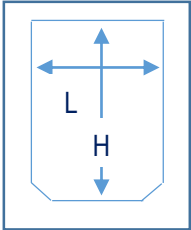


Figura 51 – Secção de coletor proposta em projeto (L= 1,5m x H=2,5m)



c) Constrangimentos altimétricos

- A cota de implantação do túnel de metro, que resulta da conjugação de vários fatores, entre eles os critérios adotados pelo projeto de traçado da via que incluem as inclinações máximas e mínimas de traçado e os fatores que condicionam a inserção do traçado;
- Existência de infraestruturas de edifícios, como por exemplo as caves, que obrigam a que o traçado da linha de metro tenha determinada profundidade;
- Recobrimentos mínimos que permitam a aplicação do método de escavação previsto para a execução do túnel.

d) Constrangimentos planimétricos

Como constrangimentos planimétricos surgem as edificações ou propriedades particulares, que possam estar nas imediações da implantação do coletor.

Não cabendo no âmbito desta dissertação a discussão sobre as questões de propriedade da área onde se encontra implantada a infraestrutura, importa salientar que a solução encontrada para o projeto de desvio da infraestrutura, apenas pode ser aplicada com a aprovação da intervenção na área pelas entidades detentoras dos espaços.

e) Identificação da solução adotada em projeto

A extensão de coletor existente a desviar, é constituída por troços de dimensões que variam entre um conjunto de 3 secções de 1300\*1600 mm a uma secção oval de 1450\*2300 mm.

Nos dados obtidos por cadastro não é perfeitamente claro onde se inicia o coletor sendo no entanto possível identificar que o coletor a montante da caixa CP7 existente é oriundo da área do aeroporto.

Uma vez que os dados fornecidos pela CML apenas referem o traçado existente, dimensões e profundidades das caixas de visita, não sendo fornecida qualquer informação quanto aos caudais que foram considerados do projeto do mesmo, foram assumidos os seguintes pressupostos de modo a determinar-se um caudal de cálculo:

- 1 – Foi considerado que no troço em estudo não existem ramais intermédios que possam contribuir com caudal;
- 2 – Foi determinada a capacidade de caudal máximo instalada através das características do coletor – da sua dimensão e inclinação;

3 – De acordo com o cadastro o coletor é pluvial pelo que se considerou no cálculo escoamento a secção cheia.

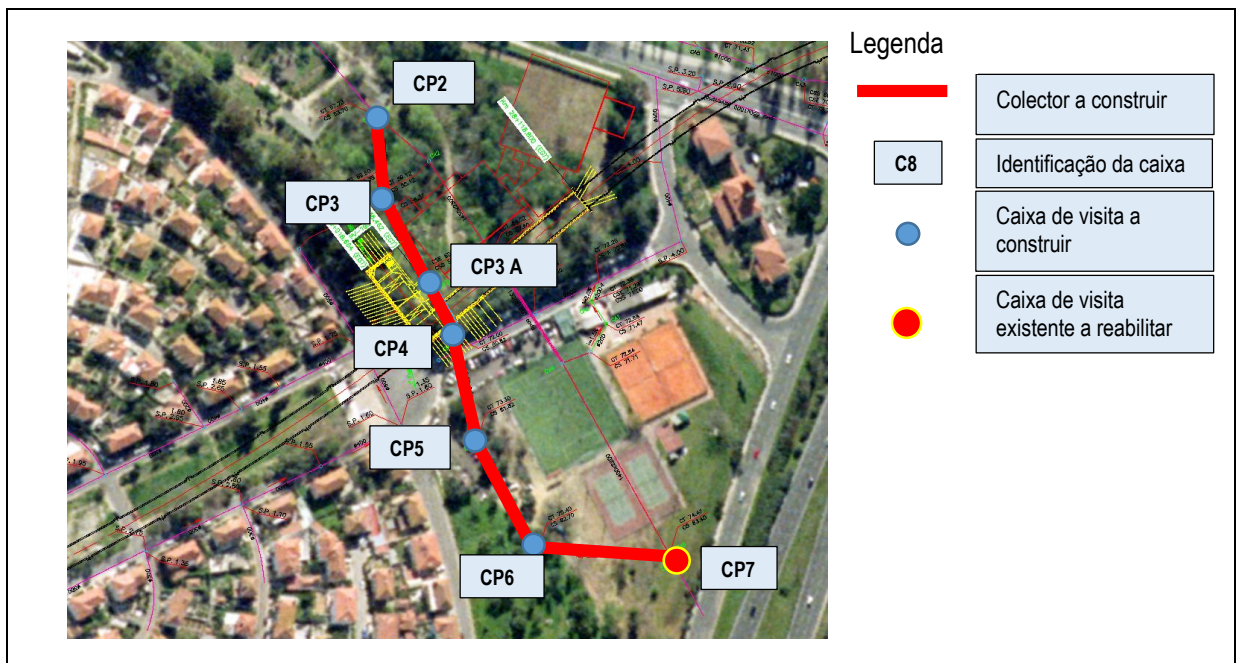
Numa segunda etapa do estudo e após as considerações tecidas pela CML ao projeto enviado para aprovação, foi analisada a capacidade de escoamento do troço do coletor oval existente mais a jusante de dimensões 1.40\*2.45 mm.

Após identificadas as características do coletor a desviar indicadas na tabela 10, foi calculada a capacidade de transporte do coletor.

Foram analisadas várias soluções de traçado do ponto de vista planimétrico e altimétrico que garantissem:

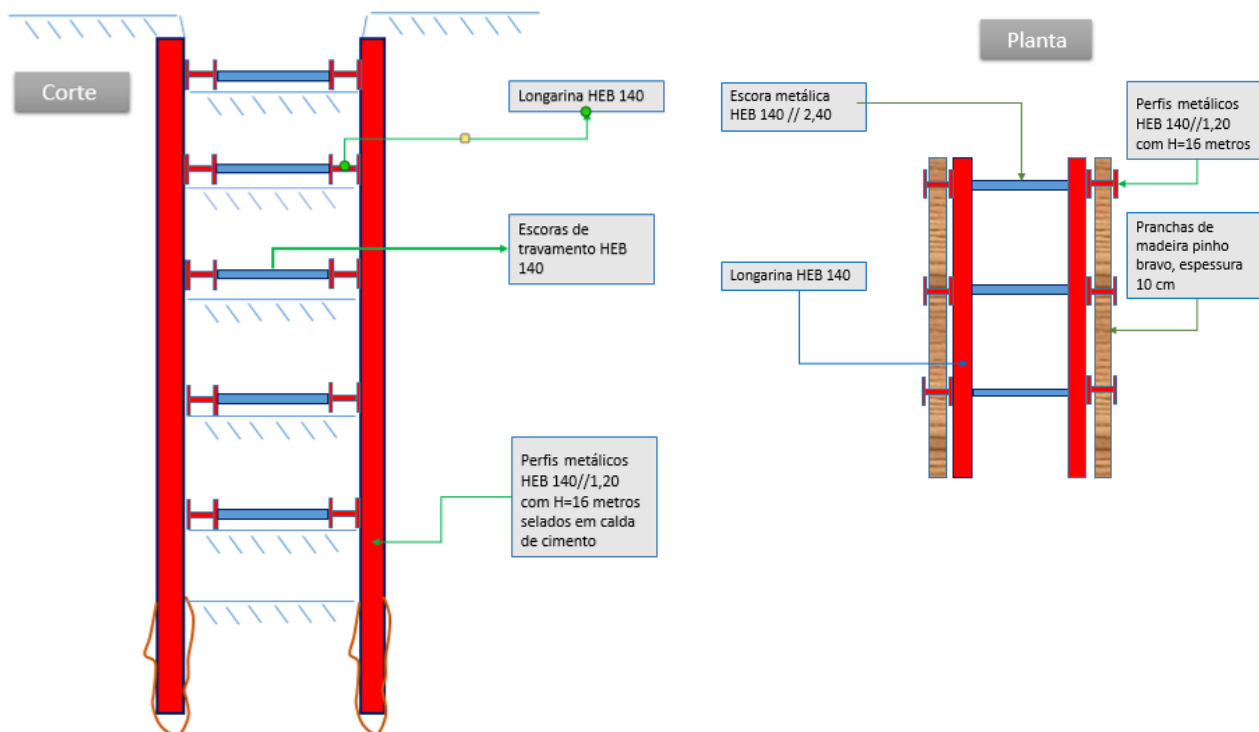
- A execução do túnel de Metro;
- Que não afetassem as infraestruturas existentes nomeadamente habitações, os campos de desporto e também as outras infraestruturas de subsolo que existiam na área de intervenção da obra de desvio do coletor.

Foi então projetada uma solução de desvio de coletor em vala, entre a caixa CP7 e a Caixa CP2. Uma das premissas para o traçado do coletor era a de que a obra não poderia impedir o normal funcionamento dos campos de jogos como se mostra na figura 52.



**Figura 52** – Caracterização do desvio do coletor em planta  
Fonte: Elaboração própria com base em dados do projeto

Para medidas de proteção e estabilidade da vala seria aplicada uma contenção tipo Berlim escorada, conforme indicado no esquema da figura 53 (elaborado no âmbito da presente dissertação).



**Figura 53** – Esquema de contenção tipo berlinense para contenção das paredes da vala.

Este tipo de contenção é aplicada a terrenos em zonas urbanas, acima do nível freático com características médias a boas. Caso haja nível freático deverão ser previstas as medidas de drenagem/bombagem necessárias que garantam a proteção da vala e o normal seguimento dos trabalhos.

Relativamente a eventuais ligações clandestinas a este coletor, foram analisados os seguintes dados:

- Sendo um coletor a elevada profundidade;
- Existindo apenas uma habitação próxima deste coletor mas com a indicação de traçado de coletor doméstico a pouca profundidade e com ligação à rede de coletores do arruamento;
- Existindo redes de coletores a menor profundidade que servem as habitações dos quarteirões adjacentes;

Conclui-se que o coletor em análise estaria a receber águas pluviais das bacias a montante, isto é, entre o ponto inicial de desvio e o ponto final já após a passagem sobre o túnel de Metro não existiriam ligações intermédias, quer de ramais pluviais quer ligações ilícitas de esgotos. Ainda assim foi indicado que o empreiteiro deveria verificar/validar através de inspeção vídeo as condições do coletor existente.

A introdução do túnel de Metro sob a secção de coletor entre as caixas de visita CP4 e CP 3A implicou a necessidade de rever cotas de soleira dos coletores através da redução da inclinação do traçado, conforme identificado na tabela 11.

Para além da revisão em perfil, também a necessidade de evitar a escavação da vala, na zona dos campos desportivos que se pretendiam manter em exploração, agravou a redução da inclinação por se tornar necessário aumentar a extensão do coletor.

**Tabela 11** - Caracterização da extensão de coletor a desviar

Trecho	Inclinação do troço	Dimensão	Material
	(%)	(m)	(-)
CP3A-CP4	1	Retangular 1.5*2.5	Betão
CP4-CP5	2	Retangular 1.5*2.5	Betão
CP5-CP6	1.3	Retangular 1.5*2.5	Betão
CP6-CP7	1.3	Retangular 1.5*2.5	Betão

Fonte: Elaboração própria com base em dados do projeto

### 6.3 ESTUDO DE SOLUÇÃO ALTERNATIVA AO PROJETO PROPOSTO

#### a) Seleção do método *trenchless*

Após analisadas as várias técnicas disponíveis para instalação de condutas sem abertura de vala (indicadas no capítulo 3), tendo em conta o tipo de infraestrutura a construir, a sua

dimensão e extensão, identificou-se como solução alternativa que melhor se parece adequar ao traçado, tipo de solo e extensão, o *microtunneling* com recurso ao equipamento de *pipejacking*.

Segundo a análise realizada a Ueki, *et al.* (1999) este método permite a cravação de tubos em betão reforçado sendo viável, para a extensão<sup>15</sup> e tipo de terreno onde se pretende instalar o coletor.

Tendo em consideração no método de *microtunneling*<sup>16</sup> existem várias hipóteses de cabeças de perfuração recorreu-se à metodologia apresentada por Ueki, *et al.*, (1999), na qual são definidas várias etapas até à seleção final do método mais adequado.

São analisados os parâmetros como o tipo de solos, a profundidade da conduta, a existência de nível freático, sendo o resultado final a escolha do modelo de máquina a aplicar.

Para as características deste projeto Ueki, *et al.* (1999: 124-126), indicam que o método *microtunneling* é considerado mais económico do que a execução em vala aberta, dado que a profundidade de instalação excede 6 metros.

Assim e no pressuposto de que os terrenos em causa são constituídos por solos coesivos e com baixo nível freático, o equipamento de *microtunneling* mais indicado será segundo o estudo de Ueki, *et al.* (1999), o *pipejacking slurry machine*.

#### b) Adaptação do traçado e perfil ao método trenchless

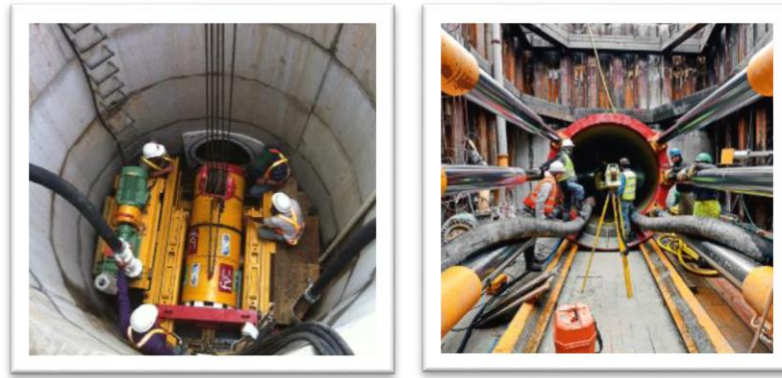
O alinhamento do coletor a construir foi redefinido de modo a otimizar a utilização do equipamento. A aplicação deste método implica a redução do número de caixas de visita (figuras 55 e 56).

No local onde será construída a primeira caixa de visita existirá numa primeira fase o poço de ataque, considerando-se ser necessário um poço circular de 10 m, para o diâmetro do coletor pretendido, de modo a permitir a instalação dos equipamentos de *pipejacking* (figura 54).

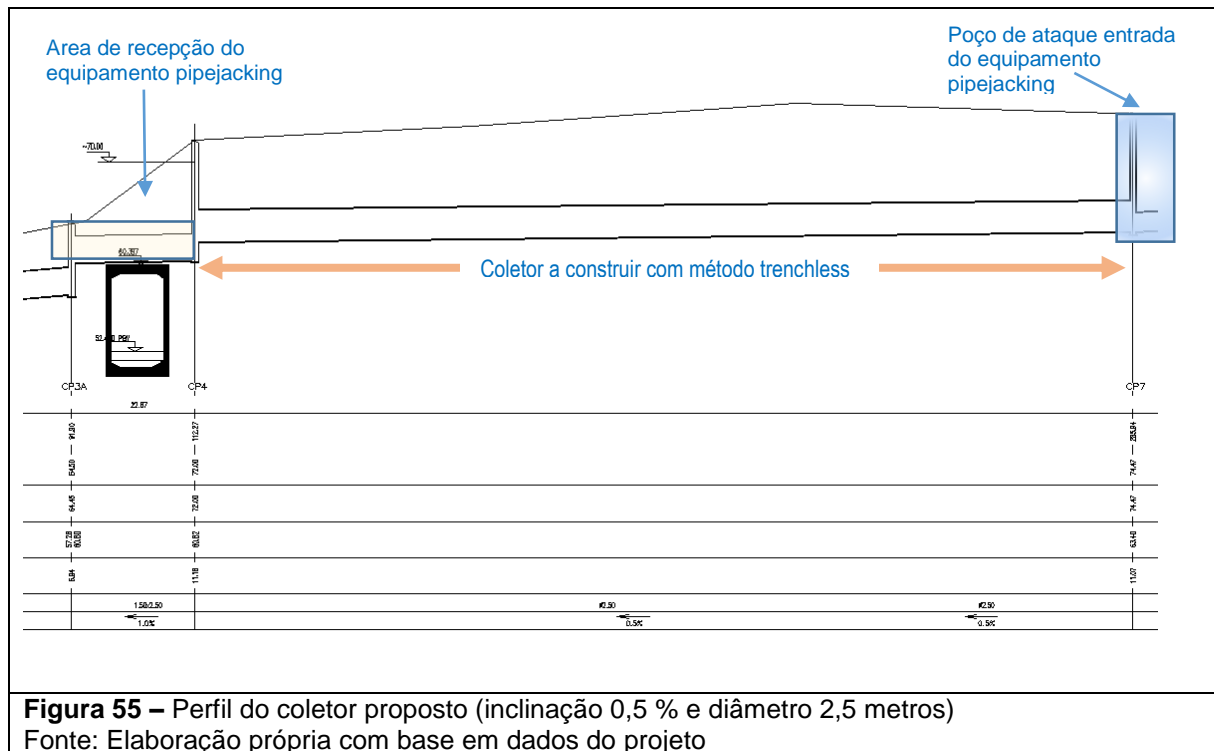
---

<sup>15</sup> Segundo Abraham *et al.*, 2002.

<sup>16</sup> No método *microtunneling* distinguem-se dois tipos principais de equipamento: O *Slurry machine* que implica a utilização de lamas no processo de escavação e o *EPB machine* que implica a utilização de um escudo fechado utilizado por exemplo quando há nível freático. O tipo de máquina varia portanto com o tipo de solo e presença de nível freático.



**Figura 54** – Exemplos de Poço de ataque para instalação do equipamento de pipejacking  
 Fonte: Site Pipe Jacking Association



**Figura 55** – Perfil do coletor proposto (inclinação 0,5 % e diâmetro 2,5 metros)  
 Fonte: Elaboração própria com base em dados do projeto



A construção do poço de ataque implica a execução de uma contenção com estacas, dada a profundidade necessária para instalação do coletor e tipo de terreno.

O traçado pôde ser otimizado já que através do recurso ao método *trenchless*, é possível obter um traçado mais curto, com menos caixas de visita, passando abaixo dos campos de jogos, sem causar perturbações e permitindo a exploração dos campos de jogos durante a obra.

c) Caracterização do coletor a construir

Para o caudal de cálculo já indicado na tabela 10, dimensionou-se o coletor para o novo traçado e inclinação (os resultados apresentam-se na tabela 13).

Para o seu dimensionamento foram considerados os seguintes dados de entrada:

- A inclinação mínima será de 0,5 % por razões construtivas;
- A velocidade máxima de escoamento não deve exceder 5 m/s;
- Velocidade mínima 0,9 m/s
- O poder de transporte não deve ser inferior a 4 N/m<sup>2</sup>.



- Altura máxima de escoamento –  $h/D < 0.82$  (Quintela, 1982) (figura 55).

Assim e por aplicação da fórmula de Manning- Strickler:

$$Q = A.K.R^{2/3}.J^{1/2}$$

Onde:

Q = Caudal ( m<sup>3</sup>/s );

A = Área da seção molhada ( m<sup>2</sup> );

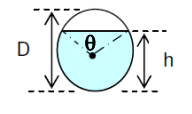
K = Coeficiente de rugosidade de Strickler;

R = Raio hidráulico ( m ) R = A / P ( P = Perímetro molhado);

J = Inclinação ( m/m ).

e tendo em consideração as características da seção é possível determinar a seção do coletor, através de um processo iterativo aplicando a fórmula de *Manning-Strickler* para determinação da área e perímetro molhado, indicada na tabela 12, fixando o caudal e a inclinação.

**Tabela 12 – Determinação da seção molhada**

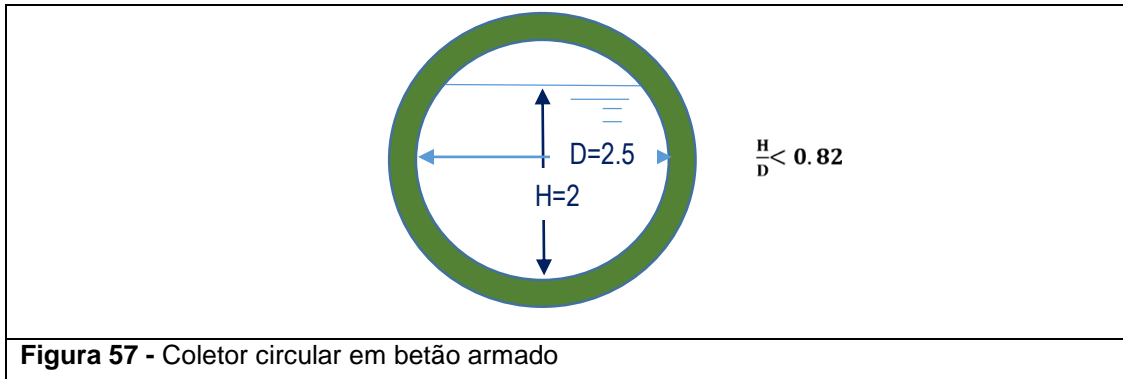
	$\frac{1}{8} \cdot (\theta - \text{sen } \theta) \cdot D^2$ $\theta = \text{RAD}$	$\frac{\theta \cdot D}{2}$	$\frac{1}{4} \cdot \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right) \cdot D$	$\theta = 2 \cdot \arccos\left(1 - 2 \cdot \frac{h}{D}\right)$
Seção	Área molhada	Perímetro Molhado	Raio Hidráulico	$\theta$ em radianos

**Tabela 13 – Caracterização do coletor a construir**

<b>Caracterização do coletor a construir</b>							
<b>Dimensão D</b>	<b>Inclinação</b>	<b>K</b>	<b>Seção Molhada</b>	<b>Perímetro molhado</b>	<b>Raio Hidráulico</b>	<b>Q</b>	<b>V</b>
(mm)	%	(m <sup>1/3</sup> /s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)
2500	0.5	75	4.21	5.54	0.76	18.60	4.42

O coletor será constituído por tubos em betão reforçado com diâmetro de 2,50 m (figura 57).



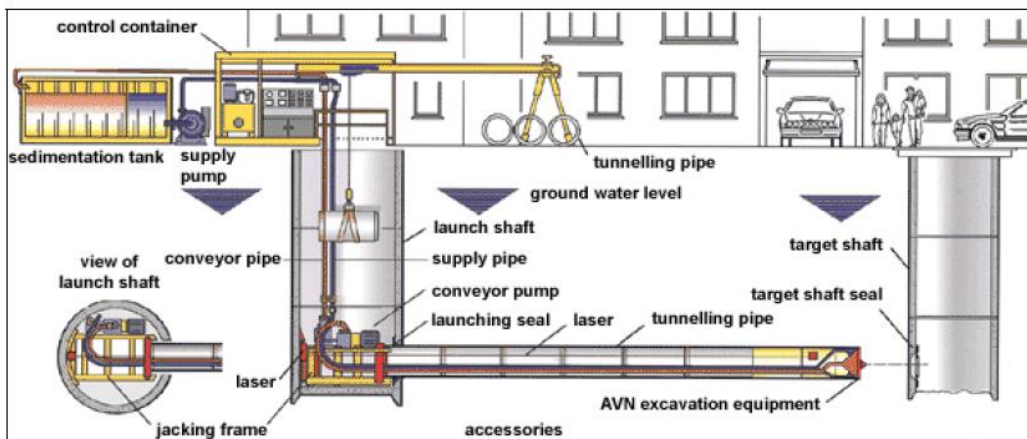


Estes tubos deverão estar certificados para aplicação com método *pipejacking* e dimensionados para as forças a que vão estar sujeitos.

Tendo em consideração o tipo de solo, como já referido, propõe-se de entre os vários métodos associados ao *pipejacking*, a aplicação de tuneladora (TBM - Tunnel Boring Machine) com lama pressurizada (pressurised slurry machine, Ueki, *et al.* (1999)). Este método permite garantir a estabilização das pressões na escavação e é adequado para solos argilosos, siltsosos e arenosos.

A execução da perfuração deverá seguir as normas EN 12889:2008 e o tubo de betão a aplicar seguirá as indicações da EN 14457:2008.

A operação deste processo implica a utilização do equipamento de *jacking* com a cabeça de escavação apropriada ao terreno, a cabine de controlo, as bombas de lamas, o laser para guiamento e garantia da manutenção do alinhamento pretendido, os poços e ataque e receção, entre outros componentes, conforme ilustrado na figura 58.



**Figura 58 – Esquema ilustrativo do processo microtunneling**  
Fonte: Herrenknecht Inc em Abraham *et al.*, 2002

## 6.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES

Na análise comparativa evidenciada nas tabelas 14 e 15, entre a solução projetada e a solução proposta no âmbito desta dissertação, foram adotados os parâmetros que melhor poderão refletir as diferenças entre as duas soluções.

Os valores referidos foram determinados no âmbito do presente trabalho com base nos elementos indicados, não se tendo estabelecido relação com os dados do projeto inicial.

Resumem-se os dados analisados relativos ao projeto e à solução alternativa com recurso ao método de microtunneling.

**Tabela 14** – Mapa de quantidades/custos – Vala aberta

	Itens de análise	A - Solução Vala aberta	Quantidade	Unidade	Custo unitário (euros)	Custo total (euros)
1	<b>Execução de escavação e instalação da Tubagem</b>	Considerando os necessários trabalhos escavação, de entivação berlinense, escoras, Estrutura "box culvert" em betão armado 1,5*2,5 m (L = 1 m); volume escavado e transporte a vazadero	8055,61	m <sup>3</sup>	<b>180,00</b>	1450008,90
2	<b>Aterro da vala</b>	Incluindo o transporte dos terrenos	7404,98	m <sup>3</sup>	<b>6,00</b>	44429,88
3	<b>Execução de caixas de visita</b>	Caixas em betão armado	4	uni	<b>1500,00</b>	6000,00
4	<b>Desvios de trânsito</b>	Necessário na zona de travessia rodoviária	/	vg	<b>1500,00</b>	1500,00
5	<b>Custo total da obra</b>					<b>1 501 938,78 €</b>

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 15** - Mapa de quantidades/custos – Método Trenchless proposto

	Itens de análise	B – Solução alternativa - Método "trenchless"	Quantidade	Unidade	Custo unitário (euros)	Custo total parcial (euros)
1	<b>Execução de poço de ataque</b>	Incluindo as estacase o maciço de reacção e escudo de ataque para equipamento pipe jacking	1,00	vg	<b>100000,00</b>	100000,00
2	<b>Aterro do poço</b>	Enchimento do poço na parte sobranete à execução da caixa de visita	904,78	m <sup>3</sup>	<b>6,00</b>	5428,67
3	<b>Execução de caixas de visita</b>	Caixas em betão armado	2	0	<b>1500,00</b>	3000,00
4	<b>Desvios de trânsito</b>	Não aplicável	/	/	/	0,00
5	<b>Instalação do colector com tecnologia pipejacking</b>	Tuneladora e equipamentos associados (incluindo Anéis de betão reforçado DN 2,50 m (L = 2,5 m); transporte de terrenos sobranetes a vazadouro)	1,00	vg	<b>600000,00</b>	600000,00
6	<b>Custo total da obra</b>					<b>708 428,67 €</b>

Fonte: Elaboração própria

**Notas:**

- a) Na elaboração destes mapas foi considerado que em média estariam presentes em obra 4 trabalhadores por dia entre serventes, pedreiros e manobreadores de equipamentos (gruas, máquinas de execução de estacas, etc.).
- b) Os valores monetários indicados pretendem servir como referência para a presente dissertação no âmbito do estudo comparativo e foram obtidos a partir de consultas feitas a profissionais da área e a catálogos de fabricantes.
- c) Não se considerou a necessidade de poço para saída da microtuneladora dado que a máquina iria poder sair já em zona de talude, sendo apenas necessário considerar uma estrutura para receção da máquina na sua saída.

d) A análise comparativa entre os dois métodos foi realizada para as extensões de coletor entre a caixa CP7 e a caixa CP4.

Verifica-se uma enorme vantagem neste caso, no recurso ao processo por *microtunneling*.

Entre as razões para a diferença de valores, surge a extensão da tubagem a instalar, que reduz em cerca de 30 metros na opção pelo método *trenchless*, devido à possibilidade de otimização do traçado do coletor.

Por outro lado os custos associados à contenção berlinense assumem uma percentagem muito importante no valor resultante para escavação a céu aberto. A profundidade da vala obriga a contenções que para a extensão de cerca de 173 metros, introduz no preço global da obra um encargo bastante elevado.

O estudo comparativo permite verificar que, neste caso, a solução com *pipejacking* otimiza os custos e minimiza os inconvenientes para a população devido à menor intervenção à superfície.

Uma outra vantagem deste método é o maior controlo da obra, no que concerne às águas pluviais que poderão afluir durante a execução e à necessidade de as bombear. No caso de vala aberta este custo está presente e associado também aos avanços e paragens da obra. Já com aplicação de *microtunneling* a existência de nível freático ou de eventos pluviais mais intensos não irá condicionar a evolução da escavação.

No entanto e tal como referido por Bennett *et al.* (1995), na aplicação de métodos de *microtunneling*, dado as especificidades dos equipamentos associados, deverão garantir-se que as equipas são especializadas.

Os poços de ataque surgem também como peças de extrema importância pelo valor associado à sua execução devido às suas dimensões. Por necessidade de apresentarem características compatíveis com a utilização do equipamento de pipejacking os poços de ataque deverão ser alvo de especial atenção.

Como nota final do estudo de caso refere-se que a solução efetivamente posta em prática não correspondeu à solução do projeto (vala aberta) tendo sido operacionalizado o método “túnel mineiro” proposto pelo empreiteiro. A este propósito dever-se-á ter presente que aquando da execução desta obra a solução microtunneling ainda não seria considerada usualmente em Portugal. A solução “túnel mineiro” permitiu reduzir tempos de execução face aos dados considerados no projeto.

## CAPITULO 7. APRESENTAÇÃO DE CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 7.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do projeto de desvio de infraestruturas implica o estabelecimento da sistematização dos processos de execução e a recolha exaustiva dos elementos de identificação das infraestruturas.

Neste campo existe ainda um vasto caminho a percorrer já que as informações disponibilizadas são meramente esquemáticas e carecem por isso de confirmação/validação.

Partindo da informação já descrita neste trabalho resume-se na figura 59, o nível das limitações impostas pela fiabilidade dos dados de cadastro e da compatibilização entre as partes intervenientes no processo.



**Figura 59** - Resultados Esperados: ao nível das limitações

Neste sentido e como resultado da experiência desenvolvida ao longo dos últimos anos nos projetos do Metro de Lisboa e na informação referente aos projetos das empresas dos Metros do Rio de Janeiro e de São Paulo, deverá ser repensada a forma como são trabalhados os dados de entrada deste tipo de projetos.

As entidades implicadas neste processo (figura 60) deverão agir de forma concertada retirando de uma ação conjunta proveitos que se virão a revelar essenciais para a concretização do projeto e posteriormente da obra.



**Figura 60** - Resultados Esperados: ao nível da inventariação de soluções; ao nível das diferentes entidades

O **dono de obra**, ao lançar um concurso, deverá apresentar elementos que permitam ao projetista responder de uma forma concreta e realista. Assim deverá ser considerado, para este tipo de projetos, a obrigatoriedade do projetista incluir no seu planeamento e obviamente nos custos do projeto, procedimentos relacionados com levantamentos por sondagens e/ou georradar que associados aos levantamentos topográficos já habitualmente considerados, permitam a melhor identificação das infraestruturas existentes.

Naturalmente que a recolha e tratamento destes dados implicará um maior espaço de tempo para a elaboração do projeto, o qual deverá ser integrado no planeamento geral do projeto.

Considera-se no entanto que o tempo despendido na fase inicial do projeto será compensado pelos benefícios a curto prazo que se refletem desde logo no projeto e depois em obra.

Esses benefícios serão de índole económica através da sistematização e controlo dos tempos de execução da obra permitindo a sua otimização.

O **projetista** deve ainda sistematizar o processo através da representação das infraestruturas, em corte e planta. Nesta representação, para além de serem verificadas as incompatibilidades/interferências entre infraestruturas, são também analisadas as interferências com a estrutura que se pretende construir.

Estas representações poderão ser realizadas com recurso às ferramentas de desenho assistido por computador mais usuais ou ainda a ferramentas específicas que simulam inclusive imagens em 3D (a três dimensões).

Com uma correta identificação dos solos e meio ambiente é possível apontar as melhores soluções de instalação de tubagens quer sejam elas a céu aberto quer se tratem de instalações com sistemas de perfuração assistida.

Sempre que as extensões de instalação o justifiquem deverão optar-se por métodos *trenchless*, pelos motivos já apresentados. Os volumes de escavação e aterros, terras de empréstimo serão muito inferiores nas técnicas de perfuração assistida face à vala aberta. Os inconvenientes para a população em geral e circulação automóvel serão minimizados.

Embora o custo em que incorre a população (custos sociais) não entre usualmente nos cálculos dos custos de execução da obra seria um importante passo incluir e quantificar o benefício para a população, decorrente da aplicação dos métodos *trenchless*. Existem modelos de avaliação de custos sociais que poderão ser operacionalizados (Memot and Dudek (1982), citado em Ueji *et al.*(1999)).

Relativamente às infraestruturas que são desviadas e não repostas no mesmo local deverá ser analisada a necessidade de desativar os trechos que ficam obsoletos. No caso das condutas de água e dos coletores que ficarão desativados deve ser feita uma análise crítica pois pretende-se prevenir o colapso das infraestruturas que são desativadas (situação relevante para os custos e para a segurança).

Considera-se que uma das desvantagens da aplicação das perfurações assistidas, no caso de novas tubagens, é o de não ser possível colocar as bandas avisadoras. Por norma as concessionárias das redes águas, elétricas, gás e telecomunicações exigem a instalação de uma banda avisadora, por razões de segurança, que identifica as condutas. Esta constatação de desvantagem não foi identificada na bibliografia consultada sobre o tema das perfurações assistidas.

Por outro lado as valas a céu aberto poderão a médio/longo prazo provocar alterações nos terrenos e conduzir à necessidade de realizar novas compactações e repavimentações.

Ao longo dos últimos 40 anos, têm sido desenvolvidas muitas tecnologias para instalação de infraestruturas sem abertura de vala, tendo já ampla divulgação e concretização em países como o Japão, os Estados Unidos da América, Brasil e Inglaterra, de acordo com as referências bibliográficas consultadas, no âmbito desta dissertação.

Em Portugal, a aplicação é mais recente, nomeadamente ao nível da instalação das infraestruturas sob as linhas férreas, estradas e construção de grandes adutoras, redes de saneamento e emissários.

Estes métodos poderão ser adotados também na sequência das obras de Metro promovendo benefícios para a obra e população em geral.

Há que analisar as áreas de estaleiro necessárias, os comprimentos de instalação previstos, a existência de obstáculos e verificar a viabilidade técnica e económica da sua aplicação.

Às **concessionárias** cabe um trabalho constante de aperfeiçoamento das ferramentas de desenho utilizadas para registar as redes, trabalho esse que se tem verificado ao longo dos últimos anos.

O **empregador** deverá estar preparado para responder às novas exigências do mercado, quer através da aquisição de equipamentos que permitam responder às novas técnicas *trenchless*, quer através de subcontratações de empresas que se dedicam exclusivamente à prestação destes serviços.

## 7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- A realização de reuniões de trabalho específicas com as concessionárias, será um instrumento muito importante para consolidação de conhecimento sobre os processos aplicados nas reabilitações e construção de novas condutas. Adquirir um maior conhecimento das especificidades de cada infraestrutura e partilhar das experiências das concessionárias, tornará o desenvolvimento do projeto mais célere e eficiente.
- Considera-se também com bastante interesse a realização de reuniões de trabalho com as empresas de construção, aplicando questionários como por exemplo o apresentado na figura 60, visando a identificação das principais dificuldades encontradas nos processos dos desvios de infraestruturas e do grau de conhecimento das técnicas disponíveis no mercado. Entender quais as técnicas presentes no nosso mercado e em que medida são utilizadas nas obras em Portugal, permite orientar de uma forma mais eficaz os pressupostos



do projeto. Na presente dissertação foram realizados contactos no sentido de operacionalizar esta vertente de estudo, não tendo sido possível obter a colaboração das empresas construtoras contactadas.

Neste sentido surge ainda outra sugestão para trabalho futuro que consiste em identificar exaustivamente todos os fornecedores de equipamentos, tubagens e serviços na área dos métodos *trenchless* em Portugal. No âmbito da presente dissertação foi já possível entender, pelas pesquisas realizadas, que nos últimos 10 anos em Portugal houve um aumento significativo da aplicação destes métodos.

<b>Modelo de Questionário às empresas de construção</b>	
<b>Percepção das empresas de construção às principais dificuldades encontradas para a execução dos desvios das infraestruturas</b>	
Quais os principais problemas detectados ao nível do projeto (atribuir classificação em função do grau de importância)	
Dificuldades de análise aos cadastros das redes existentes	
Dificuldades na implementação do projecto de execução, entre as várias infraestruturas	
Por pressupostos de projeto não exequíveis	
Não existencia de uma entidade que centralize a informação	
Outras causas: Quais?.....	
Soma de verificação	0
<b>Análise às principais técnicas utilizadas pelas empresas de construção - Aplicação de métodos de reabilitação - substituição ou renovação de colectores</b>	
Quais os métodos mais aplicados nos últimos 10 anos em termos percentuais	
<b>Técnica de Renovação/reabilitação</b>	
Pipe Bursting	
Revestimento projetado ou com cofragem	
Entubamento por tubagem continua	
Outro?	
Soma de verificação	
<b>Técnica de construção/instalação</b>	
Instalação de tubo com Vala aberta	
HDD - Horizontal directional drilling	
Microtunnelling	
Pipe Jacking	
Pipe Ramming	
Soma de verificação	0
<b>Técnica de reparação</b>	
Reforço de juntas	
outras técnicas.Quais?.....	
.....	
Soma de verificação	0

**Figura 61** – Proposta de modelo de questionário a empreiteiro

Importa salientar que ao nível das técnicas aplicadas por empresas portuguesas, se destacam neste momento, a perfuração horizontal dirigida, o *pipe bursting*, a perfuração com trado e também o microtúnel.

➤ Ainda neste contexto e direcionando a temática para projetos ao nível internacional, em que participam empresas de projeto e construção portuguesas, fará todo o sentido continuar a recolher informação sobre a temática, com o objetivo de integrar nesses projetos os conceitos das mais recentes tecnologias de *trenchless*.

➤ Nesta dissertação foi realizado um estudo caso aplicado a uma rede de drenagem de grande diâmetro, tendo sido proposto o recurso a um método de *microtunneling* para a instalação da tubagem. Como trabalho futuro propõe-se também a análise mais detalhada aos casos de instalação de tubagens de menores diâmetros com aplicação às redes de águas e drenagens, promovendo estudos económicos comparativos entre a abertura de vala e os métodos *trenchless*. Para além de ser interessante estabelecer este tipo de comparação seria também importante perceber a relação que existe na aplicação a uma determinada instalação, entre os vários métodos disponíveis de *trenchless*.

Por último deixa-se ainda como sugestão a realização de entrevistas a outros Grupos de Metro Internacionais, como por exemplo o Metro de Madrid, pelas constantes obras de prolongamento e melhorias da sua rede. Será com certeza uma importante fonte de conhecimento já que o Metro de Madrid possui características de implantação similares ao Metro de Lisboa, sofrendo dos mesmos problemas relativos à necessidade de intervenção em vias públicas, densamente edificadas e com tráfego intenso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, Dulcy M., BAIK, Hyeon Shik, GOKHALE, Sanjiv (2002). *Development of a decision support system for selection of trenchless technologies to minimize impact of utility construction on roadways*; Final Report, FHWA/IN/JTRP-2002/7, Purdue University.
- ANACOM, (2010). *Manual ITUR - Infra-Estruturas de Telecomunicações em Loteamentos, Urbanizações e Conjunto de Edifícios*, 1ª Edição, Lisboa. ICP-Autoridade Nacional de Comunicações.
- ALMEIDA, Maria do Céu, CARDOSO, Maria Adriana (2010). *Gestão Patrimonial de infraestruturas de águas residuais e pluviais. Uma abordagem centrada na reabilitação*. Série Guia técnico 17 ERSAR. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- BAOSONG Ma, NAJAFI M., (2008). "Development and applications of trenchless technology in China". *Tunnelling and Underground Space Technology* - Volume 23, Issue 4, July 2008, Pages 476–480.
- BENNETT, Robert D., GUICE, Leslie K., KHAN, Salam, STAHEL, Kimberlie (1995). Construction Productivity Advancement Research (CPAR) Program. *Guidelines for Trenchless Technology: Cured-in-Place Pipe (CIPP), Fold-and-Formed Pipe (FFP), Mini-Horizontal Directional Drilling (Mini-HDD), and Microtunneling*. Final Report, CPAR-GL-95-2, September 1995, Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg ms Geotechnical Labus;
- BRUNDTLAND REPORT- Our Common Future - World Comission on Environment and Development, 1987.
- COLVERO, C. P., CARNEIRO V. R. D., CUNHA, B. F. (2008). *Localização e Identificação de Infra-estruturas e Objetos Enterrados através da Tecnologia RFID*. XXVI Simposio Brasileiro de Telecomunicações - SBRT'08, 02-05 de Setembro de 2008, Rio de Janeiro, RJ;
- FERNANDES, Francisco M., SOUSA Domingos J., LOURENÇO Paulo B (2007). "Detecção de infra-estruturas de redes com recurso ao Radar de Prospeção Geotécnica", revista *Engenharia e Vida*, nº 41 Dezembro 2007.

- IPBA (2012). *Guideline for Pipe Bursting*; The International Pipe Bursting Association. Owings Mills.
- KRAMER, Steven R. (1998). "The Invisible Infrastructure". *Civil Engineering-ASCE*, Vol. 68, No. 10, October 1998, pp. 48-51.
- MUGGLETON, J.M., BRENNAN M.J. , ROGERS C.D.F. (2012). "Point vibration measurements for the detection of shallow-buried objects". *Tunnelling and Underground Space Technology* 39 (2014) 27–33.
- PEREZ, Celina (2009). "Trenchless technologies for the rehabilitation of sewers: Case study of the Patapsco interceptors, Baltimore". *Journal of Public Works & Infrastructure*, Volume 2, Number 4.
- QUINTELA, António de Carvalho (1981). *Hidráulica*; Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- ROGERS, C.D.F., HAO T., COSTELLO S.B., BURROW M.P.N., METJE N., CHAPMAN D.N., PARKER J., ARMITAGE R. J., ANSPACH J.H., MUGGLETON J.M., FOO K.Y., WANG P., PENNOCK S.R., ATKINS P.R., SWINGLER S.G., COHN A.G., GODDARD K., LEWIN P.L., ORLANDO G., REDFERN M.A., ROYAL A.C.D., SAUL A.J. (2012). "Condition assessment of the surface and buried infrastructure – A proposal for integration". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 28 (1), 202–211.
- SIMICEVIC, Jadranka, STERLING, Raymond L. (2001a). *Guidelines for Pipe Ramming, TTC Technical Report*. Prepared for: U.S. Army Corps of Engineers Engineering Research and Development Center (ERDC).
- SIMICEVIC, Jadranka, STERLING, Raymond L. (2001b). *Guidelines for Pipe Bursting, TTC Technical Report*. Prepared for: U.S. Army Corps of Engineers Engineering Research and Development Center (ERDC);
- SLAVIN, Larry (2009). *Guidelines for Use of Mini-Horizontal Directional Drilling for Placement of High Density Polyethylene Pipe*; The Plastics Pipe Institute.
- STUEDLEIN, Armin W., MESKELE, Tadesse (2013). *Analysis and design of pipe ramming installations Final Report SPR 710*. NASTT – North American Society for Trenchless Technology

- SYACHRANI, Syadaruddin, JEONG, Hyungseok David, RAI, Vajra, CHAE, Myung Jin, ISELEY, Tom (2010). "A risk management approach to safety assessment of trenchless technologies for culvert rehabilitation". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 12/2010; 25(6):681-688.
- TORGAL, F. F. Pacheco, JALALI Said (2010). "Eco-eficiência dos materiais de construção". *Materiais de Construção*.
- UEKI, Masashi, HAAS, Carl T., SEO, Jongwon, (1999). "Decision tool Microtunneling Method Selection", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 125, No. 2, March/April 1999, pp. 123-131.
- VIEIRA, Flavio Augusto, (2003). Execução de tuneis em NATM (New Austrian Tunneling Method), Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Anhembi Morumbi no âmbito do Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental. São Paulo.

#### **Sites internet consultados**

- <https://epoca.globo.com/regional/sp/> (acedido a 26 de Abril de 2014)
- <https://www.metrrio.com.br/> (acedido a 26 de Junho de 2014)
- <https://www.pipejacking.org/carboncalculator.html> (acedido a 15 de Janeiro de 2014)

#### **Legislação**

- Portaria n.º 701-H/2008 de 29 de Julho -Diário da República, 1.ª série, N.º 145, 29 de Julho de 2008 5106-(37), Ministério das obras públicas, transportes e comunicações.
- Decreto-Lei n.º 41 821, de 11 de agosto de 1958 - Regulamento de Segurança no Trabalho da Construção Civil.
- Decreto –Lei nº 18/2008 de 28 de Janeiro de 2008 – Código dos Contratos Públicos.
- Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto. Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. D.R. n.º 194, Serie I-B de 23 de Agosto, pp. 5284 -5319.

#### **Normas**

- NP EN 1610:2008 - Construção e ensaio de ramais de ligação e colectores de águas residuais;
- NP EN 14457:2008 - Requisitos gerais dos componentes especificamente utilizados em sistemas instalados sem abertura de valas.
- NP EN 12889:2008 - Construção em galeria e ensaio de ramais de ligação e colectores de águas residuais.
- pR EN 158825:2010 – Classificação e características das técnicas de renovação, reparação e substituição de coletores.

## ANEXO - PERCENTAGEM DE DESVIOS/REABILITAÇÕES

	<b>Estação Areeiro - Tipo de desvio</b>	
<b>Infraestruturas</b>	<b>Definitivo/Provisório (%)</b>	<b>Reabilitação (%)</b>
Redes de águas	8,01	100,000
Redes de drenagem	18,37	0,000
Redes de Telecomunicações	20,40	0,000
Redes de Gás	41,43	0,000
Redes de Eletricidade	11,79	0,000

	<b>Estação Moscavide - Tipo de desvio</b>	
<b>Infraestruturas</b>	<b>Definitivo/Provisório (%)</b>	<b>Reabilitação (%)</b>
Redes de águas	0,00	100,000
Redes de drenagem	37,17	0,000
Redes de Telecomunicações	3,72	0,000
Redes de Gás	7,43	0,000
Redes de Eletricidade	51,67	0,000

	<b>Estação Aeroporto - Tipo de desvio</b>	
<b>Infraestruturas</b>	<b>Definitivo/Provisório (%)</b>	<b>Reabilitação (%)</b>
Redes de águas	15,71	0,000
Redes de drenagem	39,53	0,000
Redes de Telecomunicações	25,65	0,000
Redes de Gás	0,00	0,000
Redes de Eletricidade	19,11	0,000