

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE OBRAS**

MARCO ANTONIO BATISTA PIVOVARSKI

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODO NÃO DESTRUTIVO NA EXECUÇÃO DE
REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO SOB TRAVESSIA DE
VIA COM ALTO TRÁFEGO DE VEÍCULOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2016**

MARCO ANTONIO BATISTA PIVOVARSKI

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODO NÃO DESTRUTIVO NA EXECUÇÃO DE
REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO SOB TRAVESSIA DE
VIA COM ALTO TRÁFEGO DE VEÍCULOS**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Gerenciamento de obras, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR
Orientador: Prof.º M. Eng. Carlos Alberto da Costa

**CURITIBA
2016**

MARCO ANTONIO BATISTA PIVOVARSKI

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODO NÃO DESTRUTIVO NA EXECUÇÃO DE
REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO SOB TRAVESSIA DE
VIA COM ALTO TRÁFEGO DE VEÍCULOS**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Gerenciamento de Obras, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. M. Eng. Carlos Alberto da Costa
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Campus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Adalberto Matoski
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Campus Curitiba.

Prof. M. Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Campus Curitiba.

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Campus Curitiba.

Curitiba
2016

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

Dedico este trabalho a todos os meus amigos e familiares, sobretudo àqueles que fazem tudo ter sentido: meus filhos Isabella e Guilherme e minha querida esposa Elaine.

AGRADECIMENTO

Ao Professor Silvio Aurélio de Castro Wille pela proposta inicial de uma pesquisa que infelizmente não avançou e pelo incentivo na continuidade de um novo estudo.

Ao Professor Carlos Alberto da Costa que, mesmo com pouco prazo para realizar uma orientação, não mediu esforços para contribuir na elaboração de um novo estudo.

A todos os professores e colegas de classe do Curso de Especialização em Gerenciamento de Obras da UTFPR pela transmissão de conhecimentos e troca de experiências.

A todos os amigos e familiares pela confiança, motivação e compreensão pela ausência involuntária por conta dos momentos dedicados aos estudos.

As empresas e profissionais especializados nos sistemas construtivos não destrutivos consultados pela atenção cedida e pela concessão de informações que foram indispensáveis para a realização deste estudo.

A todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho e contribuíram de alguma forma, seja direta ou indiretamente.

“Também terás um lugar fora do arraial, para onde sairás. Entre os teus utensílios terás uma pá; e quando te assentares lá fora, então com ela cavarás e, virando-te, cobrirás o teu excremento.”
(DEUTERONOMIO, 23. 12,13)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica, econômica e a redução dos impactos causados ao meio urbano com a utilização de métodos não destrutivos na construção de redes coletoras de esgoto sanitário sob travessias de vias com alto tráfego de veículos. Para tanto foram estudadas as características, a metodologia executiva e a aplicabilidade do método destrutivo e não destrutivo utilizados na construção de redes coletoras. O método construtivo destrutivo é aquele que utiliza a abertura de valas à céu aberto e arrebetamento do pavimento existente para o assentamento de tubulações em obras de saneamento. Este procedimento causa inúmeros transtornos ao trânsito e até o impedimento deste enquanto que os métodos não destrutivos visam a preservação do pavimento e a redução significativa destes inconvenientes. Foi elaborado um estudo de caso em uma travessia de uma via local pavimentada com intenso tráfego de veículos onde foi utilizado o método não destrutivo para a execução da obra. Neste estudo foram comparados dois métodos distintos, um destrutivo e outro não destrutivo do tipo HDD no custo, no prazo de execução e nos impactos gerados ao meio urbano. O comparativo de custos apontou que o sistema não destrutivo tem custo 96,54% mais elevado do que o método destrutivo. No entanto o prazo de execução é de 50% a 70% mais rápido. Não há no método não destrutivo qualquer tipo de interrupção no tráfego de veículos tampouco no de pedestres o que torna este sistema viável para a construção de travessias sob vias com alto tráfego de veículos por conta da rapidez na execução e redução dos transtornos ao meio urbano.

Palavras chave: método destrutivo, métodos não destrutivos, *Horizontal Directional Drilling*.

ABSTRACT

This study aims to assess the technical, economic viability and reduce the negative impacts to the urban environment with the use of non-destructive methods in the construction of sewage collection networks under way crossings with high vehicular traffic. For both characteristics were studied, the executive methodology and applicability of destructive and non-destructive method used in the construction of sewer networks. The destructive construction method is one that uses trenching to open and burst the existing pavement for laying pipes in sanitation. This procedure causes numerous disorders transit and to the impediment while non-destructive methods aimed at preserving the floor and the significant reduction of these drawbacks. A case study was prepared in a crossing of a paved side lane with heavy vehicle traffic where we used the non-destructive method for the execution of the work. This study compared two different methods, destructive and nondestructive other HDD type on the cost, lead time and the impacts to the urban environment. Comparative costs pointed out that the non-destructive system has cost 96.54% higher than the destructive method. However the lead time is 50% to 70% faster. There in the method nondestructive any interruption in vehicle traffic either in pedestrian what makes this viable system for the construction of crossings on roads with high traffic of vehicles due to the speed of execution and reducing inconvenience to the urban environment.

Keywords: destructive method, trenchless technologies, Horizontal Directional Drilling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Percentual de municípios que coletam e tratam esgoto, por Regiões.....	19
Figura 2 - Países com universalização de acesso à água e saneamento	22
Figura 3 - Abertura de valas para execução de rede coletora de esgoto.....	24
Figura 4 - Sinalização com placas de madeira	26
Figura 5 - Equipe de topografia renivelando trecho de execução de rede coletora de esgoto..	27
Figura 6 - Retirada de pavimentação asfáltica.....	27
Figura 7 - Ferramentas: (A) pá; (B) picareta; (C) enxada.	28
Figura 8 - Máquinas: (A) Retroescavadeira; (B) Escavadeira Hidráulica.....	29
Figura 9 - Escoramento do tipo Pontaete de Madeira	30
Figura 10 - Esgotamento de água da chuva retida na vala	30
Figura 11 - Tubulação em PVC embasado com materiais granulares.....	31
Figura 12 - Assentamento sendo executado de forma manual	32
Figura 13 - Compactação de vala com “sapo mecânico”	33
Figura 14 - Rolo liso compactando pavimento asfáltico	34
Figura 15 - Chapas de aço corrugado	35
Figura 16 - Túnel executado pelo método <i>Tunnel Liner</i>	36
Figura 17 - Emboque do túnel diretamente no talude	37
Figura 18 - Poço de ataque. (A) Canteiro da obra; (B) fundo do poço.de emboque.....	38
Figura 19 - Sequência executiva <i>Tunnel Liner</i> com poço de ataque.....	38
Figura 20 - Montagem dos anéis	39
Figura 21 - Preparo de solo cimento para injeção	39
Figura 22 - Máquina perfuratriz direcional	41
Figura 23 - Ferramenta de corte com sonda eletromagnética.....	41
Figura 24 - Receptor eletromagnético	42
Figura 25 - Execução do furo piloto.....	42
Figura 26 - Diferentes tipos de alargadores.....	43
Figura 27 - Alargamento do furo piloto.....	43
Figura 28 - Alargador com conexão articulada	44
Figura 29 - Hastes de perfuração	45
Figura 30 - Perfuratriz a seco	45
Figura 31 - <i>Slurry Shield</i>	46
Figura 32 - Pistões hidráulicos	47
Figura 33 - Cabeça cortante desagregadora.....	48
Figura 34 - Remoção do material por sistema de rosca (A); Remoção do material por bombeamento de fluido (B).....	49
Figura 35 - Cravação de tubo de concreto com furo para injeção de lubrificante.....	49
Figura 36 - Sistema computadorizado de controle de escavação	50
Figura 37 - Visão da localização da travessia e do seu entorno	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesquisa e medidas saneadoras na Inglaterra nos séculos XIX e XX.....	17
Tabela 2 - Índice de atendimento com coleta de esgoto (%).....	20
Tabela 3 - Investimentos realizados/necessários nos serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto, segundo macrorregião (em milhões de reais ref.: dezembro de 2012).....	20
Tabela 4 - Classificação quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano	22
Tabela 5 - Categoria das máquinas de HDD	40
Tabela 6 - Relação entre tipo de solo e fluído de perfuração	44
Tabela 7 - Custo para cada método construtivo	53

LISTA DE ABREVIATURAS

±	mais ou menos
Km	quilômetro
m	metro
mm	milímetros
Mpa	Mega Pascal
%	Porcentagem
tf	tonelada força

LISTA DE SIGLAS

ABDIB	Associação Brasileira de Infraestrutura e Indústrias de Base
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRATT	Associação Brasileira de Tecnologia não Destrutiva
BNDES	Banco nacional de Desenvolvimento Social
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNI	Confederação Nacional da Indústria
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FGV	Fundação Getúlio Vargas
HDD	Horizontal Directional Drilling
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
MD	Método destrutivo
MND	Método não destrutivo
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Nações Unidas
NR	Norma regulamentadora
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PE	Estado de Pernambuco
PEAD	Polietileno de alta densidade
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPP	Parceria Público Privada
PV	Poço de visitas
PVC	Policloreto de Polivinila
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SPT	Standart Penetration Test
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	HISTÓRIA DO SANEAMENTO NO MUNDO	16
2.2	A IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DO ESGOTO	17
2.3	PANORAMA DO SANEAMENTO	19
2.3.1	No Brasil	19
2.3.2	No mundo	21
2.4	O SANEAMENTO E O ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO	22
2.5	ALTERNATIVA PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL	23
2.6	MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA OBRAS DE SANEAMENTO	24
2.6.1	Método Destrutivo	24
2.6.1.1	Serviços Preliminares	25
2.6.1.2	Retirada de pavimentação	26
2.6.1.3	Escavação à céu aberto	28
2.6.1.4	Escoramento	28
2.6.1.5	Esgotamento	30
2.6.1.6	Embasamento	31
2.6.1.7	Assentamento da tubulação	31
2.6.1.8	Reaterro e compactação	32
2.6.1.9	Recuperação do pavimento	33
2.6.2	Métodos Não Destrutivos	34
2.6.2.1	<i>Tunnel Liner</i>	34
2.6.2.2	<i>Horizontal Directional Drilling</i>	40
2.6.2.3	<i>Slurry Shield Pipe Jacking</i>	46
3	METODOLOGIA	51
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA	51
3.2	ESTUDO DE CASO	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	COMPARATIVO DE CUSTOS	53
4.2	PRAZO DE EXECUÇÃO	54
4.3	IMPACTOS NA SUPERFÍCIE	54
5	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento demográfico nos municípios brasileiros, em muitos casos, não tem sido acompanhado pela implantação de infraestruturas de saneamento básico, sobretudo redes públicas de coleta de esgoto sanitário.

O método tradicionalmente utilizado para a construção de redes coletoras é aquele que utiliza abertura de valas a céu aberto, isolamento da área e arrebentamento do pavimento, o que gera inúmeros transtornos a veículos e transeuntes em regiões densamente urbanizadas.

A fim de minimizar os impactos gerados por estas intervenções é que os métodos não destrutivos se desenvolveram. Estes métodos podem se tratar de uma alternativa viável para a instalação de infraestruturas urbanas pois, além de causar mínimo transtorno ao tráfego, comércio e outras atividades locais, necessitam de pouca escavação, tem menor tempo de duração e preservam o pavimento existente.

Neste trabalho são abordadas as características, aplicação, execução e os impactos do uso dos métodos não destrutivos (MND) mais utilizados em obras de redes coletoras de esgoto sanitário bem com o método destrutivo (MD), ou seja, aquele que utiliza abertura de valas. Ao final, será apresentado um estudo de caso onde foi utilizado um tipo de método não destrutivo na execução da travessia de uma via de alto tráfego de veículos em uma rede coletora de esgoto sanitário.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar a viabilidade técnica, econômica e a redução dos impactos causados ao meio urbano pelo MD com a utilização de MND na construção de redes coletoras de esgoto sanitário sob travessia de vias com alto tráfego de veículos.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho de pesquisa são:

- Apresentar as características e a metodologia executiva do MD na construção de redes coletoras de esgoto sanitários;
- Apresentar as características e a aplicação de três MND utilizados na construção de redes coletoras de esgoto sanitário;
- Elaborar um estudo de caso em uma obra de travessia de via com uso de MND;
- Verificar a viabilidade do uso de MND na construção de rede coletora de esgoto sanitário sob travessia de via com alto tráfego de veículos.

1.2 JUSTIFICATIVA

O método tradicionalmente utilizado para a construção de infraestruturas urbanas (redes de água, esgoto, telefonia, gás, etc.) utiliza escavação de valas e a instalação das tubulações é executada diretamente no fundo da trincheira ao longo da extensão da rede projetada. Além disto, este método provoca patologias nos pavimentos atingidos devido à baixa qualidade do serviço de recomposição das trincheiras, sobretudo em pavimentos asfálticos.

A execução de travessia sob via com alto tráfego de veículos pelo método tradicional causa inúmeros transtornos tais como desvio do trânsito, congestionamentos, queda do movimento no comércio local, risco de acidentes com pessoas ou veículos, bem como custos referentes a manutenção do pavimento asfáltico, que pode sofrer deterioração prematura, que recaem sobre o município e os seus cidadãos.

A utilização de métodos não destrutivos na execução de travessia sob via apresenta vantagens em relação ao método tradicional pois necessitam de mínima escavação, pequenas áreas de isolamento, nenhuma interferência no tráfego de veículos, preservam o pavimento existente mantendo suas características iniciais, reduzido tempo de intervenção e grande precisão na execução.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRIA DO SANEAMENTO NO MUNDO

Desde os tempos mais remotos, quando os homens começaram a habitar as cidades, a coleta do esgoto sanitário passou a ser uma preocupação. Em 3.750 a.C. foram construídas galerias de esgoto em Nipur, na Índia, e na Babilônia. Se tem notícia do emprego de manilhas cerâmicas para a coleta de esgoto em 3.100 a.C. (Azevedo Neto, *et al.* 1983).

Segundo Sobrinho e Tsutiya (1999), o primeiro sistema planejado de esgoto sanitário do mundo data do século VI antes de Cristo. Localizado em Roma, este era denominado de Cloaca Máxima e foi construído para coletar parte dos esgotos domésticos nas proximidades do fórum Romano e drenar para outro local distante.

Os primeiros sistemas de esgoto na Europa e nos Estados Unidos foram construídos para coleta de água pluviais, assim como o sistema Romano. Porém, somente em 1815 foi permitido, em Londres, o lançamento de esgotos domésticos nestas galerias tornando-se obrigatório o lançamento em 1847 (Azevedo Neto, *et al.* 1983).

Em 1842, em Hamburgo na Alemanha, foi construído um dos mais avançados sistemas de coleta e transporte de esgoto (pluvial e doméstico) para a época, denominado posteriormente de sistema unitário. Este sistema foi introduzido rapidamente em cidade importantes tais como Boston (1833), Rio de Janeiro (1857), Paris (1880), Buenos Aires, Viena, etc. (Sobrinho e Tsutiya, 1999).

Devido ao alto custo de implantação do sistema unitário, em 1879, nos Estados Unidos, o Engenheiro George Waring desenvolveu um sistema de esgoto que coletava e transportava as águas pluviais e esgoto doméstico em tubulações distintas. Este novo sistema foi implantado na cidade de Memphis e foi denominado de separador absoluto. O sucesso deste sistema foi amplamente reconhecido e aplicado em muitos dos novos sistemas desde então (NUVOLARI, 2003).

Segundo Maricato (2001), a chegada da Família Real ao Brasil em 1808 propiciou importantes avanços nos serviços de saneamento. O país foi um dos primeiros do mundo a construir redes de coleta de água pluviais. No entanto esta foi construída somente para atender a aristocracia no Rio de Janeiro. Em 1830 e 1840 surgiram as epidemias de febre tifoide e cólera sendo necessárias à execução de obras de saneamento para minimizar estas doenças.

2.2 A IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DO ESGOTO

Segundo Nuvolare (2003), um dos países europeus que mais sofreram com epidemias causadas por falta de medidas de saneamento básico foi a Inglaterra. Berço da Revolução industrial, o país sofreu intensa migração do campo para às cidades, que não tinham a estrutura urbana adequada e a relação entre a qualidade da água e as doenças ainda não era conhecida. Devidos aos surtos epidemiológicos ocorridos, a Inglaterra foi a primeira nação a adotar medidas saneadoras, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Pesquisa e medidas saneadoras na Inglaterra nos séculos XIX e XX

ANO	OCORRÊNCIA
1822	Primeiro levantamento das condições sanitárias do Rio Tâmisa.
1848	Editadas as primeiras leis de saneamento e saúde pública.
1854	John Snow prova cientificamente a relação entre certas doenças e a qualidade das águas.
1857	Criado o Conselho de Proteção das Águas do Rio Tâmisa.
1865	Primeiros experimentos sobre microbiologia de degradação de lodos.
1882	Início das investigações sobre os fundamentos biológicos que deram origem ao processo de lodos ativados para o tratamento de esgotos.
1914	Ardern e Lockett apresentam o processo de lodos ativados para tratamento de esgotos.

Fonte: Metcalf e Eddy, 1977 *apud* Nuvolare, 2003.

Em 1872 na França, Jean Luis Mouras inventou o tanque séptico que é um dispositivo utilizado para acumular esgoto antes de lançar à uma fossa absorvente, pois existem inúmeras vantagens neste processo (ANDRADE NETO, 1997).

Seguindo o exemplo inglês, outros países começaram a se preocupar com tratamento de seus esgotos devido ao crescimento das cidades em todo o mundo a partir do final do século XIX e início do século XX. Nos Estados Unidos, em 1887, foi construída a estação de tratamento de esgoto experimental de Lawrence, em Massachusetts (METCALF e EDDY, 1977 *apud* NUVOLARE, 2003).

Segundo Malta (2001), o Rio de Janeiro foi a quinta cidade do mundo a contar com rede coletora de esgoto e estação de tratamento de efluentes (ETE) antes de 1900, fato que deixa os sanitaristas daquele município orgulhosos. Em outras cidades brasileiras, somente na década de 70 ocorreram avanços na área. No entanto, a maioria das cidades brasileiras não coletam e não

tratam os seus efluentes, mas se obrigarão a fazê-lo sob pena de contaminar os seus mananciais de água para abastecimento público.

Segundo CETESB (1988), a falta de condições adequadas de saneamento e também tratamento do esgoto contribuem para a proliferações de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas além da degradação dos mananciais. Aproximadamente 50 tipos de infecções podem ser transmitidos de uma pessoa doente para uma sadia por inúmeros caminhos, envolvendo as excretas humanas.

O tratamento do esgoto é muito importante para a conservação do meio ambiente visto que este pode contaminar rios, lagos, represas e mares pois possui excesso de sedimentos e microrganismos que podem causar doenças como esquistossomose, leptospirose, cólera e piodermites. O esgoto também pode causar a contaminação das fontes de abastecimento de água potável à população. O odor fétido é também é consequência de esgotos lançados diretamente na natureza (PENSAMENTO VERDE, 2013).

Segundo Felli (2016), possuir saneamento básico é fundamental para um país ser considerado desenvolvido. Os serviços de saneamento melhoram a qualidade de vida das pessoas, principalmente a das crianças com a redução da mortalidade infantil, melhoras na educação, expansão do turismo, valorização dos imóveis, renda do trabalhador, despoluição dos rios e preservação dos recursos hídricos.

Estudo realizado pelo Instituto trata Brasil revelou que o Brasil convive com centenas de milhares de casos de internação em hospitais todos os anos por casos de diarreia. Só em 2011 foram 400 mil casos sendo que 53% eram de crianças de 0 a 5 anos, e em muitas situações devido à falta de saneamento. Outro estudo do Banco nacional de Desenvolvimento Social (BNDES) mostra que 65% das internações em hospitais de crianças menores de 10 anos são causadas por problemas ou inexistência de sistemas de esgoto sanitário, o que também interferem no desempenho na escola pois crianças que vivem em locais sem saneamento apresentam 18% menos rendimento escolar (FELLI, 2016).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), para cada dólar gasto com saneamento básico outros 4,3 dólares são economizados nos gastos com saúde. A organização alerta ainda que 2,5 bilhões de pessoas no mundo sofrem com a falta de saneamento básico e que 1 bilhão ainda defecam ao ar livre. Devido as condições precárias de saneamento, milhares de pessoas em todo o mundo se tornam suscetíveis a doenças como diarreia (segunda maior causa de morte de crianças com menos de 5 anos), a cólera, hepatite, tifoide e o ebola na África Ocidental (SCHERMBRUCKER, 2014).

2.3 PANORAMA DO SANEAMENTO

2.3.1 No Brasil

No Brasil, o saneamento ainda está muito longe do ideal, sobretudo a coleta e tratamento de esgoto. Apesar do país investir pesado no abastecimento de água, a coleta de esgoto ainda necessita de muito investimento visto que o pleno tratamento de esgoto e a qualidade ambiental só será possível se os esgotos forem coletados e encaminhados ao seu devido tratamento (DANTAS *et al*, 2012).

Existe uma grande desigualdade na distribuição dos serviços de saneamento em todo o território brasileiro. Em 2008 eram 5.564 municípios dos quais apenas 3.069 (55%) possuíam rede coletora de esgoto e 1.587 (28%) tratavam o esgoto coletado, ou seja, nem todo esgoto coletado é tratado. A Figura 1 demonstra a desigualdade na oferta deste tipo de serviços nas principais regiões brasileiras (IBGE, 2010).

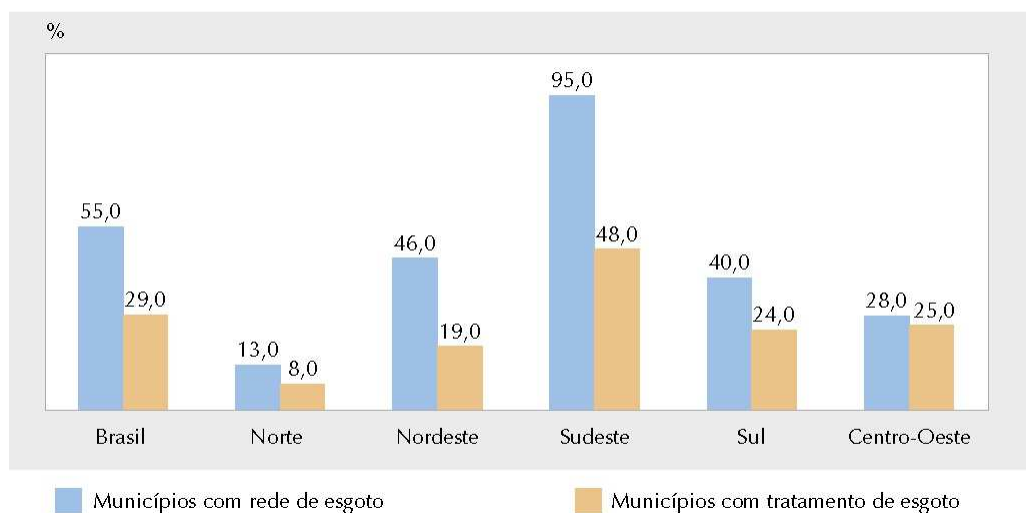


Figura 1 - Percentual de municípios que coletam e tratam esgoto, por Regiões
Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Para Dantas *et al.* (2012), o Brasil tem um grande desafio para o saneamento básico, principalmente a coleta e tratamento de esgoto. Embora o tratamento de esgoto estar incluso no planejamento do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), este não recebeu uma dimensão clara da origem dos investimentos a serem realizados. Mesmo com um diagnóstico

favorável do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, que aponta uma melhora significativa no saneamento do país (Tabela 2), se faz necessário investimentos e um forte empenho para a universalização do serviço.

Tabela 2 - Índice de atendimento com coleta de esgoto (%)

Região	ANO									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
NORTE	6,7	6,1	6,2	7,0	7,7	10,0	11,8	11,9	8,2	9,9
NORDESTE	26,7	26,4	25,4	25,6	26,5	26,1	28,4	29,4	29,3	31,1
SUDESTE	69,4	69,6	70,8	72,1	73,7	76,9	78,8	80,3	82,2	88,3
SUL	33,7	35,2	37,2	38,3	40,5	39,9	42,0	42,7	44,2	44,4
CENTRO-OESTE	45,4	45,9	48,4	49,5	51,4	50,5	52,0	47,1	48,6	51,7

Fonte: Adaptado de SNIS (2014)

Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) os investimentos em saneamento realizados entre os anos de 1995 e 2011 foram de 120,7 bilhões de reais, o que equivale a uma média de 7,5 bilhões por ano, enquanto que os investimentos necessários para atingir a universalização dos serviços de saneamento até o ano de 2033 são de 304 bilhões de reais, ou seja, uma média de 15,2 bilhões por ano (Tabela 3). Em suma, é necessário investir mais que o dobro investido no período de 1995 e 2011 (ABES 2013).

Tabela 3 - Investimentos realizados/necessários nos serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto, segundo macrorregião (em milhões de reais ref.: dezembro de 2012)

REGIÃO	Investimentos realizados no período de 1995 a 2011	Investimentos necessários para o período de 2013 a 2018	Investimentos necessários para o período de 2013 a 2023	Investimentos necessários para o período de 2013 a 2033
NORTE	4.005	69.084	104.481	166.113
NORDESTE	21.388	10.626	16.071	25.551
SUDESTE	65.904	4.198	6.349	10.095
SUL	19.192	20.118	30.426	48.374
CENTRO-OESTE	10.137	22.420	33.907	53.909
TOTAL	120.626	126.446	191.234	304.042

Fonte: Adaptador de ABES (2013)

Com base em dados sobre o andamento das obras de rede de água e esgoto no país, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) aponta que a universalização dos serviços de saneamento só será atingida, no ritmo atual, em 2050, ou seja, mais de 20 anos após o prazo previsto pelo PLANSAB. A burocracia é um dos principais motivos do baixo desempenho, pois o governo demora quase dois anos para liberar o recurso para um novo projeto, prazo que torna este quase obsoleto (AMORA, 2016).

Segundo Saiani (2007), existe um desequilíbrio no acesso aos serviços de saneamento entre as regiões, sendo o Sudeste a região com maior atendimento dos municípios com coleta e tratamento de esgoto, estando acima da média nacional e a região norte com atendimento abaixo da média. No entanto, nenhuma das regiões possui índices ideais.

Um estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e pela organização não governamental Trata Brasil apontam que o serviço de coleta de esgoto é o serviço público com menor taxa de acesso, menor crescimento de acesso e de pior qualidade se comparado a outros serviços como coleta de lixo, abastecimento de água e luz (AGÊNCIA BRASIL, 2007).

2.3.2 No mundo

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), dos 195 países reconhecidos pela entidade só 27 conseguiram universalizar os serviços de saneamento (Figura 2). De acordo com os parâmetros da ONU, das 55 nações consideradas desenvolvidas, o atendimento com serviços de saneamento chega a 95% de sua população. Para os países em desenvolvimento, 62% possuem coleta e tratamento de esgoto e 89 % possuem água tratada e nos países subdesenvolvidos estes números são de apenas 38% e 69% para atendimento com esgoto e água tratada, respectivamente (MILHORANCE, 2016).



Figura 2 - Países com universalização de acesso à água e saneamento
Fonte: MILHORANCE (2016)

2.4 O SANEAMENTO E O ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) foi desenvolvido por Mahbub ul Haq¹ em 1990 e utilizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) desde 1993. Tem como objetivo estabelecer um *Ranking* dos países em relação a três indicadores: renda *per capita*, nível de escolaridade e expectativa de vida ao nascer. O índice pode variar de 0 a 1 classificando o país quanto ao seu desenvolvimento, conforme Tabela 4 (FULGENCIO, 2007).

Tabela 4 - Classificação quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano

IDH MUNDIAL			
BAIXO	MÉDIO	ALTO	MUITO ALTO
0 a 0,555	0,555 a 0,700	0,700 a 0,800	0,800 a 1,000

Fonte: Adaptado de PNUD (2014)

¹ Mahbub ul Haq (1934-1998) foi um influente economista Paquistanês, pioneiro na Teoria do desenvolvimento Humano e criador do Relatório de Desenvolvimento Humano. Juntamente com Amartya Sen, desenvolveu em 1990 o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) que foi começado a ser utilizado em 1993 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

Segundo o relatório do PNUD (2014) o Brasil está com o IDH de 0,755, o que o coloca na categoria de países com alto desenvolvimento humano. O país está em 75º lugar entre 188 nações reconhecidas pelas ONU. O relatório mostra que o Brasil teve um crescimento no IDH de 24,2% entre os anos de 1990 e 2014 e o melhor desempenho entre os países da América do Sul.

De acordo com uma pesquisa realizada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), crianças que não tem acesso a serviços de saneamento básico possuem aproveitamento escolar 18% menor e as que estão na faixa etária de 1 a 6 anos tem probabilidade de 32% de falecerem por conta de moléstias causadas pela falta infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto e ainda. A pesquisa também apontou que todo ano, 217 mil trabalhadores se afastam de suas atividades por conta de problemas gastrointestinais devido à falta de saneamento. Considerando que a hora trabalhada custa em média R\$ 5,70 e em cada afastamento se perde 17 horas de trabalho, os custos com horas e não trabalhadas chegam a 238 milhões por ano. Um trabalhador com acesso a serviços de saneamento tem produtividade e renda 13,3% maior sendo que a massa salarial, que gira em torno de R\$1,1 trilhão, aumente 3,8% chegará a um aumento na renda de R\$ 41,5 bilhões. O saneamento básico reflete diretamente no critérios utilizados para o cálculo do IDH: educação, saúde e renda (TIEGHI, 2016).

2.5 ALTERNATIVA PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL

Uma modalidade de contratação de obras que vem ganhando destaque é a Parceria Público Privada (PPP). Segundo a Lei da PPP (Lei n.º 11.079 de 30 de dezembro 2004), é um contrato de prestação de serviços onde o valor mínimo do contrato deve ser de R\$ 20.000,00 com duração de 5 a 35 anos firmado entre governo federal, estadual, municipal e empresas privadas. Difere da Lei das Concessões (Lei n.º 8.987 de 13 de fevereiro de 1995) na forma de remuneração do parceiro privado onde este é remunerado somente pelo governo ou em uma combinação de parte das tarifas faturadas dos usuários dos serviços mais recursos públicos (PORTAL BRASIL, 2012).

Exemplo da aplicação desta modalidade é a PPP do saneamento no estado de Pernambuco onde serão investidos R\$ 4,5 bilhões em 12 anos para coletar e tratar 90% dos efluentes gerados na região metropolitana do Recife (PE). Segundo Newton Azevedo, Governador do Conselho Mundial da água no Brasil e vice-presidente da Associação Brasileira

de Infraestrutura e Indústrias de Base (ABDIB), é o maior projeto de saneamento do Brasil. No entanto é necessário superar as barreiras culturais e somar esforços entre Governo, Companhias estatais e iniciativa privada, pois só o Estado não resolve (CNI, 2013).

2.6 MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA OBRAS DE SANEAMENTO

2.6.1 Método Destrutivo

Segundo Nuvolari (2003), a escavação de valas a céu aberto é um método destrutivo utilizado para o assentamento de tubos no solo com a abertura de valas, desde a superfície até o ponto em que a tubulação será instalada, conforme Figura 3. É o método mais utilizado, apesar dos transtornos causados à veículos e pedestres.



Figura 3 - Abertura de valas para execução de rede coletora de esgoto
Fonte: Construferris (2016)

A norma brasileira que estabelece as condições para projeto e execução de valas para assentamento de canalização de saneamento, bem como critérios para posicionamento da vala

em via pública e dimensionamento de escoramento é a NBR 12266/92 - Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana (ABNT, 1992).

Segundo Rodrigues (2008) a primeira providência a ser tomada antes do início da execução de redes coletoras de esgoto pelo MD é a identificação das possíveis interferências de outros sistemas já instalados como redes de abastecimento de água, drenagem, energia, gás, telefone, etc. Dentre as etapas necessárias à execução de redes coletoras de esgoto pelo MD, das mais trabalhosas, de maior duração e mais onerosas são a escavação, escoramento e o reaterro das valas.

De acordo com a NBR 12.266/92, as principais etapas para a execução de redes coletoras de esgoto pelo MD serão descritas a seguir (ABNT, 1992).

2.6.1.1 Serviços Preliminares

Estes serviços compreendem a mobilização da equipe de trabalhadores, a sinalização para a segurança dos serviços e a locação do local onde será executada a abertura da vala.

- Sinalização da obra

Em geral são utilizados cones de sinalização, placas de madeira, cavaletes de advertência, fita zebra e tapumes com indicativo de fluxo. Essa atividade depende do período da realização dos serviços, noturno ou diurno, interrupção da via parcial ou total, e da natureza do serviço a ser realizado. Para obras no período noturno podem ainda ser usada sinalização fluorescente e sinalização luminosa (PEREIRA e SOARES, 2006). De acordo com BRASIL (2007), tanto no leito das vias quanto nas calçadas, qualquer obstáculo deve ser sinalizado. A Figura 4 mostra uma sinalização com placas de madeira.

- Locação da vala

Segundo Nuvolari (2003), a equipe de topografia deve executar o renivelamento do terreno (Figura 5) a fim de confirmar se as cotas apresentadas no projeto estão de acordo com a situação real do terreno e garantir que os efluentes sejam escoados por gravidade no interior

da tubulação. É imprescindível a precisão no estaqueamento, principalmente no local onde será instalado o Poço de Visitas (PV).



Figura 4 - Sinalização com placas de madeira
Fonte: Construferrí (2016)

2.6.1.2 Retirada de pavimentação

Para Rodrigues (2008) a pavimentação existente no trecho onde a vala esta locada deve ser retirada, sendo esta a última etapa antes da escavação propriamente dita. A atividade pode ser executada de forma manual ou mecânica, sendo picareta e britadeira as ferramentas mais utilizadas. Os pavimentos podem ser do tipo asfalto, paver, concreto desempenado, lousa de pedra, paralelepípedo, etc. Materiais inservíveis devem ser transportados para bota-fora (Figura 6).



Figura 5 - Equipe de topografia nivelando trecho de execução de rede coletora de esgoto
Fonte: Construferr (2016)

Escavação à céu aberto é um método destrutivo onde a vala pode ser aberta manual ou mecanicamente até a cota de assentamento da tubulação. Em geral, a adoção deste método gera inúmeros transtornos ao trânsito de veículos, comércio, pedestres e moradores das ruas que estão sendo executados os serviços (RODRIGUES, 2008).



Figura 6 - Retirada de pavimentação asfáltica
Fonte: RODRIGUES (2008)

2.6.1.3 Escavação à céu aberto

Segundo ABNT (1992) a escavação deve ser iniciada de jusante para montante, ou seja, no sentido inverso ao fluxo de escoamento do efluente. A presença de rochas ou outros elementos não previstos em projeto são fatores que podem onerar o custo da execução de uma obra caso estes não tenham sido considerados no orçamento da obra.

De acordo com Rodrigues (2008) as ferramentas comumente utilizadas em escavações manuais são picaretas, pás, enxadas (Figura 7). Já em escavação mecânica são usadas retroescavadeiras e escavadeiras hidráulicas (Figura 8). Este tipo de escavação é tido como mais econômico, no entanto nem sempre é possível utiliza-lo em função do espaço que estes equipamentos ocupam ou da existência de interferências que inviabilizem o seu uso.



Figura 7 - Ferramentas: (A) pá; (B) picareta; (C) enxada.
Fonte: Ferramentas Ramada (2016)

2.6.1.4 Escoramento

Para Rodrigues (2008) o objetivo do uso de escoramento é manter a estabilidade das paredes das valas trazendo maior segurança para os operários durante o serviço de assentamento da tubulação e também para as construções adjacentes. Segundo AZEVEDO NETO (1983) a orientação da Norma Regulamentadora 18 (NR-18), BRASIL (1978), para escavações em solos com baixa estabilidade e com profundidades superiores a 1,25 m, estes devem ser

obrigatoriamente escorados e para solos instáveis, as valas devem ser escoradas com qualquer profundidade.



Figura 8 - Máquinas: (A) Retroescavadeira; (B) Escavadeira Hidráulica.
Fonte: CAT (2016)

De acordo com a NBR 9814 (ABNT, 1987) os tipos de escoramentos mais utilizados são o (i) Pontaletes de madeira, onde são dispostos pares de pranchas de madeira travadas com estroncas de madeira e espaçados com 1,35 m de distância entre os eixos (Figura 9); (ii) Escoramento Descontínuo, onde os pares de pranchas são colocados a 0,60 m de distância entre os eixos, apoiados com longarinas horizontais de madeira e travados com estroncas de madeira; (iii) Escoramento Contínuo, em que as pranchas de madeira são dispostas lado a lado, de modo que toda a parede da vala seja escorada, sendo apoiada por longarinas horizontais e travadas com estroncas de madeira; (iv) Escoramento Especial onde pranchas de madeira com encaixes do tipo macho-fêmea dispostas, de modo a escorar toda a parede da vala, apoiadas por longarinas de madeira e travadas com estroncas espaçadas com no máximo com 1,35 m.



Figura 9 - Escoramento do tipo Pontaletes de Madeira
Fonte: Construferris (2016)

2.6.1.5 Esgotamento

Segundo Rodrigues (2008), a infiltração de galerias de águas pluviais, água da chuva (Figura 10), percolação de água do solo ou rompimento de rede de água que eventualmente adentrem as valas pode dificultar o assentamento das tubulações ou até mesmo comprometer a estabilidade das escavações. Para tanto é necessária a drenagem da água por meio de bombas de esgotamento. Para NUVOLARI (2003), as bombas utilizadas para esgotamento podem ser do tipo submersível acionadas por motor à combustão ou elétricas, sendo que esta última depende da disponibilidade de luz elétrica na obra.



Figura 10 - Esgotamento de água da chuva retida na vala
Fonte: Rodrigues (2008)

2.6.1.6 Embasamento

Para SANEPAR (2012) o embasamento é a execução de uma fundação com materiais granulares (areia, pedrisco, areia reciclada, brita, rachão, etc.) para otimizar a capacidade de suporte do solo para que o tubo assentado distribua de forma uniforme as cargas externas atuantes sobre ele e, por consequência, resista as cargas ativas (Figura 11).



Figura 11 - Tubulação em PVC embasado com materiais granulares
Fonte: Construferrri (2016)

2.6.1.7 Assentamento da tubulação

O assentamento deve ser realizado de jusante para montante, ou seja, no sentido inverso ao fluxo. A instalação do tubo no interior da vala pode ser feita de forma manual (Figura 12), mecânica ou com equipamentos adequados. A tubulação pode ser assentada diretamente sobre o solo, quando este for de boa qualidade, ou com o embasamento quando o material do fundo da vala for de baixa qualidade. O correto assentamento do tubo evita que este saia de sua posição e venha a causar danos à tubulação como desgaste nas juntas e até mesmo a quebra do tubo (RODRIGUES, 2008).

2.6.1.8 Reaterro e compactação

De acordo com Rodrigues (2008) o reaterro consiste no cobrimento da tubulação com o próprio solo da escavação ou com material proveniente de jazidas quando o solo escavado não for de boa qualidade, ou seja, com a presença de barro ou pedras. Após o assentamento da tubulação, verificação do alinhamento da tubulação, declividade e estanqueidade, é necessário que a vala seja aterrada de imediato.

A compactação pode ser manual, por meio de soquetes, ou mecânica por vibração, impacto, pressão ou por amassamento. A compactação por vibração é executada por meio de placas vibratórias ou vibradores de imersão é indicada para solos arenosos. Por impacto são utilizados os compactadores de solo mais conhecidos como “sapos mecânicos”, equipamento muito comum em obras de saneamento (Figura 13). A pressão utilizada para compactação se dá pela utilização de rolos compressores de pouca largura, que se adaptem à largura das valas. A utilização de pés de carneiro é a maneira de compactar o solo por amassamento (NUVOLARI, 2003).



Figura 12 - Assentamento sendo executado de forma manual
Fonte: Construferrri (2016)

2.6.1.9 Recuperação do pavimento

Independentemente do pavimento que tenha sido removido da via pública, este deve ser reconstituído no menor tempo possível com qualidade igual ou superior a existente antes da execução da rede coletora (RODRIGUES, 2008). Para PEREIRA e SOARES (2006), caso o pavimento a ser recomposto seja asfalto, dever ser utilizado rolo liso com vibração para a compactação do revestimento (Figura 14).



Figura 13 - Compactação de vala com “sapo mecânico”
Fonte: Construferris (2016)

Segundo a NBR 9814 (ABNT, 1987) após a conclusão dos reparos nos pavimentos, é obrigação do executor efetuar a limpeza do local removendo todos os restos de solo das vias e passeio.



Figura 14 - Rolo liso compactando pavimento asfáltico
Fonte: Construferrri (2016)

2.6.2 Métodos Não Destrutivos

Segundo a Associação Brasileira de Tecnologia não Destrutiva (ABRATT), o Método Não Destrutivo (MND) é uma ciência que diz respeito à instalação, reparação e reforma de tubos, dutos e cabos subterrâneos fazendo o uso de técnicas que minimizem ou eliminem o uso de escavações. Este método pode reduzir os impactos ao meio ambiente, diminuir os custos sociais e representar uma alternativa econômica ao MD com abertura de valas à céu aberto. As concessionárias que prestam serviços públicos tendem a utilizar MND sempre que possível, devido aos custos e aos aspectos sociais e ambientais (ABRATT, 2007).

Para a ABRATT (2007), os MND mais utilizados na construção de obras hidráulicas de saneamento podem ser divididos em três métodos:

- *Tunnel Liner*;
- *Horizontal Directional Drilling*;
- *Slurry Pipe Jacking*.

2.6.2.1 *Tunnel Liner*

De acordo com Nakamura (2012), *Tunnel Liner* é uma técnica classificada como uma solução não destrutiva que consiste na abertura de túneis estruturados com chapas de aço corrugado em forma de arco (Figura 15), de pequena e média dimensões, sem interferir na

superfície ou tráfego local. São indicados para obras subterrâneas, principalmente em áreas urbanas, em diferentes tipos de solo. Este método já foi muito utilizado nos anos 80 e 90, mas com o surgimento de novas tecnologias, hoje só é viável a sua utilização em pequenas extensões. São classificados quanto à forma (circulares, elípticos e ovoides), quanto ao revestimento (sem revestimento, galvanizado ou epóxi). Em geral são utilizados para a execução de túneis de 1,20 m a 5 m de diâmetro. Segundo Corsini (2011) a escavação do túnel é feita manualmente e à medida que se avança são montadas as chapas de aço corrugado aparafusadas sendo que estas servem como revestimento e escoramento (Figura 16).



Figura 15 - Chapas de aço corrugado
Fonte: Naresi (2016)

Segundo Nakamura (2012), as etapas executivas do *Tunnel Liner* podem variar em função do diâmetro do túnel e do local a ser instalado. Via de regra a sequência de execução é a seguinte:



Figura 16 - Túnel executado pelo método *Tunnel Liner*
Fonte: Corsini (2011)

- Sondagem

Antes do início da execução do túnel deve-se executar sondagem à percussão do tipo SPT (*Standart Penetration Test*) a fim de se reconhecer o subsolo e se determinar o nível do lençol freático. Os furos devem ser executados a cada 5 m no eixo do túnel abaixo da geratriz inferior. Além disto é necessário o conhecimento dos cadastros técnico da interferência para o planejamento dos trabalhos antes da execução.

- Emboque do túnel

O emboque do túnel deve ser executado diretamente no talude sempre que possível (Figura 17) introduzindo 3 anéis já montados travando-os com aterramento parcial. Caso o emboque direto não seja possível devido as condições do local deve-se proceder a abertura de um poço de emboque, até a cota de abertura do túnel, executado em geral com chapas de aço corrugado com diâmetro adequado à execução dos trabalhos (Figura 18).



Figura 17 - Emboque do túnel diretamente no talude
Fonte: Fortes (2010)

- Execução

Depois da locação do eixo do túnel inicia-se a escavação, tanto quando for diretamente no talude quanto em um poço de ataque (Figura 19). Em seguida são instalados os anéis de aço corrugado, fixando umas às outras com os parafusos e porcas fornecidos juntamente com as chapas (Figura 20). Caso haja a presença de água durante as escavações, deve ser instalada uma bomba elétrica para a drenagem completa do líquido. Devem ser seguidas sucessivamente as etapas de escavação e montagem dos anéis até a conclusão do túnel. Deve ser executado controle topográfico a cada três anéis montados a fim de garantir o alinhamento e a declividade previstas no projeto.

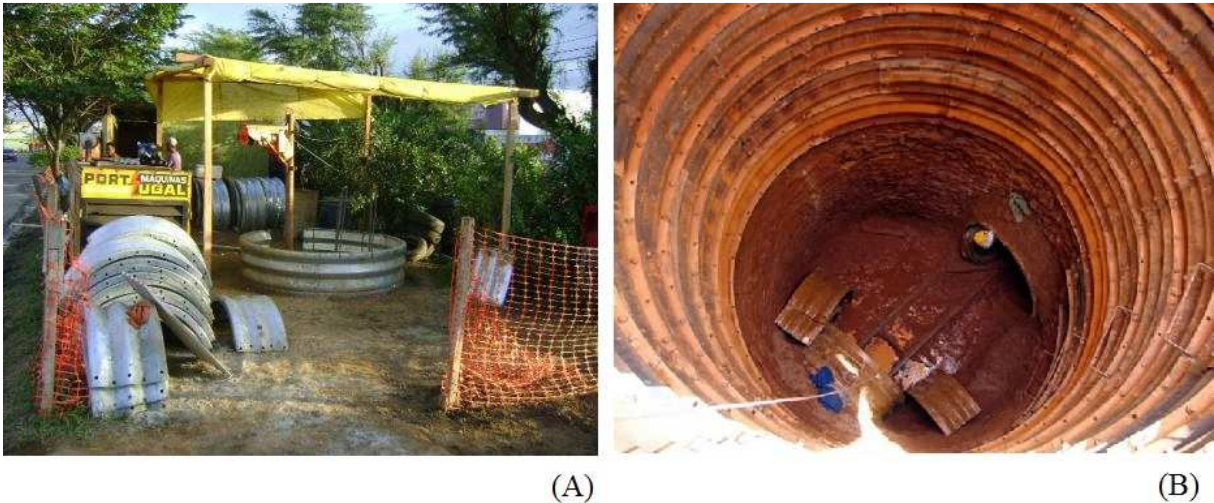


Figura 18 - Poço de ataque. (A) Canteiro da obra; (B) fundo do poço de emboque
 Fonte: Fortes (2010)

- Consolidação do solo

Eventualmente podem ocorrer espaços vazios entre o solo escavado e a superfície externa das chapas podendo acarretar acomodações e recalques indesejados.

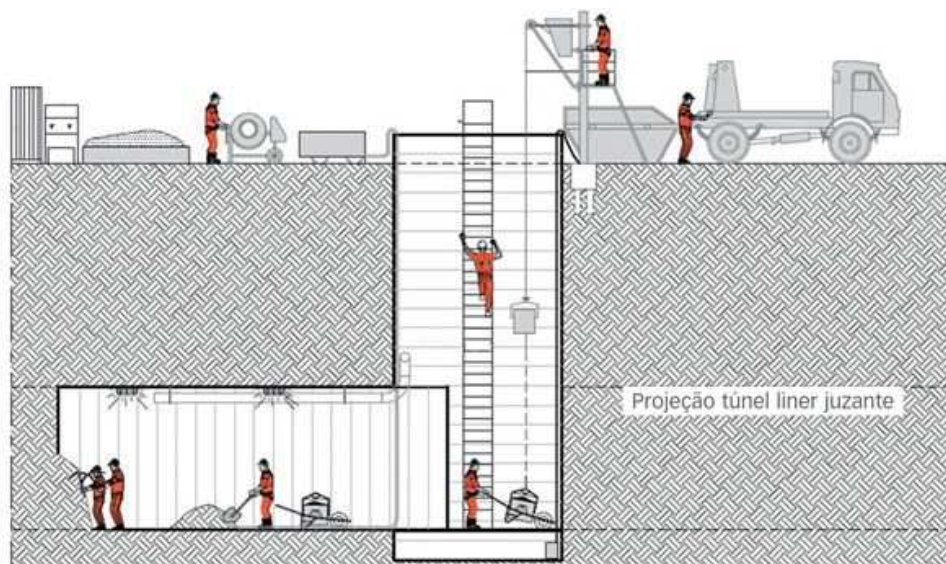


Figura 19 - Sequência executiva *Tunnel Liner* com poço de ataque
 Fonte: Naresi (2016)



Figura 20 - Montagem dos anéis
Fonte: Naresi (2016)

Para preencher o espaço vazio utiliza-se a injeção de argamassa de solo cimento no traço de 1:10 (Figura 21) através de furos existentes nas chapas. A mistura deve apresentar resistência mínima de 1,5 MPa aos 28 dias.



Figura 21 - Preparo de solo cimento para injeção
Fonte: Fortes (2010)

2.6.2.2 Horizontal Directional Drilling

Segundo a ABRATT (2007) a técnica de perfuração horizontal direcional, também conhecida por sua sigla HDD (do inglês *Horizontal Directional Drilling*), é utilizada para a instalação de tubulações, conduítes e cabos, pelo processo não destrutivo. A máquina perfuratriz direcional (Figura 22) pode executar a perfuração a partir da superfície, em um ângulo suave com o solo, ou entre poços de entrada e saída. A direção da perfuração pode ser reta ou ligeiramente curva sendo possível contornar obstáculos tais como galerias pluviais, caixas de telefonia, postes, etc., transpor rodovias, ferrovias, rios, etc., com o ajuste direcional subterrâneo em qualquer etapa do serviço.

Para Palazzo (2008) o método HDD é indicado para escavações em diferentes tipos de solo e rochas, bem como a aplicação em diversos diâmetros de tubulação sendo necessário a correta escolha do equipamento de acordo com a necessidade. As máquinas perfuratrizes se dividem em três categorias, conforme a Tabela 5.

As máquinas perfuratrizes utilizam ferramenta de corte com injeção de fluido na extremidade da haste de perfuração cuja a qual é introduzida no solo. Normalmente são anguladas sendo que a rotação contínua da haste produz um furo reto e a permanência desta em alguma direção leva a uma mudança na trajetória (ABRATT, 2007).

Tabela 5 - Categoria das máquinas de HDD

Categoria	Tração (tf)	Diâmetros (mm)	Aplicação
Pequena capacidade	10	50 a 300	Instalação de cabos e dutos de pequenos diâmetros em áreas urbanas
Média capacidade	10 a 50	300 a 600	Instalações de tubulações em geral e perfurações em rocha
Grande capacidade	> 50	> 600	Instalação de redes de grande diâmetro e na exploração industrial de reservas de gás natural

Fonte: Adaptado de Palazzo (2008)

O método HDD é assim denominado devido a capacidade de informar a localização e direção da ferramenta de corte e de guia-la durante a perfuração. (Najife, 2004 *apud* Dezotti, 2008). Em geral uma sonda é instalada no interior da ferramenta de corte (Figura 23) que emite sinais eletromagnéticos que são recebidos por um receptor (Figura 24) na superfície o que

permite o rastreamento da sonda e o monitoramento de parâmetros como posição da pá, profundidade, temperatura da ferramenta de corte, carga das baterias da sonda, entre outras informações.



Figura 22 - Máquina perfuratriz direcional
Fonte: Construferrri (2016)



Figura 23 - Ferramenta de corte com sonda eletromagnética
Fonte: Nepomuceno (2008)

De acordo com a ABRATT (2007) a instalação da tubulação é realizada em duas etapas: na primeira etapa executa-se a perfuração do furo piloto ao longo do eixo da tubulação a ser instalada (Figura 25). Segundo Abraham, Baik e Gokhale (2002) *apud* Dezotti (2008) o furo piloto é a etapa crucial em uma obra onde está sendo utilizado HDD. É nesta etapa que é determinado o posicionamento final da tubulação.

Na segunda etapa o furo piloto é alargado no sentido inverso por meio de uma ferramenta acoplada na extremidade da haste de perfuração, substituindo a ferramenta de corte, denominada alargador (Figura 26). Durante a etapa de alargamento (Figura 27) a tubulação, que

é presa ao alargador por meio de uma conexão articulada (Figura 28), é arrastada para dentro do furo piloto já alargado a medida que as hastes de perfuração são retiradas.



Figura 24 - Receptor eletromagnético

Fonte: Bennett, Ariaratnam e Como (2004) *apud* Dezotti (2008)

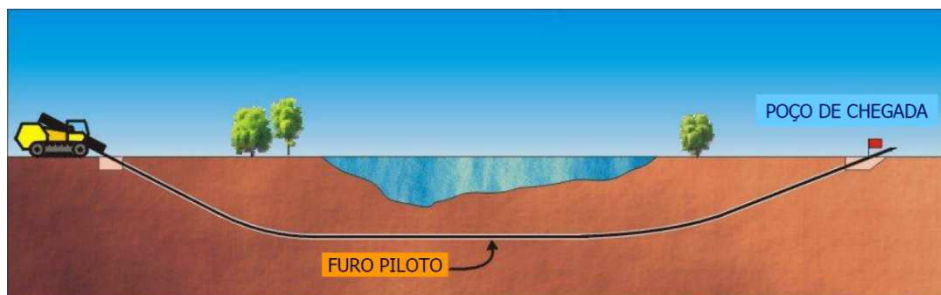


Figura 25 - Execução do furo piloto

Fonte: ABRATT (2007)

As hastes de perfuração (Figura 29) são construídas em aço-liga exclusivo I-135, forjadas e tratadas termicamente. Unem-se umas às outras através de roscas macho-fêmea sendo que estas permitem a montagem e desmontagem com rapidez devido a usinagem precisa das peças. Resistem a um alto torque em perfurações de grande diâmetro e possuem dutos internos que permitem alta vazão de fluídos (NEPUMOCENO, 2008).



Figura 26 - Diferentes tipos de alargadores
 Fonte: VERMEER (2016)

Segundo Bennett, Ariaratnam e Como (2004) *apud* Dezotti (2008) nos processos de perfuração do furo piloto e no de alargamento é utilizado a injeção de fluídos para perfuração. Em geral são utilizados bentonita, polímeros e água, sendo este último indicado para furos de pequenos diâmetros e solos estáveis (Tabela 6). Os principais objetivos da injeção de fluídos são:

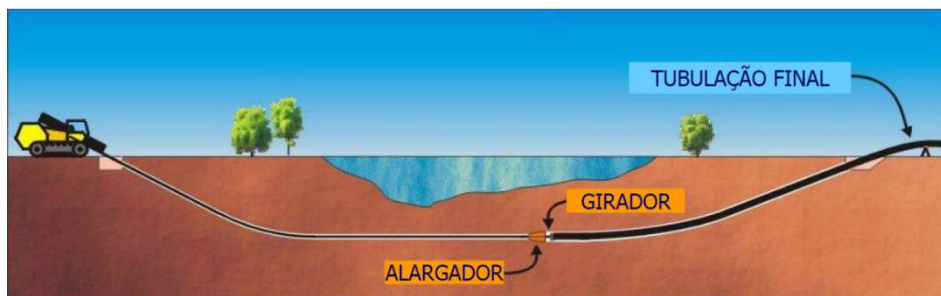


Figura 27 - Alargamento do furo piloto
 Fonte: ABRATT (2007)

- Remoção do material escavado para superfície;
- Estabilizar a perfuração a fim de evitar desmoronamentos;
- Manter material perfurado em suspensão;
- Lubrificar o conjunto de perfuração;
- Transferir energia hidráulica à ferramenta de corte;
- Reduzir o atrito entre a parede do furo e a tubulação;
- Limpar e resfriar a ferramenta de corte.



Figura 28 - Alargador com conexão articulada
Fonte: ABRATT (2007)

Tabela 6 - Relação entre tipo de solo e fluído de perfuração

Tipo de solo	Característica	Fluído de perfuração
Solos grossos (areia e granito)	Permitem a passagem de água por suas partículas	Bentonita mineral (lubrificação e estabilização do solo)
Solos finos (argila)	Possuem baixa permeabilidade	Polímero Phpa (quando atraídos pela argila, evitam sua dilatação)

Fonte: Matsui & Kotchen (2003)

Após o levantamento topográfico (altimétrico) e a análise dos cadastros das possíveis interferências (água, gás, telefone, etc.) é elaborado o plano de furo, que leva em conta as profundidades necessárias para a execução do furo piloto e o material da tubulação, que deve ser liso, flexível, e resistente as cargas e tensões aplicados durante a instalação. Em geral são utilizados tubos de polietileno de alta densidade (PEAD), aço, PVC e ferro dúctil (DEZOTTI, 2008).

Segundo a ABRATT (2007) a maioria das perfuratrizes utiliza injeção de fluído para otimizar a execução do furo, porém, existem equipamentos que funcionam a seco (Figura 30). Estas máquinas tende a ser mais simples e compactas do que as que utilizam fluídos. Possuem martelos pneumáticos que perfuram o solo para a execução do furo piloto.



Figura 29 - Hastes de perfuração
Fonte: VERMEER (2016)

A força de tração aplicada é a principal responsável pela execução do furo, não sendo necessário a rotação durante o processo. Concluído o furo piloto, é instalado um alargador em forma de cone o qual é puxado no sentido inverso do furo piloto e traz acoplado a tubulação em sua traseira.



Figura 30 - Perfuratriz a seco
Fonte: ABRATT (2007)

2.6.2.3 *Slurry Shield Pipe Jacking*

Segundo Matsui e Kochen (2003) o *Slurry Shield Pipe Jacking* é uma técnica de escavação subterrânea para execução de túneis com diâmetros inferiores a 3 metros. Resulta da união de uma técnica de cravação de tubos (*Pipe Jacking*) com outra técnica de escavações subterrâneas que utiliza couraça mecanizada de pressões balanceadas por lama, denominada *Slurry Shield*.

Para a ABRATT (2007) a técnica consiste em uma escavação com equipamento de corte direcionado por controle remoto (Figura 31) para posterior cravação de tubos de concreto por pistões hidráulicos de modo a formar uma linha contínua de tubos sob o solo. Utilizam um sistema de direcionamento a *laser* a fim de manter o alinhamento e o nivelamento da tubulação durante a sua instalação.

Para a instalação dos tubos é necessário a execução de dois poços de serviço, um para a entrada do *Slurry Shield* e da tubulação, chamado de poço de emboque, e outro para a saída do equipamento chamado poço de desemboque. A cravação se dá através de pistões hidráulicos instalados no interior do poço de emboque (Figura 32) que deve ser de estrutura robusta a fim de suportar as tensões aplicadas pelo equipamento hidráulico (SILVA *et al.*, 1999).



Figura 31 - *Slurry Shield*
Fonte: Corsini (2011)

O processo inicia com a escavação do solo pelo *Slurry Shield* onde o solo é desagregado e triturado na cabeça cortante desagregadora no interior do equipamento, que consiste em uma estrutura cônica dotada de pás nas extremidades que se movimenta por conta de uma engrenagem elíptica que produz uma rotação excêntrica no interior do cone, conforme Figura 33 (MATSUI; KOCHEN, 2003).



Figura 32 - Pistões hidráulicos
Fonte: PJA (2016)

Segundo a ABRATT (2007) são utilizados basicamente dois sistemas de remoção de material escavado. Quando não há presença do lençol freático, é utilizado um sistema de rosca para a retirada do material fragmentado que é disposto em uma caçamba que, quando fica cheia, é transportada até a superfície, descarregada e instalada novamente antes do reinício da escavação (Figura 34 (A)). Quando na presença do lençol freático, utiliza-se um sistema de recirculação de fluido com suspensão de bentonita ou polímero especial. Este material é bombeado para o interior da câmara de corte onde se mistura com o solo escavado que posteriormente é bombeado para a superfície onde se separam por decantação ou processo forçado (Figura 34 (B)). A vantagem do sistema de fluido é a de ser contínuo enquanto que o sistema de rosca necessita de interrupções da cabeça de corte durante a escavação.



Figura 33 - Cabeça cortante desagregadora
Fonte: Calça (2007)

Os tubos utilizados neste método são fabricados em diferentes materiais cuja a escolha depende de fatores tais como o tipo de solo, extensão do túnel e custos com transporte. Os materiais podem ser de concreto, armado ou não, concreto com polímeros (resina), tubos de fibra de vidro, cerâmica, aço, ferro dúctil e plástico. Devem resistir aos esforços de cravação e garantirem a estanqueidade através das juntas. O comprimento dos tubos normalmente são de 0,75, 1,0 e 2,0 metros. Em geral, permitem deflexões nas juntas de $0,5^\circ$ e de 1° em trechos curvos (ABRATT, 2007).

Simultâneo à escavação e o transporte do material escavado é realizada a cravação dos tubos pelos pistões hidráulicos instalado no poço de emboque. A medida que a tubulação é cravada, esta movimenta todo o conjunto (*shield* mais tubos) que segue em direção ao poço de desemboque. Para reduzir o atrito na interface do tubo com o solo e reduzir os esforços de cravação é utilizado a injeção de lama bentonítica, através de bombas instaladas na superfície, por orifícios localizados nos tubos de concreto e na cauda do *shield*, conforme Figura 35 (MATSUI; KOCHEN, 2003).

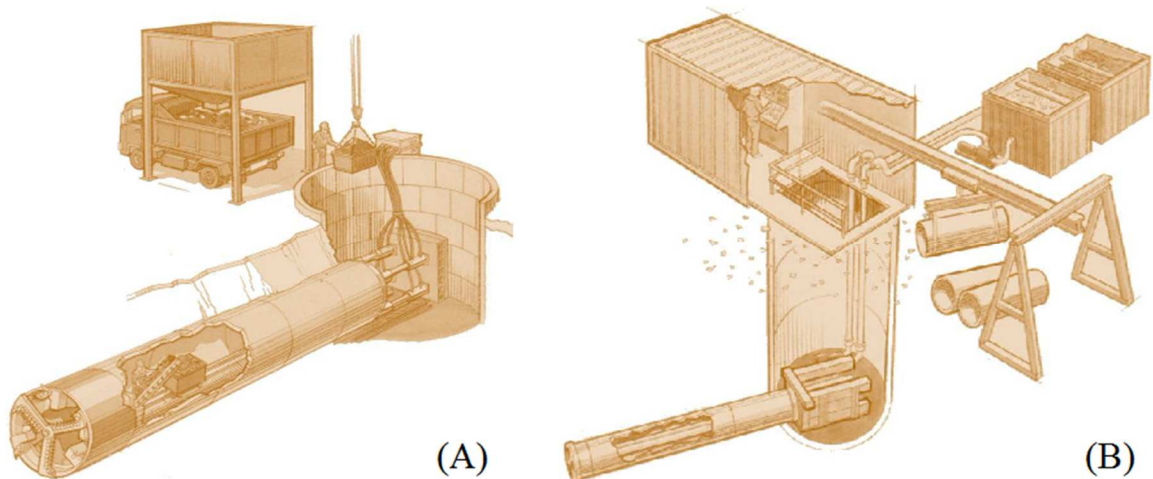


Figura 34 - Remoção do material por sistema de rosca (A); Remoção do material por bombeamento de fluido (B)
Fonte: PJA (2016)

Segundo Drösemeyer (2004), na execução dos túneis são utilizados sistemas de direcionamento e posicionamento, sistemas gráficos e equipamentos a *laser*. Este último é instalado no poço de emboque e um inclinômetro é fixado próximo a parte frontal do *shield* sendo os dois dispositivos capazes de indicar a posição relativa e o ângulo de inclinação e de giro do *shield*. Devido a utilização do *laser*, a precisão na escavação chega a ordem de ± 76 mm no alinhamento e ± 50 mm na declividade.

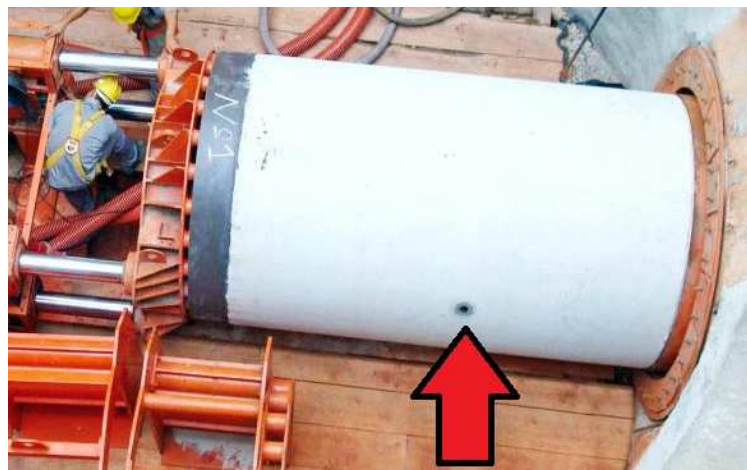


Figura 35 - Cravação de tubo de concreto com furo para injeção de lubrificante
Fonte: Calça (2007)

Um computador instalado na cabine de operação (Figura 36) recebe as informações enviadas pelos dispositivos instalados e um técnico controla a operação do *shield*.



Figura 36 - Sistema computadorizado de controle de escavação
Fonte: Matsui e Kochen (2003)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo do trabalho serão apresentados os procedimentos adotados para elaborar a análise do estudo proposto bem como atingir os resultados esperados.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O objeto de estudo é a execução de obra para a ampliação do sistema de esgotamento sanitário do Município de Fazenda Rio Grande/PR. Segundo informações prestadas pela Companhia Concessionária do serviço de saneamento, contratante da obra, sempre são previstas em suas licitações que envolvem a execução de redes coletoras de esgoto sanitário a utilização de MND para a execução de travessias sob vias pavimentadas.

No entanto, caso existam condições técnicas não previstas em projeto que impeçam a utilização de MND, a empresa contratada para a execução da obra pode utilizar o MD. Para tanto é necessário o conhecimento das variáveis que envolvem o serviço tais como o espaço físico do entorno, cadastro de interferências, os impactos no local da obra, o seu custo e sua duração.

Para tanto será elaborado um estudo de caso, na obra mencionada, em um trecho de travessia da rede coletora de esgoto sob uma via local pavimentada e com intenso tráfego de veículos. Neste estudo serão comparados a aplicação de dois métodos distintos, um MND do tipo HDD e o MD no custo, no prazo de execução e nos impactos gerados ao meio urbano.

3.2 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso proposto trata de uma travessia de rede coletora de esgoto sanitário na Avenida Nossa Senhora Aparecida, no Bairro Santa Teresinha em Fazenda Rio Grande/PR entre os poços de visita (PV) de números 158 e 159 com extensão de 13,10 m, conforme projeto apresentado pela contratante, sendo previsto para este trecho um MND do tipo HDD. A Avenida em questão possui comércio local bem desenvolvido e intenso tráfego de veículos (Figura 37),

incluindo linhas de ônibus de transporte coletivo. É uma importante via de ligação entre os dois extremos do Município que é cortado pela rodovia BR-116.



Figura 37 - Visão da localização da travessia e do seu entorno
Fonte: *Google Earth* (2016)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o escopo da obra, o material da tubulação a ser instalada é de PVC com diâmetro nominal de 150 mm e fará o transporte de efluentes domésticos por gravidade, visto que se trata de um conduto livre. Em Ambos os lados da Avenida estão previstos dispositivos de inspeção do tipo PV que assim como o material da tubulação não se alteram em função do método construtivo a ser adotado.

Segundo informações da Concessionária do serviço de saneamento, a modalidade de licitação do empreendimento em questão é a de preço global, ou seja, a contratada para a execução dos trabalhos não possui acesso ao orçamento unitário dos serviços e materiais sendo que o custo destes estão englobados em um único valor pago para cada metro linear de rede coletora, diferenciando-se apenas pelo método executivo.

4.1 COMPARATIVO DE CUSTOS

De acordo com uma análise comparativa realizada na planilha orçamentária entre os valores previstos para a execução dos serviços, os custos da utilização do método MND HDD e do método MD estão descritos na Tabela 7:

Tabela 7 - Custo para cada método construtivo

Descrição	un.	Qdade	R\$ unit.	R\$ Total
Execução de rede coletora de esgoto pelo método destrutivo convencional em PVC DN 150 mm	m	13,10	109,39	1.433,01
Execução de rede coletora de esgoto pelo método não destrutivo com utilização de HDD para PVC DN 150 mm	m	13,10	214,99	2.816,37

Para este empreendimento, o custo da utilização do MND HDD é substancialmente maior, ou seja, 96,54 % superior ao custo do MD.

A utilização do MD pode acarretar aditivos ao contrato que podem elevar o custo por metro do método visto que durante a abertura de valas podem ocorrer o aparecimento de interferências não previstas inicialmente em projeto tais como galerias de drenagem pluvial,

redes telefônicas, redes de água, etc., cuja as quais irão gerar custos adicionais para o seu remanejamento ou até mesmo reparos e a substituição destas, no caso de danos durante as escavações.

Para que o MND HDD não sofra acréscimos no seu custo por conta dos mesmos motivos apontados para o MD, é necessário um bom planejamento e conhecimento das interferências, mesmo das que não tenham sido previstas no projeto, antes de iniciar os trabalhos além de uma equipe técnica experiente para o êxito da obra.

4.2 PRAZO DE EXECUÇÃO

Segundo técnicos da Companhia, a execução da travessia pelo método HDD, como previsto inicialmente em projeto, teve duração aproximada de 2 horas sendo a execução do furo piloto e o puxamento da tubulação com o alargador. Já para o MD os técnicos estimam que os serviços iriam durar entre 4 e 6 horas devido à complexidade da execução do serviço no local da travessia, por conta do corte e retiradas do pavimento asfáltico e da escavação com bloqueio parcial do trânsito.

De acordo com as estimativas da Concessionária, o MND HDD leva a uma redução de 50 a 70 % no prazo de execução, sem levar em conta que no caso do MD ainda é necessário a recomposição do pavimento asfáltico que geralmente não é executado no mesmo dia.

4.3 IMPACTOS NA SUPERFÍCIE

O MND HDD causa mínimo impacto à superfície durante a execução do serviço. Na obra em questão, devido à baixa flexibilidade do material da tubulação, foi necessário a abertura de um poço de acesso a montante da travessia, mais precisamente próximo ao calçamento, para a instalação do alargador e puxamento da tubulação cuja a qual já havia sido montada as juntas dos tubos previamente. A máquina perfuratriz ficou instalada a aproximadamente 30,00 m da travessia em uma rua transversal, devido ao espaço necessário para a curvatura das hastes de perfuração. A retroescavadeira que executou a abertura e o fechamento do poço de acesso e o caminhão que transporta a perfuratriz e o sistema de injeção de fluido ficaram estacionados em

uma rua lateral. Portanto, não houve qualquer tipo de interrupção no tráfego de veículos e tampouco na circulação de pedestres.

De acordo com a Companhia, caso fosse utilizado o MD, inicialmente seria necessário a interrupção parcial do tráfego para o corte e retirada do asfalto. Em seguida, iniciariam os serviços de escavação, escoramento, embasamento, assentamento da tubulação, reaterro, compactação, execução de sub-base para asfalto e a base do pavimento. Concluído os serviços em uma pista, inicia-se a mesma sequência executiva para a outra pista. É imprescindível o desvio do tráfego da pista que está em obras ou, caso não seja possível, deve ser realizado o bloqueio parcial com liberação alternada do fluxo de veículos.

Outro inconveniente da utilização do MD é que a recomposição da camada asfáltica retirada para a execução do serviço geralmente não é recomposta no mesmo dia da execução por conta do complexo processo de recomposição asfáltico que envolve inúmeros equipamentos e pessoal qualificado, juntamente com condições climáticas favoráveis.

5 CONCLUSÃO

Este estudo buscou apresentar os benefícios dos MND como alternativa ao uso do MD para a execução de travessias de tubulações de esgotamento sanitário sob vias de tráfego intenso de veículos. Apesar de ainda desconhecidos para muitos profissionais, os MND contribuem para a redução dos transtornos causados à população em decorrência da utilização de MD.

O estudo de caso proposto apresentou a execução de uma travessia de rede coletora de esgoto sanitário em uma Avenida com intenso tráfego de veículos pelo método não destrutivo do tipo HDD. Na análise da planilha orçamentária deste empreendimento foi possível verificar que o custo previsto do MND é substancialmente mais elevado do que o custo do MD, ou seja 96,53% maior. Porém, a execução ocorreu em apenas duas horas o que representa uma redução de 50 % a 70% no tempo de execução se comparado com o MD. Além da rápida execução o MND não causou nenhum tipo de obstrução no trânsito de veículos e nem na circulação de pedestres, o que não ocorreria caso a travessia fosse executada pelo MD.

Em geral, a responsabilidade da gestão dos serviços de saneamento fica a cargo de Concessionária ou diretamente com a administração municipal. Sendo assim, a minimização dos transtornos causados em decorrência de obras públicas é de grande importância para estas entidades visto que a satisfação da população reflete a qualidade dos serviços públicos. Logo, mesmo com custo mais alto se comparado ao MD, o MND tem grande viabilidade de utilização em obras de travessias sob vias com alto tráfego de veículos por conta da rapidez na execução e a redução dos transtornos ao meio urbano.

REFERÊNCIAS

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Entraves ao Investimento em Saneamento**. São Paulo, 2013. < <http://abes-sp.org.br/arquivos/entraves.pdf>>. Acesso em 25/05/2016.

ABRAHAM, D. M.; BAIK, H. S.; GOKHALE, S. (2002) *Development of decision support system for selection of trenchless technologies to minimize impact of utility construction on roadways*. Springfield, VA: National Technical Information Service, 2002. 157 p.

AGÊNCIA BRASIL. **Estudo: esgoto é o serviço público pior ofertado**. 27/11/2007. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI2104513-EI306,00.html>>. Acesso em: 21/05/2007.

AMORA, Dimmi. **Plano de saneamento do Brasil vai sofrer atraso de pelo menos 20 anos**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://m.folha.uol.com.br/mercado/2016/01/1727996-plano-de-saneamento-do-brasil-vai-sofrer-atraso-de-pelo-menos-20-anos.shtml>>. Acesso em 23/05/2016.

ANDRADE NETO, Cícero O. de. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários-Experiência Brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12266: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana**. Rio de Janeiro: 1992.

_____. **NBR 9814: Execução de rede coletora de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: 1987.

ABRATT, Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva. **Diretrizes do Métodos Não Destrutivos - Um guia dos métodos não destrutivos (MND) para instalação, recuperação, reparo e substituição de redes, dutos e cabos subterrâneos com o mínimo de escavação**. São Paulo: 2007.

AZEVEDO NETO, J.M.; BOTELHO, M.H.C.; GARCIA, M. - **A Evolução dos Sistemas de Esgotos** - Engenharia Sanitária, vol. 22, 1983.

BENNETT, D.; ARIARATNAM, S.; COMO C. (2004). *Horizontal direct drilling: Good practices guidelines*. Arlington: HDD Consortium, 2004. 144p.

BRASIL. **Portaria GM N° 3.214, de 08 de junho de 1978, Alterada/ Atualizada Portaria MTE N° 644, de 09 de maio de 2013**.

CAT. Disponível em <<http://www.cat.com>>. Acesso em 03/06/2016

CALÇA, C. (2007). **Apresentação Slurry Shield Machine Pipe jacking** Construtora Passarelli. Salvador, janeiro de 2007.

CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo. **A importância do tratamento de esgotos sanitários.** São Paulo, 1988. <<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/importancia.html>>. Acesso em: 15/05/2016.

Confederação Nacional da Indústria - CNI. **ÁGUA, INDÚSTRIA E SUSTENTABILIDADE.** Brasília: 2013.

CONSTRUFERRI SANEAMENTO E TERRAPLANAGEM LTDA. Disponível em: <<http://www.construferri.com.br/obras.php>>. Acesso em 01/06/2016.

CORSINI, Rodnei. **Execução de coletores-tronco:** Confira as características de soluções não destrutivas empregadas na execução de coletores-tronco. 2011. PINI. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/5/execucao-de-coletores-tronco-224682-1.aspx>>. Acesso em: 09/06/016.

DANTAS, Felipe V.A. et al. **Uma Análise Da Situação Do Saneamento No Brasil.** FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão, v.15, n.3; 2012.

DEZOTTI, Mateus Caetano. **Análise da utilização de métodos não-destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas.** 2008. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DRÖSEMMEYER, A. (2004). **Contribuição ao estudo da execução de túneis em “pipe jacking”.** 173 p. Dissertação (Mestrado em ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

FELLI, Luis Fernando. **O que é Saneamento?** Instituto Trata Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/o-que-e-saneamento>> acesso em: 16/05/2016.

FERRAMENTAS RAMADA. Disponível em <<http://www.ramadaferramentas.com.br>>. Acesso em 03/06/2016

FORTES, Diego Rebouças. **ESTUDO DO USO DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS EM TRAVESSIAS DE TUBULAÇÕES SOB INTERFERÊNCIA.** 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2010.

FULGENCIO, Paulo Cesar. **Glossário Vade Mecum: administração pública, ciências contábeis, direito, economia, meio ambiente: 14.000 termos e definições.** Rio de Janeiro, Editora Mauad, 2007.

GOOGLE. Google Earth. 2016. Colombo-PR. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-25.6536707,-49.319001,3a,65y,250.79h,81.93t/data=!3m6!1e1!3m4!1sIbU_0NNgbbdP_p8oQV-Ovw!2e0!7i13312!8i6656>. Acesso em 27/06/2016.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2008.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em 19/05/2016.

MALTA, Tatiana Siqueira. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras** - RJ. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 2001.

MARICATO, E. **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. Petrópolis, R.J.: Editora Vozes, 2001.

MATSUI, Marcelo Massaki; KOCHEN, Roberto. **Mini e micro túneis com shield (tatuzão) e revestimento em tubo cravado (slurry pipe jacking)**. Revista Engenharia. São Paulo, 2003. ed. 560, p.96-101, 20/06/2016.

METCALF, L; EDDY, H.P. **Tratamiento y depuración de las águas residuales. Tradução de Wastewater Engineering: collection, treatment and disposal**. Barcelona (Espanha): Labor, 1977.

MILHORANCE, Flavia. **Saneamento, uma triste exceção**. Projeto Colabora, 2016. Disponível em: <<http://projetocolabora.com.br/saneamento/saneamento-no-mundo-ainda-e-excecao/>>. Acesso em: 24/05/2016.

NAJIFE, M. **Trenchless technology: pipeline and utility design, construction, and renewal**. 1ª ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2004. 489 p.

NAKAMURA, Juliana. **Execução de Tunnel Liner**: Sistema não destrutivo composto por chapas de aço corrugado permite a construção de túneis de pequena e média dimensões sem interferir na superfície ou no tráfego. 2012. PINI. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/18/execucao-de-tunnel-liner-sistema-nao-destrutivo-composto-por-265044-1.aspx>>. Acesso em: 09/06/2016.

NARESI, Luiz Antonio Jr. **Tunnel Liner**: Execução e Problemas Típicos. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/lanjconsultoria/75-tunnel-liner---execucao-e-problemas-tipicos>>. Acesso em 09/06/2016.

NEPOMUCENO, J. A. (2008). **Fiscalização em Obra de Perfuração Direcional**. III Congresso Brasileiro de MND, São Paulo – Fevereiro, 2008.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta transporte, tratamento e reuso agrícola** - São Paulo, Editora Blucler, 2003.

PALAZZO, S. A. (2005). **(MND) Métodos Não Destrutivos Para Dutos Subterrâneos**. Revista o empreiteiro. Ed: 35 julho de 2005.

Pensamento Verde. **A importância do tratamento do esgoto doméstico**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/Meio-ambiente/importancia-tratamento-esgoto-domestico/#>>. Acesso em: 15/05/2016.

PEREIRA, J. A. R.; SOARES, J. M. **Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação**. Belém: NUMA/UFPA, 2006.

PJA, THE PIPE JACKING ASSOCIATION. Disponível em: <<http://www.pipejacking.org>>. Acesso em 20/06/2016.

PORTAL BRASIL. **Economia e Trabalho: Parceria Público-Privada (PPP)**. 2012. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2012/04/parceria-publico-privada-ppp>>. Acesso em: 29 maio 2012.

PNUD, 2014. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Objetivos de Desenvolvimento do Milênio**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/odm/>>. Acesso em: 27/05/2016.

RODRIGUES, Gustavo Paiva Weyne. **Esgotamento sanitário: Projetos e construção de sistemas de esgotamento sanitário: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Salvador: 2008. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/biblioteca/101-secretaria-nacional-de-saneamento/biblioteca/3150-manuais>>. Acesso em 31/05/2016.

SAIANI, C. C. S. **Restrições à expansão dos investimentos em saneamento básico no Brasil: déficit de acesso e desempenho dos prestadores**. 2007. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.

SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná: **Manual de Obras de Saneamento**, 4ª ed. 2012. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mos-4a-edicao/mos_4ed_v00_completo.pdf>. Acesso em 05/06/2013.

SCHERMBRUCKER, Karin. **OMS: Para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global**. 2014. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/oms-para-cada-dolar-investido-em-agua-e-saneamento-economiza-se-43-dolares-em-saude-global/>>. Acesso em: 18/05/16.

SILVA, A. F. C. *et al.* **TURB 99, 3º Simpósio Sobre Túneis Urbanos** – São Paulo, 18 e 19 de outubro de 1999. São Paulo: Editora Páginas & Letras, 1999.

SOBRINHO, Pedro Alem; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 2ª Edição - São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica sanitária da Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnostico dos serviços de água e Esgotos 2014**. Disponível em <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 18/05/16.

TIEGHI, Carlos. **Por que a universalização do saneamento básico é uma meta tão difícil de ser atingida no Brasil? - Pensar Brasil**. Instituto Trata Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/por-que-a-universalizacao-do-saneamento-basico-e-uma-meta-tao-dificil-de-ser-atingida-no-brasil-pensar-brasil>>. Acesso em: 28/05/2016.

VERMEER. Disponível em: <http://www2.vermeer.com/vermeer/EM/pt/N/equipment/directional_drills_pipeline/d100x140_s3_15>. Acesso em: 15/06/2016.