



**ENGENHARIA CIVIL**

**GEORGE WYLLYANS DE OLIVEIRA GOMES**

**AVALIAÇÃO TÉCNICA ENTRE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS E  
MÉTODOS DESTRUTIVOS APLICADOS EM TUBULAÇÕES DE  
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

**FORTALEZA**

**2020**

**GEORGE WYLLYANS DE OLIVEIRA GOMES**

**AVALIAÇÃO TÉCNICA ENTRE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS E  
MÉTODOS DESTRUTIVOS APLICADOS EM TUBULAÇÕES DE  
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Me. Anderson Ruan  
Gomes de Almeida.

**FORTALEZA**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Faculdade Ari de Sá  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

D278a de Oliveira Gomes, George Wyllyans .  
AVALIAÇÃO TÉCNICA ENTRE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS E MÉTODOS DESTRUTIVOS  
APLICADOS EM TUBULAÇÕES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO / George Wyllyans de Oliveira  
Gomes. – 2021.  
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza,  
2021.

Orientação: Prof. Me. Anderson Ruan Gomes de Almeida.

1. Reabilitação não destrutiva. 2. Sistemas de esgotamento sanitário. 3. Cutos diretos e indiretos.  
4. Medoto não destrutivo. 5. Metodo convencional. I. Título.

CDD 620

**GEORGE WYLLYANS DE OLIVEIRA GOMES**

**AVALIAÇÃO TÉCNICA ENTRE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS E MÉTODOS  
DESTRUTIVOS APLICADOS EM TUBULAÇÕES DE ESGOTAMENTO  
SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Me. Anderson Ruan  
Gomes de Almeida.

Aprovada em: 18 / 01 / 2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Anderson Ruan Gomes de Almeida  
Faculdade Ari de Sá - FAS



Prof. Dra. Julianne Ribeiro dos Santos  
Faculdade Ari de Sá - FAS



Prof. PhD. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita  
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dedico este trabalho, sobretudo àquelas  
pessoas que fazem tudo na minha vida ter  
sentido, meus pais, parentes e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela presença irrefutável em minha vida. Ao meus pais, pelos inúmeros incentivos e pela certeza partilhada de que eu conseguiria.

Existem momentos na vida em que é fundamental poder contar com o apoio e a ajuda de algumas pessoas.

A todas essas pessoas as quais pude contar para a elaboração deste trabalho de conclusão, o meu sincero agradecimento.

A Deus mais uma vez, agradeço por ter me iluminado e me dado forças e inspiração para conseguir concluir este trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Anderson Ruan Gomes de Almeida, pelo apoio, amizade e paciência.

Em especial a minha família, família Giger e família Senn, e aos amigos que fiz durante esse período, e creio que seram para a vida toda, Matheus Silva, Jéssica Barroso, Shelldon Rocha, João Medeiros, Wesclley Sousa, Davi Lima e Felipe Vasconcelos, agradeço muito pelo incentivo, carinho e dedicação em todos os momentos.

Aos demais professores da engenharia civil e aos gestores das empresas que passei até o presar momento, agradeço muito pelo apoio e ensinamentos que me foi repassado no decorrer do curso, que tal conhecimentos esses que seram guardados até meu ultimo dia.

O correr da vida embrulha tudo.  
A vida é assim: esquentada e esfria,  
aperta e daí afrouxa,  
sossega e depois desinquieta.  
O que ela quer da gente é coragem  
(Guimarães Rosa, 2010)

## RESUMO

Atualmente o setor de reabilitação afirma-se como uma alternativa viável à nova construção. A reabilitação se aplica tanto na intervenção em edificações verticais como também em infraestruturas enterradas, no caso de sistemas de drenagem de águas residuais. É necessário que o mercado nacional se redirecione para manutenção e reabilitação das infraestruturas enterradas existentes contrapondo a construção de novas redes. Existe uma gama de técnicas de avaliação e reabilitação de sistemas de esgoto e resíduos, nos quais para cada caso específico existe uma solução técnica aplicada que melhor se adequa a condição residual apresentada pela tubulação. Este trabalho pretende mostrar técnicas MND, e todo o processo anexo a estas, para então se compreender qual o papel que estas poderão vir a desempenhar no emergente mercado da reabilitação e manutenção. Neste contexto, apresenta-se o comparativo teórico entre os métodos de reabilitação não destrutivos, e os métodos destrutivos, para análise de viabilidade econômica e social.

**Palavras-chave:** Reabilitação não destrutiva, Sistemas de esgotamento sanitário, Custos diretos e indiretos, Método não destrutivo, Método convencional.

## ABSTRACT

Currently, the rehabilitation sector asserts itself as a viable alternative to new construction. The rehabilitation is not only based on the intervention in the building, but also in underground infrastructures, as well as in wastewater drainage systems. It is necessary for the national market to redirect itself to the maintenance and rehabilitation of buried infrastructure, opposing the construction of new networks. Each time there is a greater number of techniques for the rehabilitation of sewage and waste systems, solving all kinds of problems of these systems, applying in each case the techniques that best suit the solution of the problems. This work intends to show MND techniques and the whole process attached to them, so that it is possible to understand what role they may play in the emerging rehabilitation and maintenance market. In this context, the theoretical comparison is presented between non-destructive rehabilitation methods and destructive methods for analyzing economic and social viability.

**Keywords:** Non-destructive rehabilitation, Sewer systems, Direct and indirect ducts, Non-destructive medium, Conventional method.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Déficit de esgotamento sanitário por faixa de renda (em salários mínimos).....	15
Figura 2 - Modelo de rede coletoras e estação de tratamento. ....	18
Figura 3 - Rebaixamento de lençol.....	20
Figura 4 – Tubulação instalada em 1963 obstruída por oxidação. ....	23
Figura 5 – Substituição parcial do trecho de uma tubulação. ....	24
Figura 6 - Esquema para reabilitação. ....	26
Figura 7 - Escoramento de vala com blindado pré-fabricado.....	28
Figura 8 – Substituição de tubulação pelo método pipe bursting.....	30
Figura 9 - Cabeçote de aspersão fazendo aplicação de resina epóxi. ....	33
Figura 10 – Tubo reabilitado do aplicação de resina epóxi.....	33
Figura 11 – Inserção de tubulação por tração.....	35
Figura 12 - Dobragem de tubulação na fabrica .....	37
Figura 13 – Inserção do tubo Para reabaliação da tubulação existente. ....	37
Figura 14 – Visita e análise interna de tubulação feita por robô. ....	39
Figura 15 – Reabilitação de tubulação pelo CIPP com cura uv realizada por robô. ....	40
Figura 16 – Início de perfuração direcional. ....	41
Figura 17 – Maquete de execução de perfuração direcional executada .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo de custos da execução pelo método convencional, obra (Travessia da Rodovia dos Vianas – SC).....	44
Tabela 2 – Trechos analisados na obra de execução de redes coletoras, trecho Norte e Sul – RN. ....	45
Tabela 3 – Trechos analisados na obra de execução de redes coletoras, trecho Norte e Sul – RN. ....	46
Tabela 4 – Custo de execução de Rede coletora por abertura de vala – RJ .....	46
Tabela 5 – Custo sociais de interdição de 1 faixa para uso de (MND – HDD).....	46
Tabela 6 – Custo sociais de interdição de 1 faixa para uso de (MND – HDD).....	47
Tabela 7 – Inclusão de custo sociais e comparação entre os valores de execução entre os dois métodos para novas redes (em R\$/100 m).....	47
Tabela 8 – Inclusão de custo sociais e comparação entre os valores de execução entre os dois métodos para novas redes (em R\$/100 m).....	48
Tabela 9 – Comparação entre os valores de execução da obra, travessia de rede coletora na via de alto fluxo no bairro Santa Teresinha – Rio Grande / PR .....	48
Tabela 10 – Valores de serviços praticados em obras publicas pela tabela 026 da Seinfra .....	49
Tabela 11 – Valores de mão de obra praticados em obras publicas pela tabela 026 da Seinfra. ....	49
Tabela 12 – Valores da parte especifica ao MND praticados em obras publicas pela tabela 026 da Seinfra.....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRATT	Associação Brasileira de Tecnologias Não Destrutivas
BNH	Banco Nacional de Habitação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatório de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEINFRA	Secretaria de Estado de Infraestrutura e Região Metropolitana
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SFS	Sistema Financeiro de Saneamento

## LISTA DE SIGLAS

CAD	Computer Aided Design
CIPP	Cured In Place Pipe
CSM	Camilo de Sousa Mota & Filhos, S.A.
DL	Decreto Lei
HDD	Horizontal Directional Drilling
IR	Indice de Risco
ISSO	International Organization for Standardization
MD	Método Destrutivo
MND	Método Não Destrutivo
PEAD	Poli-Etileno de Alta Densidade
PGA	Plano de Gestao Ambiental
PSS	Plano de Seguranca e Saude

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	16
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
3.1 DEFINIÇÃO DE REDE COLETORA .....	17
3.2 ACESSÓRIOS DA REDE COLETORA.....	18
3.3 MATERIAIS EMPREGADOS NAS REDES COLETORAS .....	19
3.4 MÉTODOS DE IMPLANTAÇÃO .....	20
3.5 ANÁLISE DE CUSTOS .....	20
3.5.1 Custo do ciclo de vida de uma infraestrutura urbana .....	21
3.5.2 Custos Pré-Construção .....	21
3.5.3 Custos de Construção .....	21
3.5.4 Custos Pós-Construção.....	22
3.5.5 Custo sociais .....	23
3.6 A DETERIORAÇÃO DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE ESGOTAMENTO .....	24
3.7 CONCEITOS ASSOCIADOS A REABILITAÇÃO .....	25
3.7.1 Métodos associados a reabilitação.....	26
3.8 MÉTODOS DE REABILITAÇÃO DE TUBULAÇÕES .....	29
3.9 MÉTODOS DE REVESTIMENTO NÃO ESTRUTURAIIS .....	31
3.9.1 Revestimento com argamassa de cimento.....	31
3.9.2 Revestimento por aspersão ( <i>epoxy resin lining</i> ).....	32
3.10 MÉTODOS DE REVESTIMENTO NÃO ESTRUTURAIIS .....	34
3.10.1 Revestimento por inserção de novo tubo ( <i>Sliplining</i> ).....	34
3.10.2 Revestimento por inserção apertada de tubulação deformada ( <i>Close-fit Lining</i> ) .....	36
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>43</b>
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>51</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>53</b>

## 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.

Grande parte da população mundial ainda não conta com serviços básicos para uma melhor qualidade de vida, tendo moradia, alimentação e serviços inadequados. A prestação de serviços públicos em muitas áreas rurais e periferias urbanas ainda acontecem de forma precária ou é inexistente, acometendo os habitantes à condições insalubres provocadoras de doenças. De acordo com o IBGE (2020), em 2020 cerca de 39,7% dos municípios brasileiros não tinham serviço de esgotamento sanitário, sendo 34,1 milhões de domicílios sem esse serviço no país.

Em 2018, o número de municípios foi aumentado para 5.930 e a rede de abastecimento ampliada, tendo o atendimento por empresas prestadoras deste serviço alcançando uma proporção de 97,9% dos municípios do País. Através dos números expressos percebe-se um elevado desenvolvimento no setor de abastecimento e tratamento de água que acompanha o crescimento populacional de forma abrangente. Mas por outro lado segundo o IBGE na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do ano de 2018 dos 5.930 municípios existentes no Brasil, em 200, menos da metade (47,3%) tinha algum tipo de serviço de esgotamento sanitário e, 18 anos mais tarde, os avanços não foram muito significativos: dos 5.507 municípios, 52,2% eram servidos, revelando que entre os serviços de saneamento básico o de esgotamento sanitário é o setor mais atrasado.

Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) os investimentos em saneamento realizados entre os anos de 2012 e 2018 foram de 120,7 bilhões de reais, o que equivale a uma média de 8,2 bilhões por ano, enquanto 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 (ABES 2013).

Com os dados pesquisados evidencia-se que o sistema de esgotamento sanitário não acompanhou o desenvolvimento dos serviços de abastecimento, apesar

da eficiência de ambos serem totalmente dependentes da universalização dos serviços e do funcionamento integrado. Para a pesquisa o IBGE considera “município servido” aquele que apresenta algum tipo de serviço de abastecimento e tratamento de água e esgotamento sanitário, independente da cobertura, do tamanho da rede e do número de ligações. O serviço coletivo de esgotamento sanitário, por não apresentar um avanço expressivo, outras formas de disposição dos efluentes líquidos acabam sendo utilizadas, onde muitas vezes são projetadas de forma inadequada tornando fontes potenciais de contaminação. Entre essas formas de disposição, as fossas merecem destaque por ser uma técnica bastante difundida devido principalmente a sua simplicidade de construção, baixo custo de instalação e operação. As fossas são sistemas individuais como solução pela falta de infraestrutura sanitária (rede coletiva de esgoto).

As redes de drenagem de águas residuais são convencionalmente constituídas por redes de coletores, podendo drenar essencialmente águas residuais domésticas, industriais e pluviais. As águas residuais domésticas provêm de instalações sanitárias, cozinhas e zonas de lavagem de roupas e caracterizam-se por conterem quantidade apreciáveis de matéria orgânica, serem facilmente biodegradáveis e manterem relativa constância das suas características no tempo.

Também há as águas residuais industriais, que derivam da atividade industrial e caracterizam-se pela diversidade dos compostos físicos e químicos que contêm, dependentes do tipo de processamento industrial e ainda por apresentarem, em geral, uma grande variabilidade das suas características no tempo.

Para a construção das redes coletoras, o método tradicionalmente 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.

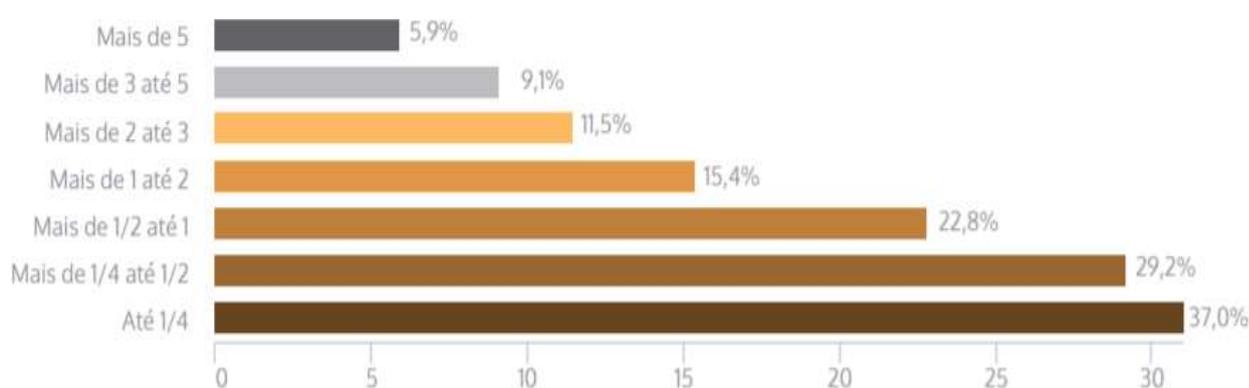
Este método é considerado como o método tradicional de instalação de tubulações subterrâneas. Os métodos com abertura de trincheiras envolvem escavações ao longo de toda extensão da rede proposta, colocação da tubulação na vala sobre um berço com materiais adequados e reaterro e compactação da vala. Para conclusão da obra, na maioria das vezes, após a instalação da tubulação é preciso restaurar a superfície do pavimento.

Apesar de ser considerado um método confiável, por ser executado há vários anos, na maioria das vezes não é o método com a melhor relação custo-benefício. Os métodos tradicionais apresentam a desvantagem de interferir em outras infraestruturas urbanas, causando congestionamentos, impactos ambientais e danos ao pavimento, instalações e estruturas adjacentes. Por esse motivo, obras com custos diretos extremamente modestos inviabilizam-se devido aos altos custos sociais associados aos problemas que geram.

Os métodos tradicionais apresentaram pouco desenvolvimento tecnológico nos últimos 50 anos, sendo as valadoras a última inovação tecnológica para abertura de valas. Os principais equipamentos utilizados para execução dos serviços são: retroescavadeiras; escavadeiras; valadoras, pás carregadeiras; compactadores; máquina de corte do pavimento e caminhões.

E neste trabalho serão 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, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica, econômica e a redução dos impactos causados ao meio urbano pelo MND em comparação com a utilização de MD na construção de redes coletoras de esgotamento sanitário (SILVA, 2019).

Figura 1 - Déficit de esgotamento sanitário por faixa de renda (em salários mínimos).



Fonte: PLANSAB (2018).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é demonstrar a viabilidade técnica, econômica e a redução dos impactos causados ao meio urbano pelo MND em comparação com a utilização de MD na construção de redes coletoras de esgotamento sanitário.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- a) Apresentar as características e a metodologia executiva do MD na construção de redes coletoras de esgoto sanitários;
- b) Apresentar as características e a aplicação de MND utilizados na construção de redes coletoras de esgoto sanitário;
- c) Elaborar um estudo de comparação bibliográfica em uma obra de travessia de via com uso de MND;
- d) Verificar a viabilidade do uso de MND na manutenção de rede coletora de esgoto sanitário.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

A análise desse trabalho envolve as diferentes etapas de conhecimento que são necessárias para a definição da reabilitação das redes coletoras. Assim, dividiu-se, no conceito, histórico dos materiais e dos elementos que hoje constituem as redes coletoras.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DE REDE COLETORA

Segundo Nuvolari (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.

Em 1872 na França, Jean Luís 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* NUVOLARI, 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 fazem a coleta.

O sistema convencional é a solução de esgotamento sanitário mais usado para o atendimento de um município, onde sua ligação é feita individualmente em cada lote, sendo suas partes integrantes (BRASIL, 2004).

### 3.2 ACESSÓRIOS DA REDE COLETORA

**Rede coletora:** conjunto constituído por ligações prediais, coletores de esgotos e acessórios, destinados a receber e conduzir os esgotos das edificações;

**Interceptores:** canalizações que recebem os coletores de esgoto ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas; são responsáveis pelo transporte dos esgotos gerados na sub-bacia, evitando que os mesmos sejam lançados nos corpos d'água;

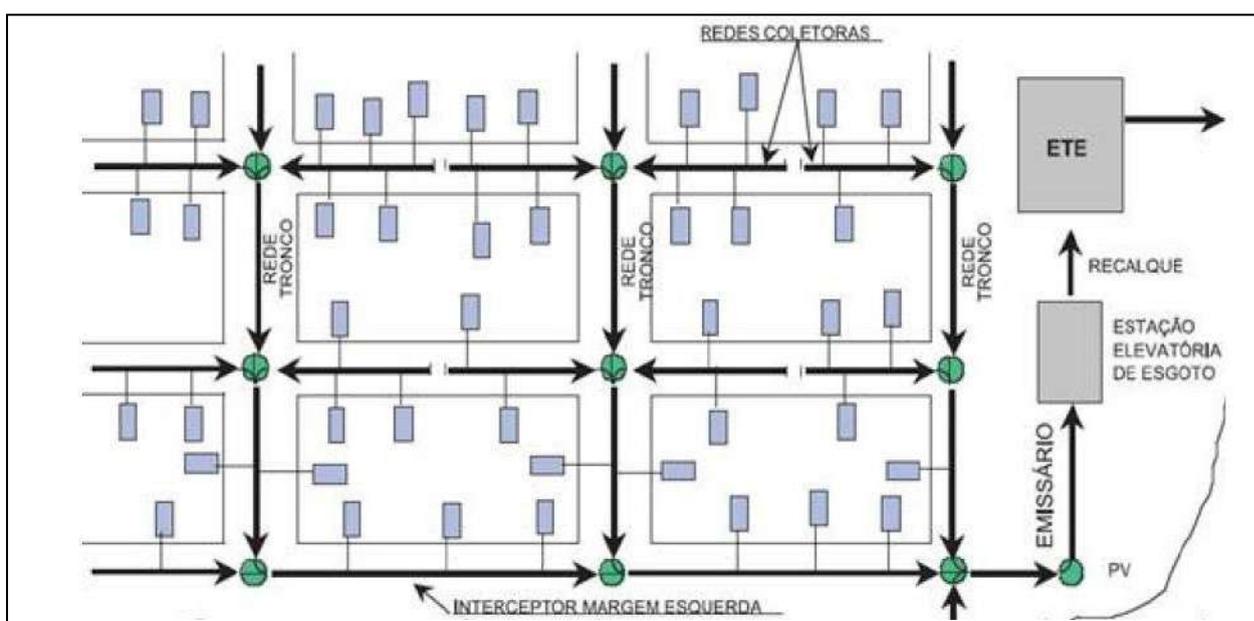
**Emissário:** canalização destinada a conduzir os esgotos a um destino conveniente sem receber contribuições ao longo do seu percurso;

**Sifão invertido e passagem forçada:** trechos com escoamento sob pressão, cuja finalidade é transpor obstáculos, depressões do terreno ou cursos de água, rebaixados (sifão) ou sem rebaixamento (passagem forçada);

**Estação de tratamento de esgotos (ETE):** conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes do seu lançamento nos cursos d'água (SILVA, 2019).

Na figura 2 é possível visualizar as partes construtivas de um sistema convencional de esgotamento sanitário.

Figura 2 - Modelo de rede coletoras e estação de tratamento.



Fonte: Brasil (2014).

### 3.3 MATERIAIS EMPREGADOS NAS REDES COLETORAS

As redes de esgoto são constituídas por tubos e peças, tais como, curvas, tês, reduções, registros, válvulas, hidrantes, entre outros, que precisam ter resistência suficiente para suportar não somente as pressões internas. Mas também os esforços externos atuantes sobre a tubulação normalmente são o peso de terra sobre o tubo e o carregamento devido ao trânsito de veículos na superfície (CHAMA NETO - 2005).

Ainda, o autor relata que os critérios para seleção dos materiais empregados nas redes coletoras, são a durabilidade do material da superfície interna e o material da superfície externa. A durabilidade está vinculada à capacidade do material em resistir por longo tempo, ou seja, durante sua vida útil, sem sofrer deterioração, pois as substituições de redes frequentemente significam altos custos para as empresas (CHAMA NETO, 2005).

É necessário fazer o uso de material de boa qualidade para as redes coletoras, em função da superfície externa, esta precisa ser resistente à corrosão e, caso necessário, um sistema de proteção catódica deve ser implementado (CHAMA NETO, 2005). Os principais tipos de tubos e peças utilizados nesses sistemas são: tubos de ferro fundido cinzento e dúctil, tubos de PVC (policloreto de vinila), tubos de polietileno (PE) e tubos de fibrocimento. Além desses materiais, podem ser citadas as tubulações de aço com junta elástica, plástico reforçado com fibra de vidro e poliéster reforçado com fibra de vidro (CHAMA NETO, 2005).

Ainda, segundo Chama Neto (2005), atualmente os materiais mais aplicados no Brasil são o ferro fundido dúctil e o PVC, sendo que, os tubos de PE ainda são aplicados em baixa quantidade. Quanto aos tubos de fibrocimento e ferro fundido cinzento, existem grandes extensões de redes instaladas no passado, sendo que os tubos de ferro fundido cinzento foram substituídos pelos tubos de ferro fundido dúctil e os tubos de fibrocimento não são mais utilizados.

Em 1995 a IWSA – International Water Supply Association, publicou relatório que reporta a experiência em planejamento e projetos de ampliação e reabilitação de sistemas de coletas de esgoto de 21 países da Europa, África, Ásia, Oceania e América do Norte, concluindo que mais da metade dos trechos utilizam as tubulações de ferro fundido. Entretanto, em países como República Tcheca, Reino Unido, Alemanha, França, Suíça e Lituânia a utilização desse material é superior a 80%.

A grande porcentagem de tubos de ferro fundido dúctil instalado nesses países decorre do fato de terem sido os primeiros e, durante décadas, os únicos disponíveis no mercado (CHAMA NETO, 2005). Os tubos de PVC passaram a ter aceitação mais generalizada na Europa após a segunda guerra mundial, no final da década de 40, e os tubos de polietileno, surgidos nos anos 50, encontraram o mercado tomado pelos anteriores, consolidando-se nesse continente apenas a partir da década de 60. Atualmente a utilização de tubos plásticos, PE ou PVC, em redes coletoras de vários diâmetros, tem tido um importante crescimento.

### 3.4 MÉTODOS DE IMPLANTAÇÃO

O método de escavação tanto aborda a implantação de novas tubulações como também a revitalização e substituições em casos extremos, este método abrange um número grande de empresas localizadas nos grandes centros, onde se requer métodos mais elaborados visando a diminuição de retrabalhos, consecutivamente um menor custo global. (CARVALHO, 2013).

Figura 3 - Rebaixamento de lençol.



Fonte: Subterra (2003).

### 3.5 ANÁLISE DE CUSTOS

A construção de uma infraestrutura urbana subterrânea é geralmente considerada como um negócio de risco, devido aos diversos fatores imprevistos envolvidos na realização do projeto. A análise econômica de uma obra de instalação de tubulação requer um entendimento claro de todos os fatores de custo associados

com as condições específicas do projeto, de maneira que, o custo total determinado seja o mais realista possível (ANDRADE NETO, 1997).

### 3.5.1 Custo do ciclo de vida de uma infraestrutura urbana

Os custos do ciclo de vida de uma obra, desde seu projeto até sua demolição, depois de terminada sua vida útil, inclui as seguintes categorias de custo: custos pré-construção, custos de construção, custos pós construção.

Os projetistas devem considerar todos os elementos de custo em um orçamento de projeto, para que seja possível determinar qual o método construtivo com melhor custo-benefício. Tradicionalmente, nas obras de construção, manutenção e substituição de tubulações enterradas não têm sido considerados os custos sociais. Tais custos desconsiderados no orçamento incidem diretamente sobre a municipalidade, sociedade e cidadão.

### 3.5.2 Custos Pré-Construção

Decisões feitas durante a fase de pré-construção podem ter um impacto significativo no custo total do ciclo de vida da obra em questão. Como exemplo, uma técnica não-destrutiva pode possibilitar a seleção de rotas alternativas, encurtando a extensão total da tubulação, e assim, reduzindo o número de poços de visita, e ou eliminando estações de bombeamento, o que pode reduzir significativamente os custos do ciclo de vida do projeto (SILVA, 2019).

### 3.5.3 Custos de Construção

Os custos de construção incluem custos diretos, custos indiretos e custos sociais. Os custos diretos incluem os custos de mão-de-obra, materiais, subcontratação e equipamentos, necessários para execução da obra. O escoramento ou inclinação das paredes das valas escavadas, parapeitos de segurança, rebaixamento do nível d'água, tipo de tubo, custos de mão-de-obra, remoção de rejeito, aterro e compactação, e outros, são custos diretos de construção e podem ser incluídos com as quantidades necessárias.

Estudos recentes demonstraram que devido aos custos com manuseio dobrado do solo e restauração da superfície, atividades requeridas para obras utilizando

métodos convencionais de abertura de trincheira, tais custos podem somar até 70% dos custos totais da obra (NAJAFI, 2004). Estes custos de restauração são geralmente mínimos para instalações utilizando tecnologias não destrutivas.

Os custos indiretos ou gerais de construção basicamente incluem todos os custos que não são diretamente relacionados ou aplicados nas operações de construção atuais. Estes Os custos são geralmente fixados e distribuídos sobre todo o projeto. Exemplos de custos indiretos incluem administração e custos gerais de serviço, como taxas, utilidades temporárias, supervisão de campo, controle de tráfego e seguros. Os custos indiretos são geralmente calculados após os custos diretos serem estimados e são, muitas vezes, somados como uma porcentagem dos custos diretos.

A determinação dos custos indiretos requer considerável conhecimento em construção e acrescentam imensas variações na estimativa dos custos de construção, podendo chegar a aproximadamente 20% dos custos diretos de uma obra (NAJAFI, 2004). Todavia, os custos indiretos são diretamente proporcionais à duração, sendo que, quanto maior a duração, maior serão os custos indiretos. Como os métodos de construção não-destrutivos geralmente apresentam maior produtividade e desperdício reduzido, a duração destes projetos é normalmente menor que em obras utilizando métodos tradicionais. Portanto, métodos não destrutivos, apresentam custos indiretos menores dos que os métodos convencionais com abertura de trincheira.

Os custos sociais englobam os desconfortos gerais ao público e danos ao meio e estruturas existentes. A busca de soluções que representem menos margens de risco técnico e econômico, juntamente com a necessidade de preservar o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida, tornou essencial a determinação e consideração dos custos sociais na instalação de utilidades enterradas. Tais custos podem ser o elemento principal no cálculo do custo total do ciclo de vida de uma utilidade enterrada, o qual grosso modo é função, principalmente, do método construtivo adotado (NAJAFI, 2004). A utilização de métodos não-destrutivos poder eduzir significativamente os custos sociais.

#### 3.5.4 Custos Pós-Construção

Os custos pós-construção de um projeto incluem principalmente: operação, manutenção, depreciação e perda de rendimento, devido a reparos emergenciais. Os

custos de operação e manutenção são geralmente menores para construções utilizando métodos não-destrutivos, devido à rapidez e melhor qualidade dos tubos utilizados. A utilização de técnicas não destrutivas reduz os custos de manutenção e reparos, devido à redução dos cortes e escavações necessárias. A perda de rendimento é também menor com métodos não destrutivos, devido a estes métodos proverem meios rápidos para efetuar reparos e manutenções na tubulação (SILVA, 2019).

Figura 4 – Tubulação instalada em 1963 obstruída por oxidação.



Fonte: SABESP (2009).

### 3.5.5 Custo sociais

Campos (1996) define custo social como sendo o sacrifício, de perda de bem-estar, que a sociedade tem que fazer devido aos efeitos maléficos causados pelas externalidades não absorvidas de algum processo de produção. De acordo com Najafi (2004) e Rahman, Vanier e Newton (2005), os custos sociais, devido a construção, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas, abrangem, principalmente, as seguintes categorias:

- interrupção ao tráfego veicular;
- danos à rodovia e pavimento;
- danos às utilidades adjacentes;
- danos às estruturas adjacentes;
- barulho e vibração;
- segurança dos pedestres;
- perdas para negócios e comércios;

- danos às estradas utilizadas como desvio;
- segurança local e pública;
- insatisfação dos cidadãos;
- impactos ambientais.

Apesar dos custos sociais causarem inúmeros entraves ao desenvolvimento, não há uma metodologia claramente definida nem amplamente aceita para valorá-los. Os engenheiros e as autoridades envolvidas com o tema quase sempre se deparam com dificuldades quando solicitados a expressar monetariamente os custos sociais, assim como os benefícios alcançados com a redução dos mesmos nas análises de viabilidade econômico-financeira dos projetos.

E após essa primeira etapa trabalharemos o problema do envelhecimento das tubulações e as suas consequências. Na sequência são abordadas as questões consideradas no planejamento de reabilitação da infraestrutura. Então, apresentam-se as técnicas e as tecnologias existentes para a reabilitação do sistema coletor de esgotamento (SILVA, 2019).

Figura 5 – Substituição parcial do trecho de uma tubulação.



Fonte: PLANSAB (2016).

### 3.6 A DETERIORAÇÃO DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE ESGOTAMENTO

Segundo Alegre et al. (2006), infraestruturas sanitárias fornecem um serviço essencial e atemporal para as comunidades. Contudo, estas infraestruturas são compostas de bens com vidas úteis finitas, variáveis de ativo para ativo, com nível de desempenho decrescente com o tempo. Inversamente, cada componente é parte de um sistema integrado, e seu comportamento poderá afetar o nível global do serviço.

O envelhecimento das tubulações leva a um aumento na frequência de rupturas e vazamentos, e um decréscimo na eficiência do sistema (Alvisi et al. – 2006). Segundo Hadzilacos et al. (2000), quando as tubulações tendem para o fim de sua vida útil, a falha aumenta a taxas exponenciais. De acordo com Kleiner et al. (2001), a rede é tipicamente o componente mais caro de um sistema, está continuamente sujeita a condições ambientais e operacionais que levam à sua deterioração. Maiores custos de operação e manutenção como redução do serviço são resultados típicos da deterioração.

Segundo Alvisi et al. (2009), com o envelhecimento das tubulações que compõem um sistema, as suas características mecânicas sofrem deterioração e diminuição de sua resistência estrutural, resultando em um aumento no número de quebras. A deterioração das tubulações pode ser classificada em estrutural, quando diminui a sua resistência estrutural e a capacidade de suportar vários tipos de tensões, e deterioração interna, quando resulta na diminuição da capacidade hidráulica, na degradação da qualidade da água, em casos de grave corrosão interna (KLEINER et al., 2001).

### 3.7 CONCEITOS ASSOCIADOS A REABILITAÇÃO

A reabilitação é definida, segundo a norma europeia EN 752-5 (1995), como o conjunto de todas as medidas de intervenção física num sistema de esgoto existente, conducentes a uma melhoria do seu desempenho. Um sistema de rede requer reabilitação quando, em parte, ou no todo, o seu estado não lhe permite cumprir os principais objetivos ao qual este se destina. Quando se considera um sistema este deve prestar um serviço aos seus aspetos chave deste serviço são a elevada eficiência e a eficácia.

A eficiência manifestar-se na afetação tanto quanto possível otimizada de recursos humanos, técnicos, financeiros e ambientais. Enquanto a eficácia traduz-se no cumprimento de níveis de desempenho e qualidade aceitáveis. Na avaliação do desempenho para efeitos de reabilitação os aspetos mais relevantes a considerar são, para além da evidente avaliação das características do adequado comportamento hidráulico, a Soluções de Reabilitação de Sistemas de Coleta de Aguas Residuais preservação da proteção da saúde pública, a prevenção de inundações, a integridade estrutural, as condições de segurança pessoal e a qualidade ambiental dos meios receptores.

No processo de reabilitação, a primeira etapa é caracterizada pela recolha de informação para a percepção das deficiências existentes ou de ocorrência previsível, a curto ou médio prazo. É necessário ainda incluir informações e elementos históricos realizados através de consultas pessoais e/ou registo de arquivo, sobretudo, fotográficos, para obter uma pré-identificação e, se possível, uma pré-avaliação das áreas-problema ou áreas críticas.

A informação recolhida é então avaliada, arquivada numa base de dados ou sistema de informação e gerida cautelosamente. Assim, com a informação disponível pelo diagnóstico é possível identificar eventuais soluções alternativas. Estas soluções alternativas equacionadas deverão ser analisadas e comparadas sob os pontos de vista económico, financeiro, ambiental, técnico (diferentes processos construtivos e resultados) e social (impactos em termos de incómodos e eventuais riscos). Depois de ponderar qual a melhor decisão é preciso planear e realizar as ações correspondentes, garantindo o cumprimento dos objetivos dentro do orçamento e prazos previstos no caderno de encargos (DEZOTTI, 2008).

### 3.7.1 Métodos associados a reabilitação

Figura 6 - Esquema para reabilitação.



Fonte: ABRATT (2016).

**Método Destrutivo (MD):** Este método é muito utilizado em escavação para passagens das redes subterrâneas, trata-se do assentamento de tubulações com escavação de trincheiras a céu aberto sendo mecânica ou manual ao longo de todo o

trecho descrito em projeto, colocação do tubo proposto com um lastro de materiais adequados, reaterro e compactação da trincheira, este é um método que gera um maior prazo de execução e mais serviços se comparado com o método não destrutivo (MND). Deve-se seguir algumas recomendações antes do início da escavação para que não gere maiores danos futuros (NIJENHUIS, 2016).

- Mapeamento do local usando um localizador de cabos em busca de cabos dispostos no subsolo.
- Ter a real certeza aonde estão alocadas as redes de distribuição de água, coleta de esgoto e redes de drenagem pluvial.

A NBR 12266/1992 estabelece normativas de execução e diretrizes de projeto, na execução de trincheiras para tubulações de água, esgoto ou drenagem urbana, dentre elas (ABNT, 1992).

- Sinalização do trecho em obra;
- Retirada do pavimento caso haja;
- Abertura de valas ou trincheiras para colocação da tubulação;
- Esgotamento do lençol freático caso o mesmo impeça o assentamento dos tubos;
- Escoramento da vala ou trincheira quando necessário;
- Assentamento da tubulação prevista em projeto;
- Preenchimento da vala e compactação da mesma;
- Revitalização do pavimento quando necessário.

Apesar de ser um método conservador onde já perdura por vários anos no mercado, este método apresenta uma desvantagem, afeta a infraestrutura gerando assim impactos ambientais não previstos em fase de planejamento podem ser causados. Segundo Dezotti (2008), os métodos de escavação apresentam pouca evolução tecnológica nos últimos 50 anos, os principais equipamentos para realização dos serviços são:

- Retroescavadeiras;
- Escavadeira;
- Valadoras;
- Pás Carregadeiras;
- Compactadores;
- Maquinas de Corte do Pavimento e
- Caminhões.

Figura 7 - Escoramento de vala com blindado pré-fabricado.



Fonte: Simões (2020).

**Método Não Destrutivo (MND):** Tem por definição referente à reparação, instalação e reforma de dutos, tubos e cabos subterrâneos utilizando-se de técnicas que diminuem ou eliminem a necessidade de escavações. Os métodos de recuperação não-destrutivos incluem todos os métodos de reparo, reabilitação e ou substituição de um sistema de tubulação existente. Os métodos de reabilitação mais utilizados são:

- Tubulação Curada in Loco – “Cured-in-place pipe (CIPP)”
- Recuperação de Redes por Revestimento – “Underground coatings and linings”
- Inserção – “Sliplining”
- Inserção Modificada – “Modified sliplining”

- Inserção de tubo por arrebentamento – “Pipe bursting”
- Inserção de tubulação deformada – “Close-fit pipe”
- Reparo localizado – “Localized repair”
- Tubulação termo-formada – “Thermoformed pipe”

### 3.8 MÉTODOS DE REABILITAÇÃO DE TUBULAÇÕES

Atualmente, existe uma série de técnicas para a reabilitação da infraestrutura das redes de distribuição de água, cada qual possuindo características principais, vantagens e limitações.

Na sequência, os métodos são identificados e apontadas suas aplicações, de acordo com Evins *et al.* (1989) e Selvakumar *et al.* (2002).

**Métodos de limpeza não-agressivos** – descarga (*flushing*), espuma de limpeza (*foam swabbing*) e limpeza com ar (*air scouring*). Estes são destinados principalmente a problemas de redução de vazão. Todos se destinam a remover os depósitos soltos que são a causa de problemas de coloração, podendo também ser usado no controle de sólidos. Além disso, a limpeza pode ser utilizada para melhorar os fluxos de limos onde estão causando atrito e perdas de carga. Algumas deteriorações são reduzidas após o uso desses métodos.

**Métodos de limpeza agressivos** - jatos de água de alta pressão (*high pressure water jetting*), raspagem de pressão (*pressure scraping*), *pigging* abrasivo (*abrasive pigging*). Estes se destinam a remover incrustações duras dentro das tubulações, e assim melhorar a sua capacidade hidráulica de transporte.

**Métodos de revestimento não-estruturais** – revestimento de argamassa de cimento (*cement mortar lining*), revestimento de resina epóxi (*epoxy resin lining*). Estes métodos envolvem a remoção de todos os depósitos e incrustações dentro da tubulação, seguido pela aplicação de um revestimento para prevenir nova corrosão interna.

**Métodos de revestimentos Estruturais** - revestimento por inserção de novo tubo – (*sliplining methods*), revestimento por inserção apertada de tubulação deformada

(*Close-Fit lining*) e revestimento por inserção com cura *in loco* (*CIPP – cured in place pipe*).

Estes métodos envolvem a inserção de revestimentos estruturais em contato com a superfície interna de um tubo, para controle de vazamentos em tubulações previamente limpas. Dependendo do tipo de revestimento utilizado pode-se fornecer uma tubulação independente, flexível dentro da tubulação a ser reabilitada, ou podem simplesmente evitar perdas. Todos os sistemas irão impedir a coloração causada pela corrosão de tubulações de ferro, mas muitos irão diminuir a capacidade de transporte por causa da espessura do revestimento estrutural, em comparação com o diâmetro original do tubo. A capacidade de carga transporte será obviamente melhorada quando comparada com tubulação incrustada (NIJENHUIS, 2016).

**Substituição por arrebentamento *in loco* pelo mesmo caminhamento (*pipe bursting*).**

Este método envolve a ruptura ou quebra da tubulação existente, empurrando os fragmentos para o solo circundante, puxando uma nova tubulação de distribuição no mesmo caminhamento da tubulação existente. Como um novo tubo foi instalado o método pode ser usado para melhoria da velocidade de transporte, e para substituir estruturalmente a tubulação. Além disso, com este método podem ser instalados tubos maiores do que a tubulação existentes, o que aumenta a capacidade de coleta do sistema.

Figura 8 – Substituição de tubulação pelo método pipe bursting.



Fonte: Orellana (2011).

**Nova tubulação** (*new pipe*). Novos tubos podem ser usados para superar os problemas capacidade de coleta e estrutural. Isso envolve a instalação de uma nova tubulação em uma nova posição, usando métodos de instalação adequados. Os materiais utilizados principalmente são; cloreto polivinílico (PVC), ferro fundido dúctil (fºfº) e polietileno de alta densidade (PEAD). Diversas técnicas de novas instalações, incluindo abertura de valas estreitas e perfuração direcional horizontal (HDD), têm sido desenvolvidas para explorar as características do tubo de polietileno; seu objetivo é reduzir custos e interrupções.

### 3.9 MÉTODOS DE REVESTIMENTO NÃO ESTRUTURAIIS

#### 3.9.1 Revestimento com argamassa de cimento

O revestimento com argamassa de cimento ou *Cement Mortar Lining* (Evins *et al.* – 1989 e Selvakumar *et al.* 2002) consiste no revestimento do interior da tubulação com uma argamassa de cimento. A camada de argamassa de cimento em contato com material da tubulação forma um conjunto de elevada resistência e durabilidade.

Aplica-se a tubulações metálicas (de aço ou de ferro fundido). A ação protetora baseia-se, essencialmente, em dois agentes: passivo e ativo. O passivo é efetuado através do isolamento mecânico da parede metálica da tubulação. O ativo realiza-se através da conversão química da camada de cimento com o óxido de ferro na zona da fronteira entre a argamassa de cimento e a parede de ferro da tubulação, devido à interação da água que se difunde para o interior da argamassa.

A argamassa utilizada é composta, em partes iguais, por cimento *Portland* e por areia de quartzo. Pode ser uma solução viável para tubulações com diâmetros entre 80 e 2000 mm. No caso de tubulações de menor diâmetro, são abertos poços de acesso com cerca de 2,00 x 1,50 m, em intervalos 150 m, retirando-se um trecho de tubulação com cerca de 1,00 m. Para tubulações com diâmetros superiores a 600 mm, o intervalo entre poços será da ordem dos 400m.

Um dos procedimentos mais importantes na reabilitação de tubulações é o polimento, que neste método é acompanhado do revestimento com a argamassa de cimento. Após o seccionamento da tubulação, procede-se a raspagem das incrustações e outros resíduos de corrosão com raspadores de aço e limpeza simultânea com escovas de borracha.

Seguidamente, coloca-se a argamassa através do dispositivo de aplicação. Após 10 à 16h, completa-se a pega da argamassa, e a tubulação é limpa com água sob pressão. Cerca de 24h depois, a tubulação pode ser utilizada novamente.

A técnica de revestimento com argamassa tem várias vantagens:

- os impactos na superfície são reduzidos.
- os impactos no tráfego também são mínimos (exceto na abertura de poços de acesso a rede).
- o seu período de intervenção é reduzido.
- os seus custos também são reduzidos comparativamente com outros tipos de soluções.

#### Desvantagens

Os seus principais inconvenientes comparativamente com outras técnicas são os seguintes:

- é uma técnica dispendiosa e morosa em trechos longos de tubulações.
- após o alisamento da parede interior da tubulação, pode haver necessidade de alteração da técnica, uma vez que esta técnica não confere uma maior durabilidade estrutural a tubulação.
- é considerada uma solução provisória dadas as características do material de revestimento utilizado (cimento).
- não permite um aumento significativo de capacidade escoamento do sistema.
- ramais prediais e bifurcações com diâmetros inferiores a 50 mm devem ser desimpedidos após a aplicação do revestimento.

#### 3.9.2 Revestimento por aspersão (*epoxy resin lining*)

Segundo Evins *et al.* (1989) e Selvakumar *et al.* (2002), o revestimento com resinas, *epoxy resin* ou *Spray Lining* consiste em revestir interiormente a tubulação deteriorada com resinas líquidas aplicadas através de um spray que, posteriormente, solidifica.

O processo do revestimento de resina epóxi é uma técnica de revestimento não estrutural, cujo principal objetivo é melhorar as características das redes e ao mesmo

tempo prevenir a acumulação de tubérculos nas paredes das tubulações, portanto não corrigindo nenhuma deterioração da tubulação (ORELLANA, 2011).

Figura 9 - Cabeçote de aspersão fazendo aplicação de resina epóxi.



Fonte: ABRATT (2003)

Entretanto, uma vez aplicado esse revestimento, não haverá contato entre a água residual e a tubulação antiga, sendo que dessa maneira reduzirá futura deterioração no interior das tubulações.

Figura 10 – Tubo reabilitado do aplicação de resina epóxi.



Fonte: Ramos (2010).

#### Vantagens

- é mais rápida do que o revestimento com argamassa de cimento.

- as resinas têm uma maior durabilidade e a superfície adquirida com este método é substancialmente mais lisa.
- Consegue-se ainda um maior controle da espessura da camada de resina do que pelo método revestimento com argamassa
- não obstrui os ramais prediais.
- Ideal para resolver problemas de corrosão interna

#### Desvantagens

- Não é aconselhável para trechos longos (maiores que 500m)
- Não resolve problemas de vazamentos
- Não permite o aumento da capacidade hidráulica

### 3.10 MÉTODOS DE REVESTIMENTO NÃO ESTRUTURAIIS

#### 3.10.1 Revestimento por inserção de novo tubo (*Sliplining*)

O processo de inserção de novo tubo ou re-entubamento simples, também designado por *sliplining* (Evins *et al.* – 1989 e Selvakumar *et al.* - 2002), consiste na colocação de um tubo com menor diâmetro no interior da tubulação existente. É utilizado sempre que se pode diminuir o diâmetro da tubulação inicial. É um processo onde domina a utilização de materiais como o PVC e o PEAD.

A disponibilidade de tubos de polímeros, particularmente de tubos de polietileno unidos por fusão aumentou a popularidade dessa técnica. Tubos poliméricos de seção curta podem ser inseridos nas redes através de solda por fusão ou com uniões mecânicas sem luva. São também usados extensivamente com técnicas de substituição in loco, tais como ruptura de tubulações.

Embora na teoria, qualquer material possa ser usado para a rede nova, na prática, o polietileno de alta densidade (PEAD) é a escolha mais comum.

Trata-se não apenas de um material já bem conhecido nos setores de água potável e gás, como também resistente à abrasão e suficientemente flexível para passar por curvas apertadas durante a instalação. Pode ser emendado de topo por solda de fusão em comprimentos bastante longos, antes de ser puxado para dentro da rede existente.

Depois de efetuadas a limpeza e a raspagem do interior da tubulação procede-se a inserção do novo tubo. Este processo inicia-se com a ligação de um cabo ao tubo que se pretende introduzir na tubulação existente. Este cabo será, posteriormente tensionado por um macaco hidráulico, arrastando o tubo dentro da tubulação antiga, até que o trecho que se pretende reabilitar esteja totalmente abrangido pelo novo tubo. Após a introdução do novo tubo, poderá ser necessária injeção no espaço anular para que a estrutura da rede existente ofereça alguma resistência e aumente a rigidez desse espaço (DRÖSEMEYER, 2014).

Na prática, essa injeção costuma ser a parte mais difícil da obra. A perda de área na seção transversal também pode ser significativa, particularmente se o diâmetro da rede introduzida estiver sendo governado pelos diâmetros dos tubos extrudados disponíveis no mercado, ou quando o diâmetro tiver de sofrer uma redução considerável para passar em deformações ou emendas deslocadas da rede existente. Como resultado dessas limitações, a substituição pura e simples tornou-se menos comum que o uso de tubos de diâmetro ligeiramente inferior, mas poderá ser a melhor escolha em alguns casos.

Figura 11 – Inserção de tubulação por tração.



Fonte: Subterra (2003).

### Vantagens

- simplicidade de aplicação
- possibilidade de progressão em trechos longos
- pouca interferência de obras (ou outras atividades) circundantes

- facilidade de superação de curvas
- grande gama de abrangência de diâmetros (de 20 a 1600mm)
- rápida instalação
- a tubulação antiga serve de proteção ao novo tubo
- resolve os problemas de pequenos vazamentos existentes

#### Desvantagens

- Perda de capacidade hidráulica
- Aplicação limitada onde a redução do diâmetro não implicará em problemas de abastecimento
- seu uso não é aconselhado sempre que se verifiquem grandes sobrecargas diamétrais na tubulação
- sua aplicação não é recomendada em sistemas submetidos a grandes pressões

#### 3.10.2 Revestimento por inserção apertada de tubulação deformada (*Close-fit Lining*).

O uso de revestimentos por inserção de tubulação deliberadamente deformada antes da inserção (Evins *et. al* – 1989 e Selvakumar *et al.* - 2002), com posterior recomposição de sua forma original após a colocação, de modo a ficarem bastante justos dentro da tubulação existente corresponde a inserção apertada de tubulação deformada (“close-fit lining” ou “modified sliplining”).

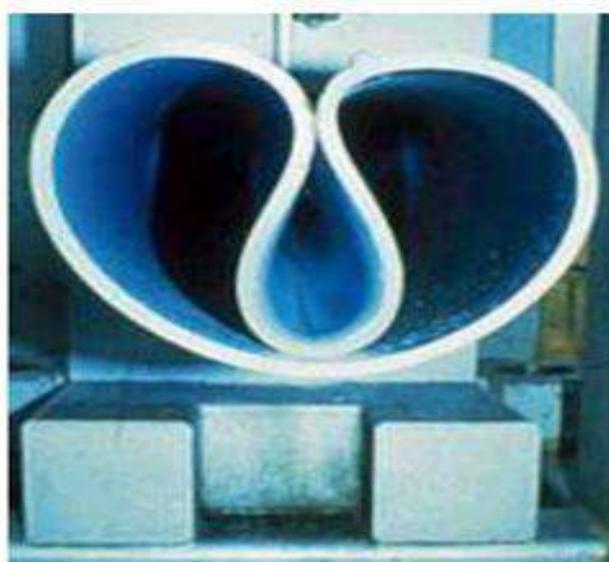
A inserção apertada utiliza, frequentemente, a memória construtiva de alguns polímeros usados na construção de tubos: são usadas duas alternativas principais, cujo objetivo é produzir um revestimento ajustado que maximize o diâmetro final e evitar a necessidade de injeção no espaço anular.

Uma das alternativas procura reduzir temporariamente o diâmetro do tubo de revestimento através da compressão por rolo, algumas vezes referida como “reduzida”, de modo que possa ser introduzido na rede existente e pressurizado posteriormente para recuperar suas dimensões normais. Devido às limitações da redução dimensional que pode ser conseguida, essa técnica é mais adequada para redes extensões (DRÖSEMEYER, 2014).

A segunda alternativa envolve a dobração do tubo de revestimento numa forma de “U” ou “C” antes da inserção e o uso posterior de calor ou pressão para restaurar a forma circular. Essa técnica é frequentemente descrita como “dobra e reconformação”. O diâmetro e a espessura da parede do tubo de revestimento são as principais limitações desse processo, mas existem variantes para polietileno e PVC.

Esta técnica foi concebida para solucionar problemas de tubulações com deficiências estruturais e/ou não estruturais, mas especificamente para tubos com diâmetros entre 100 e 500 mm. Além desses dois tipos principais, existem técnicas que envolvem dobração em outras configurações e uso de materiais termoplásticos capazes de se expandir até um ajuste apertado, sem deformação posterior.

Figura 12 - Dobração de tubulação na fabrica



Fonte: Subterra (2003)

Figura 13 – Inserção do tubo Para reabilitação da tubulação existente.



Fonte: Subterra (2003).

Vantagens:

- rápida execução
- aplicar-se a extensões de tubulações superiores a 1500m por cada inserção
- versatilidade de procedimentos de inserção que toleram a realização de outros trabalhos entre diferentes trechos

Desvantagens:

- apresenta um elevado custo
- não é recomendado para tubulações que não necessitem de recuperação estrutural

### 3.10.3 Revestimento por inserção com cura in loco (*CIPP – Cured in Place Pipe*)

A principal alternativa para a inserção com tubos e suas variações é o revestimento por inserção com cura in loco, às vezes chamado de “revestimento in situ”, “revestimento macio” ou “tubo curado in loco (CIPP)”, (Evins *et al.* – 1989 e Selvakumar *et al.* - 2002), que dominou por mais de 20 anos o mercado de recuperação de tubulações de esgoto sem possibilidade de acesso de pessoal em muitos países. Para maior facilidade, este documento se referirá a todas as técnicas de revestimento por inserção com cura in loco como “sistemas CIPP”, embora se deva observar que nem todos os fornecedores utilizam esse termo (ORELLANA, 2011).

Embora existam no mercado diversos sistemas concorrentes, a característica comum a todos é a utilização de um tubo de tecido impregnado com resina epóxi ou de poliéster. O tubo é introduzido na rede existente, inflado contra a parede dessa rede e curado na temperatura ambiente ou, mais comumente, exceto nos tubos de menor diâmetro, com recirculação de vapor ou água quente. Algumas variantes utilizam luz ultravioleta para cura da resina.

Os sistemas CIPP criam um ajuste apertado de “um tubo dentro de outro”, que possui resistência estrutural calculável e pode ser projetado para atender a várias condições de carga. A rigidez anular do revestimento é aumentada devido à resistência oposta pela rede existente e solo adjacente, mas os sistemas projetados para redes por gravidade não se baseiam numa relação entre a tubulação final de revestimento e o tubo existente. Sistemas que utilizam a tubulação existente como

meio para assegurar algum suporte estrutural são conhecidas algumas vezes como técnicas de “revestimento iterativo”.

Além de minimizar a redução de diâmetro, uma vantagem inerente aos revestimentos por inserção com cura in loco (CIPP) é sua capacidade de se conformar a praticamente qualquer forma da tubulação, o que torna seu uso possível para recuperação de redes não circulares. Desde que o perímetro seja medido corretamente e que não ocorra uma contração significativa durante a cura, o resultado será um revestimento com ajuste apertado. Sua maior limitação é a espessura da parede e, conseqüentemente, a quantidade, peso e custo do material necessário para grandes diâmetros ou condições severas de carga, particularmente em tubulações não circulares.

Figura 14 – Visita e análise interna de tubulação feita por robô.



Fonte: Orellana (2011).

As ligações de ramais poderão ser reabertas remotamente após o revestimento, mas é preciso tomar cuidado durante a instalação para assegurar que o excesso de resina não entre nos ramais. Os sistemas CIPP são também usados para a recuperação de ramais laterais a partir do interior da rede de distribuição principal.

A principal desvantagem dos sistemas de revestimento com CIPP é a necessidade de retirar de serviço a rede existente durante a instalação e cura. Em redes por gravidade, onde as vazões são muito baixas, poderá ser possível fechar a entrada de alguns ramais e confiar na armazenagem dentro do próprio sistema. Nos demais casos, serão necessários, geralmente, bombeamento adicional ou desvio de fluxo (ORELLANA, 2011). Alguns sistemas de CIPP podem ser usados em tubulações de grande diâmetro (com acesso para pessoal).

Figura 15 – Reabilitação de tubulação pelo CIPP com cura uv realizada por robô.



Fonte: PROPIPE (2018).

### 3.11 PERFURAÇÃO DIRECIONAL (HDD) OU GUIADA (UNIDIRECIONAL).

As técnicas de perfuração guiada e perfuração direcional (HDD) são usadas para a instalação por método não destrutivo de novas redes, dutos e cabos. O traçado da perfuração pode ser reto ou ligeiramente curvo e a direção da perfuração pode ser ajustada durante a execução do serviço para contornar obstáculos, passar sob rodovias, rios ou ferrovias. A perfuração pode ser executada entre poços pré-escavados de entrada e saída ou a partir da superfície, fazendo-se a entrada da perfuratriz no solo em um ângulo suave.

Em termos comparativos e de capacidade, a perfuração guiada e a perfuração direcional (HDD) tendem a ficar entre as técnicas de perfuração por percussão (seção K) e os micro-túneis (Seção M). Os termos “perfuração guiada” e “perfuração direcional” são, para o propósito destas diretrizes, intercambiáveis. O último é usado com frequência para descrever a ponta mais pesada do mercado, como travessias de grandes rios, canais e rodovias, normalmente cobrindo longas distâncias, mas hoje em dia existe uma sobreposição das capacidades dos equipamentos que torna desnecessário e provavelmente de pouca importância estabelecer uma linha divisória entre ambos.

A instalação da tubulação final ou duto é, normalmente, uma operação em duas etapas. Inicialmente, faz-se um furo piloto ao longo do percurso previsto, que depois é alargado no sentido inverso para poder acomodar a tubulação final. Durante essa segunda etapa, de alargamento, a tubulação final é presa ao alargador através de uma conexão articulada, e é puxado para o furo alargado à medida que a coluna de perfuração é removida. Em condições difíceis de solo, ou onde o alargamento for

considerável, poderá haver um ou mais estágios intermediários de alargamento, nos quais o diâmetro do furo aumentará progressivamente (ORELLANA, 2011).

Até pouco tempo atrás, a perfuração direcional era usada principalmente para a instalação de redes pressurizadas e dutos para cabos, onde usualmente declives precisos não são críticos, como ocorre nas redes por gravidade, que exigem tolerâncias apertadas no alinhamento vertical para atender aos critérios de projeto hidráulico. Algumas das máquinas de perfuração e sistemas de guia mais recentes, contudo, oferecem uma precisão excelente em condições adequadas de solo, e espera-se que a perfuração direcional se torne cada vez mais popular na execução de redes por gravidade.

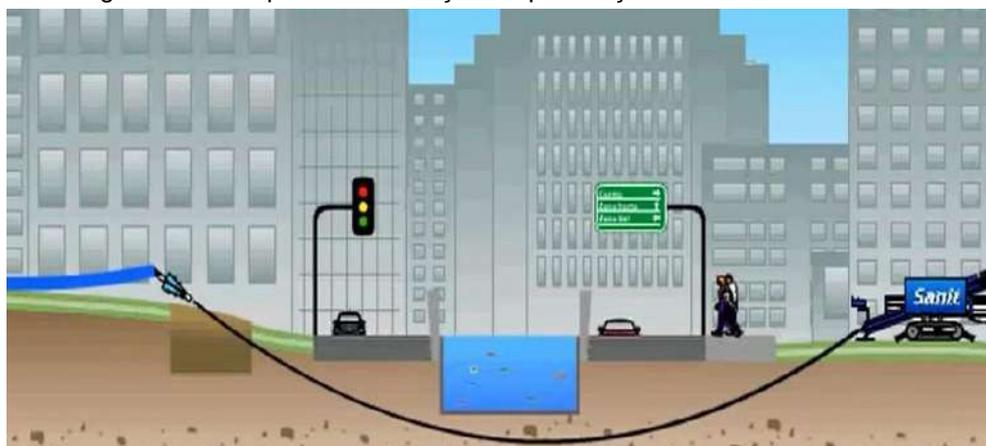
A capacidade dos equipamentos vem aumentando nos últimos anos, e as vantagens das tecnologias não destrutivas para a construção de novas redes tornaram-se cada vez mais apreciadas.

Figura 16 – Início de perfuração direcional.



Fonte: PLANSAB (2014).

Figura 17 – Maquete de execução de perfuração direcional executada.



Fonte: Bemett, Ariartnam (2004).

Algumas concessionárias de serviços públicos têm atualmente uma prevenção contra técnicas de escavação a céu aberto (particularmente em vias públicas) onde houver disponibilidade de alternativa não destrutiva. Além dos óbvios benefícios ambientais do uso de métodos não destrutivos, o custo relativo da perfuração direcional caiu para um valor equivalente ao da escavação a céu aberto para muitas aplicações, mesmo não levando em conta os custos sociais do desvio e retardamento do tráfego.

## 4 METODOLOGIA

Esse trabalho foi elaborado pautando-se nas discussões de artigos e bibliografias essenciais e atuais, que busca apresentar a viabilidade técnica atrelada os custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas e realizar um comparativo entre os métodos construtivos existentes, para execução de tais serviços, do ponto de vista dos custos relacionados à interrupção ao tráfego veicular e impactos ambientais.

Para realização deste comparativo, primeiramente, foi realizada uma revisão da bibliografia sobre a valoração monetária dos custos sociais e os métodos construtivos disponíveis, mais utilizados no mercado, para execução dos serviços. Feito isto, foi realizada pesquisa na bibliografia sobre as técnicas reabilitação MND mais usuais em outros países, para comparações e balizamentos dos métodos e suas peculiaridades.

## 5 RESULTADOS

Comparando as análises financeiras feitas nas bibliografias podemos analisar os resultados e comportamentos que as obras MND tem em função das obras MD no Brasil, como é demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo de custos da execução pelo método convencional, obra (Travessia da Rodovia dos Vianas – SC).

MÉTODO CONVENCIONAL	
TOTAL OBRAS CIVIS (R\$)	230.903,15
TOTAL MATERIAL (R\$)	14.818,58
<b>TOTAL (R\$)</b>	<b>245.721,73</b>
<b>TOTAL POR METRO LINEAR (R\$/m)</b>	<b>1.595,60</b>

Fonte: Nijenhuis (2016).

Segundo Nijenhuis (2016) para o estudo feito na obra da Rodovia dos Vianas em Santa Catarina, a distribuição de valores em função do comportamento de custo linear da mesma, de valor 1595,60 R\$ por metro, como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Distribuição de custos método convencional.



Fonte: Nijenhuis (2016).

Na figura 19 pode-se ver como é distribuído em porcentagem os valores distribuídos na obra realizada por método convencional/destrutivo.

Figura 19 – Distribuição de custos de execução pelo MND



Fonte: Nijenhuis (2016).

Na tabela 2 pode-se ver como é distribuído em porcentagem os valores distribuídos na obra realizada por MND.

Tabela 2 – Trechos analisados na obra de execução de redes coletoras, trecho Norte e Sul – RN.

Faixas de Profundidade	Quantidade de trechos	Comprimento total (m)
Geral	51 trechos	3051,20
1,00 a 2,00 m	1 trecho	33,00
2,00 a 3,00 m	3 trechos	207,00
3,00 a 4,00 m	28 trechos	1546,20
4,00 a 5,00 m	10 trechos	542,00
5,00 a 6,00 m	7 trechos	552,50
6,00 a 7,00 m	1 trecho	96,00
7,00 a 8,00 m	1 trecho	74,50

Fonte: Silva (2019).

Um estudo feito nas em obras realizadas no Rio Grande do Norte trabalha uma melhor amostra, as análises realizadas sobre a utilização de MND, para um melhor entendimento de viabilidade ou não do uso desses métodos em comparação as técnicas de uso convencional. O comparativo é descrito na tabela 3.

Tabela 3 – Trechos analisados na obra de execução de redes coletoras, trecho Norte e Sul – RN.

Faixa de Profundidade	Valor por metro de rede (R\$/m)	
	Convencional	MND
Geral	R\$ 735,07	R\$ 1.022,58
1,00 a 2,00 m	R\$ 307,60	R\$ 686,04
2,00 a 3,00 m	R\$ 334,97	R\$ 625,25
3,00 a 4,00 m	R\$ 613,91	R\$ 999,13
4,00 a 5,00 m	R\$ 890,02	R\$ 1.259,55
5,00 a 6,00 m	R\$ 991,39	R\$ 1.076,48
6,00 a 7,00 m	R\$ 1.383,91	R\$ 1.097,81
7,00 a 8,00 m	R\$ 800,87	R\$ 659,89

Fonte: Silva (2019).

As tabelas 2 e 3 tratam dos trechos e composição dos mesmos e suas respectivas características e valores de para execução caso seja optado por MD ou MND, sendo notório que para valas rasas os valores de MND não são viáveis.

Segundo (RODRIGUES, 2017) os valores das obras convencionais têm aumento de valor diretamente reacionado com o diâmetro da tubulação que será utilizado, sendo notório isso devido a escavação está intrinseca ao diâmetro da tubulação, porque isso dita o volume lateral a ser escavado. (tabela 4)

Tabela 4 – Custo de execução de Rede coletora por abertura de vala – RJ.

Método Construtivo	DN (mm)	Quantidade (m)	Custo/m (R\$)	Total (R\$)
Abertura de Vala	150	100	521,99	52.199,11
	200		563,89	56.389,24
	250		663,47	66.347,21
	300		732,62	73.261,63
	400		801,32	80.131,91

Fonte: Rodrigues (2017).

Tabela 5 – Custo sociais de interdição de 1 faixa para uso de (MND – HDD).

Vol. Tráfego (veic/h)	Tempo 40(h)	Custos Sociais (R\$/h)	Total (R\$)
2392	1	41,36	41,36
4784	1	301,91	301,91
7176	4,5	850,96	3.829,32
9568	1,5	949,92	1.424,88
11960	2	1.039,97	2.079,94
		<b>TOTAL</b>	<b>7.677,41</b>

Fonte: Dezotti (2008).

Nos estudos Dezotti (2008) é possível ver os valores indiretos das obras MND pela técnica de HDD, sendo esses valores base para muitos outros MND's, sendo possíveis fazer melhor análises comparativas de viabilidade entres quais recursos utilizar para escolha do melhor método de construção de redes coletoras.

É visto então que o valores referentes aos custos sociais e ambientais gerados pelas execuções de novos coletores ou a manutenção de coletores já existentes, é aproximadamente 24,3% maior do que a utilização de reabilitação não destrutiva para as mesmas finalidades. (tabela 6).

Tabela 6 – Custo sociais de interdição de 1 faixa para uso de (MND – HDD).

Método Construtivo	ÍNDICE	ÍNDICE	II/I0 - 1	Custos Sociais	Custos Sociais
	EMOP 05.100	EMOP 05.100		e ambientais	e ambientais
	JUL/2008	JUL/2016		(indiretos)	(indiretos)
	I0	II		2008	2016
Abertura de Vala	2.798	4.727	68,94%	31.597,52	53.380,85
MND	2.798	4.727	68,94%	7.677,41	12.970,22

Fonte: Rodrigues (2017).

Com alguns resultados provenientes dos estudos de (DEZOTTI, 2008) e (RODRIGUES, 2017) foi possível montar um comparativo do método HDD x Abertura de valas e Piperbursinh x Abertura de valas com a adição dos valores de custos sociais, pode-se ver esses valores nas tabelas 7 e 8 respectivamente.

Tabela 7 – Inclusão de custo sociais e comparação entre os valores de execução entre os dois métodos para novas redes (em R\$/100 m).

Método Construtivo	DN/DE (mm)	Custos diretos (R\$)	Custos Sociais (R\$)	Total (R\$)
Abertura de Vala	150	52.199,11		105.579,96
	200	56.389,24		109.770,09
	250	66.347,21	53.380,85	119.728,06
	300	73.261,63		126.642,48
	400	80.131,91		133.512,76
MND – HDD	160	63.579,37		76.549,59
	225	90.062,17		103.032,39
	280	114.490,61	12.970,22	127.460,83
	355	151.368,17		164.338,39
	400	175.196,89		188.167,11

Fonte: Autor (2021).

Tabela 8 – Inclusão de custo sociais e comparação entre os valores de execução entre os dois métodos para novas redes (em R\$/100 m).

Método Construtivo	DN/DE (mm)	Custos diretos (R\$)	Custos Sociais (R\$)	Total (R\$)
Abertura de Vala	150	52.199,11		105.579,96
	200	56.389,24		109.770,09
	250	66.347,21	53.380,85	119.728,06
	300	73.261,63		126.642,48
	400	80.131,91		133.512,76
PIPERBURSTING	160	46.875,37		59.845,59
	225	66.572,17		79.542,39
	280	85.258,61	12.970,22	98.228,83
	355	114.306,17		127.276,39
	400	133.436,89		146.407,11

Fonte: Autor (2021).

Devido aos valores gerados na tabela 7 ver-se que o uso HDD é viável para execução em obras que os diâmetros das tubulações seja 150mm e 200mm acima desse diâmetro a técnica se torna mais cara do quê o convencional.

Porém pelo uso do Piperbursting ainda há economia até 250mm de diâmetro de tubulação, para diâmetros maiores o valor de obras com uso da metodologia convencional é mais lucrativa, vendo apenas pelo aspecto financeiro. (tabela 8).

Tabela 9 – Comparação entre os valores de execução da obra, travessia de rede coletora na via de alto fluxo no bairro Santa Teresinha – Rio Grande / PR.

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

Fonte: Pivovarski (2016).

Segundo (PIVOVARSKI, 2016) as obras com pequenos trechos de comprimento para uso de MND tem valor superior de 196,53% a mais do quê o sistema destrutivo de obra para as tubulações de 150mm.

Esses valores citados na tabela 9, não inclui os custos social e ambiental, caso fosse incluído no MD e MND desse estudo, os percentuais de valores adicionais seriam 102,42% e 20,40% respectivamente.

Sendo assim os valores final agregados para o estudo (PIVOVARSKI, 2016) 2.900,7 MD e 3.379,84 MND preço para 13,10 metros, ainda sendo o MD mais barato 14,18% em comparação ao MND.

Tabela 10 – Valores de serviços praticados em obras publicas pela tabela 026 da Seinfra.

Tabela de Custos - Versão 026 - ENC. SOCIAIS 114,23%					
C3475 - TRAVESSIA MÉTODO NÃO DESTRUTIVO P/ TUBO 100<DN<=200 (COMPLETO)					
Preço Adotado: 1.794,9500					Unid: M
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço	Total
SERVIÇOS					
C0707	CARGA MANUAL DE TERRA EM CAMINHÃO BASCULANTE	M3	0,1200	18,0054	2,1606
C2948	SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO COM BARREIRAS	M	1,0600	4,8805	5,1733
C2781	ESCAVAÇÃO MANUAL SOLO DE 1A.CAT. PROF. DE 1.51 a 3.00m	M3	2,1600	51,6600	111,5856
C2920	REATERRO C/COMPACTAÇÃO MECÂNICA, E CONTROLE, MATERIAL DA VALA	M3	4,0000	20,8217	83,2868
C2784	ESCAVAÇÃO MANUAL SOLO DE 1A.CAT. PROF. ATÉ 1.50m	M3	2,0000	39,1140	78,2280
C2533	TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 5 KM	M3	0,1200	22,3183	2,6782
C2949	SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO NOTURNA	M	1,0600	2,3394	2,4798
<b>TOTAL SERVIÇOS</b>					<b>285,5923</b>

Fonte: Seinfra (2018).

Em obras publicas a composição dos serviços são embasados na tabela da SEINFRA, as tabelas 10,11 e 12 mostra a parte referente a serviço que compõe o item C3475 da tabela citada, a tabela 10 mostra a parte de serviços que constituem o item, e representa 15,91% to total.

Tabela 11 – Valores de mão de obra praticados em obras publicas pela tabela 026 da Seinfra.

MAO DE OBRA					
I1009	OPERADOR DE EQUIPAMENTO LEVE	H	2,0000	18,2500	36,5000
I1879	SOLDADOR	H	0,1600	20,1600	3,2256
I2510	ENCARREGADO DE SERVIÇOS	H	2,0000	29,2100	58,4200
I2543	SERVENTE	H	0,1600	14,7600	2,3616
<b>TOTAL MAO DE OBRA</b>					<b>100,5072</b>

Fonte: Seinfra (2018).

A tabela 11 mostra a parte da mão de obra que constitui o item, e representa 5,6% do total.

Tabela 12 – Valores da parte específica ao MND praticados em obras públicas pela tabela 026 da Seinfra.

MATERIAIS					
I6171	TUBO CAMISA AÇO CHAPA ASTM A36 1/4" DN 400mm	M	1,0000	977,5500	977,5500
I6169	MÁQUINA P/ CRAVAÇÃO (MÉTODO NÃO DESTRUTIVO)	H	2,0000	214,0000	428,0000
I1061	ELETRODOS	KG	0,2000	16,5000	3,3000
<b>TOTAL MATERIAIS</b>					<b>1.408.8500</b>
Total Simples					1.794,95
Encargos					<i>INCLUSOS</i>
BDI					0,00
<b>TOTAL GERAL</b>					<b>1.794,95</b>

Fonte: Seinfra (2018).

A tabela 12 mostra a parte de materiais que constituem o item, e representa 78,49% do total do mesmo. Isso evidencia um dos fatores que encarecem o uso do MND no nosso território nacional.

## 6 CONCLUSÃO

No percurso para apresentação e descrição das técnicas de reabilitação de infraestruturas, bem como, de todo o processo anexo a estas, como a seleção de redes com prioridade de intervenção, técnicas de avaliação do estado das mesmas, trabalhos preparatórios de levantamento de infraestruturas, caracterização dos materiais utilizados e, por fim, aplicação do processo na íntegra a um caso real.

Assim, antes de começar o processo de reabilitação é preciso fazer um estudo sobre a infraestrutura em si, analisar a segura patrimonial da infraestrutura, isto é, o que fazer para prevenir e solucionar as falhas de uma infraestrutura enterrada de drenagem de águas residuais

Em função disso, dispor de uma base para se poder selecionar as mais adequadas técnicas de reabilitação possíveis, para solucionar os problemas existentes.

Para a decisão será sobre qual a melhor técnica capaz de solucionar o problema e o seu custo associado. Contudo, e para além de serem técnicas aparentemente simples, requerem um conhecimento (know-how) de todos os intervenientes neste processo o que ainda não está adequadamente estabelecido no caso nacional.

Concluiu-se, então, que ainda há um grande caminho a ser percorrido e a transferência do conhecimento de outros países para o caso nacional deve ser tomada com grande prudência e consciência de que cada caso é único, e cada país tem a sua forma de atuar.

Em suma, este trabalho pretendeu através de uma observação técnica entre estudos de casos realizados, expor todo o processo de reabilitação de infraestruturas enterradas, não só da técnica em particular, mas de todos os trabalhos que este acarreta, e então compreender a complexidade e as condicionantes que estas englobam.

Foi notado que o custo do MND ainda é elevado por ser necessário mão de obra e equipamentos especializados, sendo que isso ainda não é abundante no território nacional aumentando significativamente os valores de aquisição ou locação dos mesmos, mas isso não minoriza todos os benefícios trazidos por esses métodos, na verdade isso mostra o quão devemos fazer pesquisas para tornar essa tecnologia mais viável em quesitos financeiros.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As pesquisas sobre a utilização de métodos não-destrutivos como alternativa para reduzir os cortes nos pavimentos, intervenção no tráfego de veículos, impactos ambientais e, conseqüentemente, os custos sociais, ainda apresentam muitos pontos a serem estudados.

Como sugestão para trabalhos complementares, destaca-se a análise quantitativa de outros custos sociais não considerados nesta pesquisa, envolvendo particularmente:

- Estudo comparativo entre os métodos com abertura de vala e os métodos não-destrutivos com relação à redução da vida em serviço dos pavimentos;
- Análise comparativa com relação a impactos ambientais, considerando-se poluição visual e sonora;
- Análise comparativa com relação a velocidades de execução desse tipo de obra;
- Detalhar as patologias mais frequentes provocadas pela instalação, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas e suas conseqüências sobre os custos sociais e indiretos;
- Estudo que trabalhe a redução dos custos de materiais e serviços relacionados ao MND.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 12266/92 - Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água esgoto ou drenagem urbana - Procedimento**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1992.

DEZOTTI, M. **Análise da utilização de método não-destrutivo como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalações, manutenção e substituição de infra-estruturas urbanas subterrâneas**. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos da universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

WARP – **Planificador de renovação de tubulações de água metálicas com base na corrosão** (Kleiner et al. - 2001; Rajani e Kleiner - 2001; Rajani e Kleiner - 2002)

ABRATT. **Guia de método não destrutivo, para instalações, recuperação, reparo e substituição de redes, dutos e cabos subterrâneos com o mínimo de escavação**. Associação Brasileira de Tecnologia não destrutiva. Barra Funda, São Paulo. 2007.

CARVALHO, C. **Infraestrutura urbana**. Prefeitura de São Bernardo do campo. São Bernardo do Campo, São Paulo. 2013.

DRÖSEMEYER, A. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA EXECUÇÃO DE TÚNEIS**. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004.

ECONOMIA & TRANSPORTES (2007). **Base de dados: Pesquisas de preços**. Disponível em: <<http://www.economiaetransporte.com.br>>. Acesso em: 06 de março de 2020.

FERNANDES, A. S. A.; OLIVEIRA, F. (2002). **Licenciamento ambiental para redes de infra-estrutura urbana**. 20 Experiências de Gestão Pública e Cidadania - Ciclo de Premiação 2002.

Programa Gestão Pública e Cidadania, 1ª ed. p. 1-14. São Paulo, 2003.

DRÖSEMEYER, 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.

AUGUSTO JÚNIOR, F.; GIAMPAGLIA, H. R.; CUNHA, M. A. (1992). **Manual de pavimentação urbana**. Instituto de Pesquisa Tecnológico. 236 p. São Paulo, 1992.

DEMARCHI, S. H.; COLELLA, D. A. T.; BERTONCINI; B. V. (2003). **Determinação da Densidade de Congestionamento em Filas de Intersecções SemafORIZADAS**. Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro, RJ, v.1, p.476-488.

ABBATE, V. Téchne. **Tecnologia - Método não destrutivo**, 2004. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo285309-1.aspx>>. Acesso em: 2020.

ABBATE, V. instalações sem trincheiras. **PINI**, São Paulo, v. téchne, n. 85, Abril 2004.

Sousa, V; Matos, J. S; Almeida, M. C. - Técnicas de Inspeção em Sistemas de Drenagem. Em 12º Encontro Nacional de Saneamento Básico (ENaSB), Cascais, Portugal.

Tomás, Tese de Mestrado, Técnicas de Reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água, Outubro de 2007.

Cardoso, A. – Avaliação do Desempenho de Sistemas de Drenagem Urbana, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Aquitectura e Georecursos 2008.

PACHECO, R. P. **Custos para implantação de sistemas de esgotamento sanitário**. 2011. 149p. Dissertação (Engenharia de Recursos Hídricos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. PAIVA, G. B.

**Mecanismo de desenvolvimento limpo, tratamento de esgoto e desenvolvimento sustentável**: um estudo econômico. 2008. 134p. Dissertação (Mestrado em Economia), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008. PEREIRA, M.; SCHOFFL, J.

**Relatório sobre análise de solo de Ajuricaba**. 2012. 16p. Trabalho (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: um manual para regiões de clima quente. Campina Grande – Paraíba, 1994. 240p. VOLSCHAN JR., I.

**Esgotamento sanitário**: operação e manutenção de redes coletoras de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 2. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 78p. VON SPERLING, M.

**Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452p.

Machado, C. (2005). "Tese de Doutorado - Reabilitação de pontes e viadutos."

Appleton, J. (2003). Reabilitação de edifícios antigos - Patologias e tecnologias de intervenção (1ª edição), Edições Orion.

POGGIALI, F. S. J. **Durabilidade de estruturas de concreto em usinas siderúrgicas**. 2009. 81 p. Monografia – Curso de especialização em construção civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: Causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. 2006. 191p. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

RIBEIRO, R. M. **Concreto aparente: Uma contribuição para a construção sustentável**. 2010. 112 p. Monografia – Curso de especialização em construção civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

ROQUE, J. A. **Sistema construtivo em aço patinável e bloco de concreto celular autoclavado: Análise de protótipo de Moradia de Interesse Social**. 2003. 197p. Dissertação (Mestrado). PPGSS-ECM, Universidade São Francisco, Itatiba, 2003.

ROQUE, J. A., MORENO JUNIOR, A. L. Considerações sobre vida útil do concreto. **1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em concreto pré-moldado**. São Carlos, 2005.

SILVA, P. R. Estudo laboratorial da estabilidade de filmes de sulfeto de ferro visando ao monitoramento da corrosão em unidades de craqueamento catalítico fluido. 2007. 137 p. Tese (Doutorado) – Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SILVA, T. J. Predicción de la vida útil de forjados unidireccionales de hormigón mediante modelos matemáticos de deterioro. 1998. 290 p. Tese de doutorado em Engenharia Civil – Escola técnica superior de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1998.

SOUZA, V. C. M., RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1998. 257p.

TAKAHASHI, A. Durabilidade de interceptores de esgoto. Anais do 9º Encontro Nacional da Construção. Instituto de engenharia – São Paulo, 1988.

RAKHA, H.; LUCIC, I.; DEMARCHI, S.; SETTI, J.; VAN AERDE, M. (2001). **Vehicle dynamics model for predicting maximum truck acceleration levels**. Journal of Transportation Engineering, v. 27, n. 5, p. 418-425.

RAKHA, H. (2005). **Integration Release 2.30 for Windows: User's Guide**. Vol. I e II. Michel Van Aerde and Associates, Ltd. Kingston, Ontario, Canada.

SIMICEVIC, J.; STERLING R. L. (2001). **Guidelines for pipe ramming**. Vicksburg, MS: Trenchless Technology Center, 2001. 23 p. (TTC Technical report # 2001.04). Disponível em: <<http://www.ttc.latech.edu/publications/index.htm>>. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

\_\_\_\_\_. **Guidelines for impact moling.** Vicksburg, MS: Trenchless Technology Center, 2001. 19 p. (TTC Technical report # 2001.03). Disponível em: <<http://www.ttc.latech.edu/publications/index.htm>>. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

\_\_\_\_\_. **Guidelines for pipe bursting.** Vicksburg, MS: Trenchless Technology Center, 2001. 47 p. (TTC Technical report # 2001.02). Disponível em: <<http://www.ttc.latech.edu/publications/index.htm>>. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

STEIN, D.; MÖLLERS, K.; BIELECKI, R. (1989). **Microtunneling: Installation and renewal of nonman-size supply and sewage lines by the trenchless construction method.** Ontário: John Wiley & Sons Canada Ltd, 1989. 353 p.

STUCHI, EDUARDO TERENCE (2005). **Interferência de obras de serviço de água e esgoto sobre o desempenho de pavimentos urbanos.** 124p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

TEPLY, S; JONES A. M. (1991). **Saturation Flow: Do We Speak the Same Language?** Transportation Research Record, 1320, p. 144-153, 1991.

TERZAGHI, K. (1950). **Geologic aspect of soft ground tunneling, applied sedimentation.** In: TRASK, P. D. Applied Sedimentation. New York, NY: John Wiley and Sons, 1950. Capítulo 11, p. 193-209.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA – ABRATT. Diretrizes dos métodos não destrutivos. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS DA SABESP, 29, 2018, São Paulo. Anais do XXIX Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. São Paulo: FENASAN, 2018.

CELESTINO, Renan Nijenhuis. Método Não Destrutivo (MND) Como Alternativa de Execução em Sistemas de Esgotamento Sanitário – Estudo de caso envolvendo análise em campo e de projeto. Santa Catarina, 2016. Monografia (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina.

CORAL, D. D. B. e STEINER, L. R. Comparativo entre Perfuração Direcional Horizontal (MND) x Método Destrutivo (Vala), para implantação de Rede De Gás Natural Urbana. Estudo de Caso. Santa Catarina, 2015. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC – Universidade de Extremo Sul Catarinense.

COSTA, Danilo Reis Valois. Avaliação de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário em Comunidades de Pequeno Porte. Feira de Santana, 2010. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Feira de Santana.

GOMES, P. M. e HARADA, A. L. As questões ambientais, técnica e implicação social da locação das unidades operacionais de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu, PR, 727-735, out., 1997. Programa & Resumos. Rio de Janeiro, ABES, Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., 1997. CD-ROM.

HELLER, Léo. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. *Ciência & saúde coletiva* [online]. 1998, vol.3, n.2, p.73-84.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. PNAD Contínua: abastecimento de água aumenta no Centro-Oeste em 2018, mas se mantém abaixo do patamar de 2016. Agência IBGE Notícias, 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-denoticias/releases/24532-pnad-continua-abastecimento-de-agua-aumenta-no-centro-oeste-em-2018-mas-se-mantem-abaixo-do-patamar-de-2016>>. Acesso em: 30 de outubro de 2020.

MAGNUS, D. B.; SANTOS, A. A. Dimensionamento de contenção para subsolo – Estudo de Caso. Santa Catarina, 2013. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC – Universidade de Extremo Sul Catarinense.

MANUAL DE ENCARGOS DE OBRAS DE SANEAMENTO – MEOS. Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. Ceará, 2004.

PALAZZO, Sérgio Augusto. Uma cidade sem valas. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA – ABRATT, São Paulo, p.3, 2008.

PARENTE, D. C. e SILVA, R. R. Comparativo financeiro entre o método destrutivo e o não destrutivo de execução de ramais de ligação de água em Palmas – TO. Tocantins, 2016. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

SANZ, Milagros Alvarez. COMPARATIVO DE CUSTOS DIRETOS ENTRE PERFURAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL E ABERTURA DE VALA PARA INSTALAÇÃO DE DUTOS. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, 2017.

SILVA, Sara Rebeca Costa. MÉTODO NÃO DESTRUTIVO EM ALTERNATIVA AO MÉTODO CONVENCIONAL PARA A AEXECUÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTOS. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, 2019.

RODRIGUES, P.S.; MOTTA, S. L.; OBRACZKA, M. Comparação de Custos de Utilização de Métodos Não Destrutivos – MND e de Abertura de Vala em Obras Lineares de Saneamento. Rio de Janeiro, 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2017. Ministério do desenvolvimento regional, 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2020.