



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Danilo Oliveira Rodrigues

UTILIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS EM OBRAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E REDES DE ESGOTO

Palmas – TO

2017



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Danilo Oliveira Rodrigues

UTILIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS EM OBRAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E REDES DE ESGOTO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Dalton Cardozo Bracarense.

Palmas – TO

2017

Daniilo Oliveira Rodrigues

UTILIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS EM OBRAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E REDES DE ESGOTO

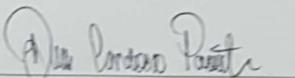
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

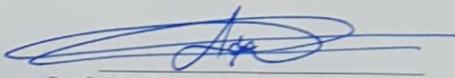
Orientador: Prof. Me. Dalton Cardozo Bracarense.

Aprovada em Palmas/TO _____ de novembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Dalton Cardozo Bracarense
Centro Universitário Luterano de Palmas


Prof. Esp. Denis Cardoso Parente
Centro Universitário Luterano de Palmas


Prof. Me. Fábio Moreira Spinola de Castro
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas-TO
2017

Dedico esse trabalho a Deus, meu maior Inspirador, aos meus queridos pais, irmão e amigos especiais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me deu esta oportunidade de aprendizagem e me permitiu chegar até esta conclusão. Aos meus pais e irmão por estarem do meu lado nessa jornada, aos meus tios César e Lília por me receberem em sua casa como um filho, à minha família em geral, pelo incentivo e apoio contínuo. Aos meus amigos e colegas nessa caminhada, que foi difícil, mas, uma experiência valiosa. E ao meu Professor Me. Dalton Cardozo Bracarense, que se dispôs a ser meu Orientador nesse trabalho, contribuindo sobremaneira para sua elaboração, de modo a corroborar com a conclusão desta etapa da minha vida, com sucesso.

Semear ideias ecológicas e plantar sustentabilidade é ter a garantia de colhermos um futuro fértil e consciente

(SILVALDO FILHO, 2010)

RESUMO

RODRIGUES, Danilo Oliveira. **UTILIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS EM OBRAS DE SANEAMENTO**. 2017. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

Os métodos não destrutivos (MND) buscam utilizar técnicas que minimizem ou eliminem a necessidade de escavação em obras de instalação, reparação e reforma de tubos, dutos e cabos subterrâneos, podendo resultar em menos custos e impactos ambientais e sociais. Entretanto, há uma dificuldade em definir o melhor método a ser aplicado em cada obra, haja vista as variadas opções e, muitas vezes, a falta de conhecimento sobre os MND. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo elaborar e aplicar um fluxograma para avaliação dos MND na execução de obras de redes de água e esgoto, possibilitando a escolha de métodos/técnicas mais indicadas de acordo com a análise das obras. O estudo foi desenvolvido com o uso da metodologia de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, sendo realizado em projetos respectivos ao município de Porto Nacional/TO e Palmas/TO, no segundo semestre de 2017. Como resultado o estudo apresentou ferramentas de análise qualitativa para aplicação em obras com uso de MND.

Palavras-chave: *Métodos não destrutivos. Saneamento. Fluxograma.*

ABSTRACT

RODRIGUES, Danilo Oliveira. **USE OF MAIN NON-DESTRUCTIVE METHODS IN SANITATION WORKS**. 2017. 55 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2017.

The trenchless methods seek to use techniques that minimize or eliminate the need for excavation in works of installation, repair and reform of pipes, ducts and underground cables, generating less costs and environmental and social impacts. However, there is a difficulty in defining the best method to be applied in each work, given the varied options and, often, the lack of knowledge about these methods. In this way, the present work had as objective to elaborate and to apply a flow chart for evaluation of the trenchless methods in the execution of works of sanitation, allowing the choice of methods / techniques more indicated according to the analysis of the works. The study was developed using the methodology of bibliographic research and case study, being carried out in respective projects to the municipality of Porto Nacional / TO and Palmas / TO, in the second half of 2017. As a result, the study presented qualitative analysis tools, as a flowchart, for application in works using trenchless methods.

Key-words: *Trenchless methods. Sanitation. Flowchart.*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| ABNT | ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS |
| CEULP | CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS/TO |
| IBGE | INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA |
| MND | MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS |
| NBR | NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA |
| SGA | SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL |
| ULBRA | UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL |

LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| FIGURA 1: COMPONENTES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO | 18 |
| FIGURA 2: ILUSTRAÇÃO DE UMA REDE COLETORA DE ESGOTO..... | 19 |
| FIGURA 3: REVESTIMENTO POR INSERÇÃO CONTÍNUA | 21 |
| FIGURA 4: REVESTIMENTO POR INSERÇÃO SEGMENTADO | 22 |
| FIGURA 5: PROCESSO DE INSERÇÃO DE TUBO POR ARREBENTAMENTO..... | 23 |
| FIGURA 6: INSERÇÃO POR INVERSÃO | 24 |
| FIGURA 7: INSERÇÃO POR INVERSÃO COM CURA TÉRMICA..... | 24 |
| FIGURA 8: PROCESSO DE INSTALAÇÃO DO MÉTODO DE MICRO-TÚNEL | 26 |
| FIGURA 9: SISTEMA DE LAMA MTBM | 26 |
| FIGURA 10: PROCESSO DE PERFURAÇÃO DE FURO PILOTO..... | 27 |
| FIGURA 11: PROCESSO DE ALARGAMENTO E LANÇAMENTO DA TUBULAÇÃO | 28 |
| FIGURA 12: PROCESSO DE CRAVAÇÃO DE TUBO DE FACE ABERTA | 29 |
| FIGURA 13: TUBOS DE CAMISA DE AÇO E ROSCAS HELICOIDAL..... | 30 |
| FIGURA 14: FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DA PESQUISA | 33 |
| FIGURA 15: ETAPAS DE ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO | 35 |
| FIGURA 16: CRITÉRIOS – PROJETOS EM MND..... | 38 |
| FIGURA 17: FLUXOGRAMA DE APLICAÇÃO – I CHECKLIST | 40 |
| FIGURA 18: FLUXOGRAMA DE APLICAÇÃO – II | 42 |
| FIGURA 19: PROJETO DE APLICAÇÃO I | 44 |
| FIGURA 20: PROJETO DE APLICAÇÃO II | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1: CARACTERIZAÇÃO DO ATENDIMENTO E DO DÉFICIT DE ACESSO AO ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO (MODIFICADO DE PLANSAB) | 16 |
| TABELA 2: NECESSIDADE DE INVESTIMENTO EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL, ENTRE OS ANOS DE 2013 À 2033 EM MILHÕES DE REAIS DE DEZEMBRO DE 2012 (MODIFICADO DE PLANSAB) | 17 |
| TABELA 3: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO POR INSERÇÃO (MODIFICADO DE NAJAFI, 2016)..... | 22 |
| TABELA 4: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO DE SUBSTITUIÇÃO POR ARREBENTAMENTO (NAJAFI, 2016) | 23 |
| TABELA 5: RESUMO DE APLICAÇÕES DO CIPP E POSSÍVEIS LIMITAÇÕES (MODIFICADO DE NAJAFI, 2016)..... | 25 |
| TABELA 6: PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS MICROTÚNEIS (ADAPTADO DE NAJAFI, 2016)..... | 27 |
| TABELA 7: CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE MÉTODOS DE HDD (MODIFICADO DE NAJAFI, 2016)..... | 28 |
| TABELA 8: PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MNDI DE CRAVAÇÃO DE TUBO (ADAPTADO DE NAJAFI, 2016) | 30 |
| TABELA 9: QUADRO RESUMO: PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MNDR | 31 |
| TABELA 10: QUADRO RESUMO: PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MNDI | 32 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 PROBLEMA | 13 |
| 1.2 HIPOTESE | 14 |
| 1.3 OBJETIVOS | 14 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 SANEAMENTO BÁSICO | 16 |
| 2.1.1 Déficit em Saneamento Básico no Brasil | 16 |
| 2.1.2 Abastecimento de Água..... | 17 |
| 2.1.3 Redes Coletoras de Esgoto | 18 |
| 2.2 MÉTODOS DESTRUTIVOS | 19 |
| 2.3 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS | 20 |
| 2.3.1 Método Não Destrutivo de Renovação - MNDR..... | 21 |
| 2.3.1.1 <i>Revestimento por Inserção (Sliplinig)</i> | 21 |
| 2.3.1.2 <i>Substituição de Tubo por Arrebetamento</i> | 22 |
| 2.3.1.3 <i>Tubulação Curada In Loco.....</i> | 23 |
| 2.3.2 Método Não Destrutivo de Implantação - MNDI | 25 |
| 2.3.2.1 <i>Método De Microtúnel</i> | 25 |
| 2.3.2.2 <i>Método De Perfuração Horizontal Direcional</i> | 27 |
| 2.3.2.3 <i>Método De Cravação De Tubos</i> | 27 |
| 2.3.3 Quadro Resumo - MND | 30 |
| 3 METODOLOGIA..... | 33 |
| 3.1 DESENHO DE ESTUDO | 33 |
| 3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA | 34 |
| 3.3 OBJETO DE ESTUDO | 34 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1 ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ETAPAS DO PROJETO..... | 33 |
| 4.2 CRITÉRIOS PARA EXECUÇÃO DE PROJETOS COM MND | 33 |
| 4.3 FLUXOGRAMA PARA APLICAÇÃO PRÁTICA EM PROJETOS - MND..... | 33 |
| 4.4 ESCOLHA DE PROJETO PARA APLICAÇÃO PRÁTICA DOS FLUXOGRAMAS | 43 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 50 |
| REFERÊNCIAS | 52 |
| ANEXOS | 54 |

1 INTRODUÇÃO

Saneamento básico é a atividade relacionada ao abastecimento de água potável, o manejo de água pluvial, a coleta e tratamento de esgoto, a limpeza urbana, o manejo de resíduos sólidos e o controle de pragas e qualquer tipo de agente patogênico, visando a saúde das comunidades.

Nesse contexto, é impensável nos dias atuais a existência de uma cidade sem um plano municipal de saneamento básico, devido a sua importância em âmbito social e de saúde pública. Assim, foram publicadas as seguintes leis no Brasil: Lei nº 11.445/2007, que se caracteriza como o marco regulatório do saneamento básico; a Lei nº 11.107/2005, que trata dos Consórcios Públicos; e a Lei nº 12.305/2010 que dispõe sobre o manejo dos resíduos sólidos, todas no intuito de regular e nortear o saneamento básico no Brasil, considerando as especificidades municipais e regionais.

A concepção de que “*obra enterrada a população não vê*” já não é uma realidade na sociedade contemporânea, haja vista a importância do saneamento básico como política pública. O abastecimento de água é uma das principais prioridades da população, por sua importância relacionada à saúde e ao desenvolvimento industrial.

Segundo Tsutiya (2006), o sistema público de abastecimento de água é composto de: Manancial; Captação; Estação elevatória; Adutora; Estação de tratamento de água; Reservatório; e Rede de distribuição. Dessa forma, de acordo Tsutiya; Sobrinho (2000), o objetivo principal do sistema de abastecimento de água é entregar à população uma água de boa qualidade para uso, em quantidade adequada e com pressão suficiente.

Já a coleta e o tratamento de esgoto são compostos pelas seguintes partes: Redes coletoras; Interceptor; Emissário; Sifão invertido; Corpo de água receptor; Estação elevatória; Estação de tratamento.

Dos itens acima citados, segundo informações cedidas pela BRK Ambiental Saneatins (2017), em média 60% dos investimentos no sistema de abastecimento de água, é gasto na concepção de adutoras e redes de distribuição. No caso do esgotamento sanitário, 70% do investimento total vai para a execução de redes coletoras, interceptores e emissários. Sendo assim, fica evidenciado a importância das obras lineares que são escopo dos Métodos Não Destrutivos, bem como a necessidade de buscar novas tecnologias que possam minimizar este custo e reduzir os impactos que este tipo de obra causa na população.

Segundo a Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva - ABRATT (2007), os métodos não destrutivos (MND) podem ser definidos como a ciência que busca utilizar

técnicas que minimizem ou eliminem a necessidade de escavação no que se refere à instalação, reparação e reforma de tubos, dutos e cabos subterrâneos.

Os MND possuem muitos benefícios sobre o método tradicional, sendo eles: minimização da necessidade de perturbação ao meio ambiente e piora do tráfego de veículos em áreas intensamente habitadas; utilização de caminhos predeterminados pelos tubos existentes, reduzindo a problemas associados com novas rotas; requerem menor espaço no subsolo, minimizando a chance de interferir em outras tubulações existentes, mesmo as que estejam em desuso; fornecem a oportunidade de aumento de diâmetro da rede (limitado pela tecnologia) sem necessidade de abertura de vala; requerem menos exposição na área de trabalho, portanto, considerado mais seguro para os trabalhadores e para a comunidade; eliminam a necessidade de remoção de entulho e minimizam os danos causados ao pavimento (NAJAFI, GOKHALE, 2004).

A Política e o Plano Municipal de Saneamento Básico buscam encontrar soluções que possam trazer maior eficiência, maior eficácia e, sobretudo, alcançar a efetividade na prestação dos serviços públicos de saneamento básico; que proponham a formulação de soluções sustentáveis, adequadas a cada realidade; e que cumpram com as diretrizes e princípios da Política Federal de Saneamento Básico (FUNASA, 2014).

Com essas exigências, a utilização de Métodos Não Destrutivos - MND vem se tornando cada vez mais uma opção viável no Brasil, devido ao preço competitivo e baixo impacto ambiental e social. A escavação a céu aberto, método utilizado tradicionalmente, pode exigir um maior custo de implantação quando se leva em contas todas as atividades que devem ser gerenciadas, como: desvio de rua, desvio do fluxo de tráfego, escavação e escoramento da vala, bombeamento da vala, reaterro e compactação, dentre outros. Portanto, fica claro que apenas uma pequena porcentagem da energia gasta é efetivamente focada no produto final que é a instalação do tubo em si (NAJAFI, 2016).

1.1 PROBLEMA

No Brasil, devido ao estigma de que o Método Não Destrutivo - MND possui um alto custo, as empresas utilizam com mais frequência o método destrutivo também conhecido como método convencional. Esse método causa grandes impactos nos centros urbanos, afetando diretamente a vida da população, impedindo-a de transitar em um determinado trecho, causando engarrafamentos e, conseqüentemente, aumentando o risco de acidentes, além de expô-la à poluição causada pela obra (poeira, ruído de maquinário e etc.).

Assim, este trabalho visa responder a seguinte pergunta: **como definir o método/técnica mais indicado em cada obra relacionada ao uso dos MND?**

1.2 HIPOTESE

Os Métodos não Destrutivos (MND) vêm sendo cada vez mais vistos como uma atividade de aplicação geral do que como uma especialidade, tendo em vista que podem reduzir os danos ambientais e os custos sociais e, ao mesmo tempo, representam uma alternativa econômica para os métodos de instalação, reforma e reparo com vala a céu aberto (ABRATT, 2007).

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo principal elaborar e aplicar um fluxograma para avaliação dos MND na execução de obras de redes de água e esgoto, possibilitando a escolha de métodos/técnicas mais indicadas de acordo com a análise das obras.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Apresentar as principais tecnologias de MND existentes e quais suas aplicações;
- Estudar obras de redes de água e esgoto onde é viável tecnicamente a utilização de MND;
- Criar um fluxograma/quadro de definições para avaliar a viabilidade do uso do MND na execução de obras de redes de água e esgoto.

1.4 JUSTIFICATIVA

O método de abertura de valas para instalação de redes de esgoto e abastecimento de água, que é o mais difundido nas obras de nossa nação, cada vez mais vem se mostrando incapacitado de atender todas as demandas sociais, técnicas e por vezes econômicas. Nesse contexto os métodos não destrutivos podem se mostrar como uma solução interessante de acordo com a necessidade.

Os MND apresentam um grande ganho social, causando menos interferências na comunidade onde a obra está sendo executada, como: diminuição da poluição sonora; liberação da via enquanto a obra é executada; em alguns casos falta da necessidade de parar a prestação de serviço enquanto são feitas manutenções, entre outras.

Consequentemente apresentam um ganho econômico: como não existe a necessidade do fechamento completo das vias, não à interferência no mercado local; minimizam os danos

causados ao pavimento; e diminui drasticamente a necessidade de movimentação de terra, que representa cerca de 70% do custo de obras com MD. Isso permite: investir em uma área maior e beneficiar um maior número de pessoas; obter uma tarifa menor para os usuários do sistema; contribuir para a expansão e sustentabilidade econômica dos sistemas de saneamento.

Isto deixa clara a importância deste tema, tendo em vista que a urbanização é um caminho sem volta, sempre haverá a necessidade de manutenção ou instalação de novas redes de saneamento. Portanto a abordagem do tema justifica-se pela necessidade de apresentar possíveis soluções para manutenção e instalação de novas redes de saneamento, causando o menor impacto possível à população e ao meio ambiente.

2 REFERENCIALTEÓRICO

2.1 SANEAMENTO BÁSICO

Saneamento Básico pode ser definido como o mecanismo da saúde pública que consiste em intervenções sobre o meio físico do homem, de forma a suprimir as condições deletérias à saúde. O saneamento básico é composto por: abastecimento de água; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos feitos de forma adequada ao meio ambiente e à saúde pública (Lei 11.445/2007).

No Brasil, o grande marco para o saneamento básico foi a criação da Lei nº 11.445/2007, a qual decreta a necessidade do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), ferramenta fundamental de planejamento do setor. Entre os princípios do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), a universalização pode ser considerada como a base principal de sustentação na qual o plano se norteia. Contudo, ele deve ser analisado de forma harmônica com as noções de equidade e integralidade.

2.1.1 Déficit em Saneamento Básico no Brasil

No PLANSAB, adotou-se um conceito mais abrangente para a determinação do déficit em saneamento básico no país. Com o objetivo de que esse conceito leve em conta não apenas a infraestrutura implantada, mas também os aspectos culturais, socioeconômicos, tipos de soluções adotadas e a qualidade na prestação dos serviços, conforme tabela abaixo (PLANSAB):

Tabela 1: Caracterização do atendimento e do déficit de acesso ao abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Fonte:** PLANSAB, com modificações do autor (2017).

| COMPONENTE | ATENDIMENTO ADEQUADO | DÉFICIT | |
|------------------------------|--|---|---|
| | | ATENDIMENTO PRECÁRIO | SEM ATENDIMENTO |
| ABASTECIMENTO DE ÁGUA | -Fornecimento de água potável por rede de distribuição ou poço nascente ou cisterna com canalização interna em qualquer caso sem interrupções. | - Dentre o conjunto com fornecimento de água por rede e poço ou nascente, a parcela de domicílios que: <ul style="list-style-type: none"> · Não possui canalização interna; · Recebe água fora dos padrões de potabilidade; · Tem intermitência prolongada ou racionamentos. - Uso de cisterna para água da chuva, que forneça água sem segurança sanitária e, ou, em quantidade insuficiente para proteção à saúde. - Uso de reservatório abastecido por carro pipa. | - Todas as situações não enquadradas nas definições de atendimento e que se constituem em práticas inadequadas. |
| ESGOTAMENTO SANITÁRIO | - Coleta de esgoto seguida de tratamento; - Uso de fossa séptica. | - Coleta de esgoto não seguida de tratamento; - Uso de fossa rudimentar. | |

Fonte: PLANSAB, com modificações do autor (2017).

Segundo Atlas do Saneamento (2011), no Brasil até 2008, 33 municípios ainda permaneciam sem abastecimento de água, e 2495 municípios (44,8% dos municípios brasileiros), sem rede coletora de esgoto. Para que ocorra uma mudança nesse panorama o PLANSAB fez uma estimativa de investimentos de 2013 a 2033, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Necessidade de investimento em abastecimento de água potável e esgotamento sanitário no Brasil, entre os anos de 2013 à 2033 em milhões de reais de dezembro de 2012.

| MACRORREGIÕES / URBANO E RURAL | ABASTECIMENTO DE ÁGUA (em milhões de reais) | | | ESGOTAMENTO SANITÁRIO (em milhões de reais) | | | TOTAL (em milhões de reais) | | |
|-----------------------------------|---|----------------|----------------|---|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| | 2013 a 2018 | 2013 a 2023 | 2013 a 2033 | 2013 a 2018 | 2013 a 2023 | 2013 a 2033 | 2013 a 2018 | 2013 a 2023 | 2013 a 2033 |
| Áreas urbanas e rurais | | | | | | | | | |
| Norte | 4.718 | 8.635 | 12.083 | 8.851 | 12.032 | 18.435 | 13.570 | 20.667 | 30.518 |
| Nordeste | 9.477 | 17.154 | 28.409 | 22.531 | 30.002 | 45.284 | 32.008 | 47.156 | 73.693 |
| Sudeste | 14.836 | 27.279 | 46.935 | 34.410 | 47.352 | 72.982 | 49.246 | 74.631 | 119.917 |
| Sul | 7.927 | 13.328 | 23.077 | 11.260 | 16.385 | 26.925 | 19.187 | 29.713 | 50.002 |
| Centro Oeste | 3.945 | 7.211 | 11.645 | 8.490 | 11.856 | 18.266 | 12.435 | 19.067 | 29.911 |
| Total | 40.904 | 73.608 | 122.149 | 85.542 | 117.626 | 181.893 | 126.446 | 191.234 | 304.042 |

Fonte: PLANSAB, com modificações do autor (2017).

Segundo o próprio PLANSAB, os investimentos em expansão da coleta de esgoto, e de expansão na distribuição da água representam cerca de 33,6% e 16,3%, respectivamente, do total a ser investido em abastecimento de água e esgotamento sanitário de 2013 a 2033.

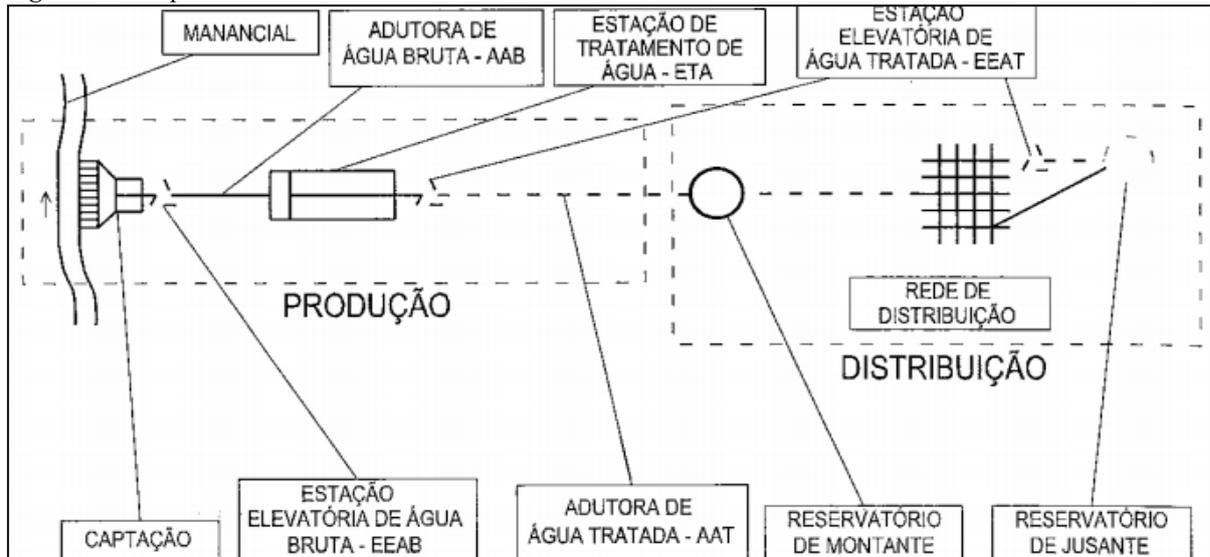
2.1.2 Abastecimento de Água

O sistema de abastecimento de água pode ser definido como conjunto de estruturas, equipamentos, canalizações e órgãos principais designadas ao fornecimento de água segura e de boa qualidade para o consumo da população. Esse sistema é composto pelos seguintes componentes (Tsutiya, 2006):

- Manancial: corpo de água superficial ou subterrâneo de onde se faz a captação da água para o sistema de abastecimento;
- Captação: como o nome mesmo já diz, é o conjunto de estrutura e equipamentos construídos perto do manancial, para retirada da água destinada ao abastecimento;
- Adutora: é a tubulação que leva a água entre as unidades que antecedem a rede de distribuição;
- Estação de tratamento de água: compatibilizar a qualidade da água bruta com os padrões de potabilidade e proteger a saúde da população consumidora;

- Reservatório: é o componente destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e distribuição;
- Rede de distribuição: é composta de tubulações, conexões e peças especiais, com a função de distribuir água até residências, estabelecimentos comerciais, indústrias e locais públicos, de forma contínua e em quantidade e pressão recomendadas.

Figura 1: Componentes do sistema de abastecimento.



Fonte: Heller e Pádua (2010).

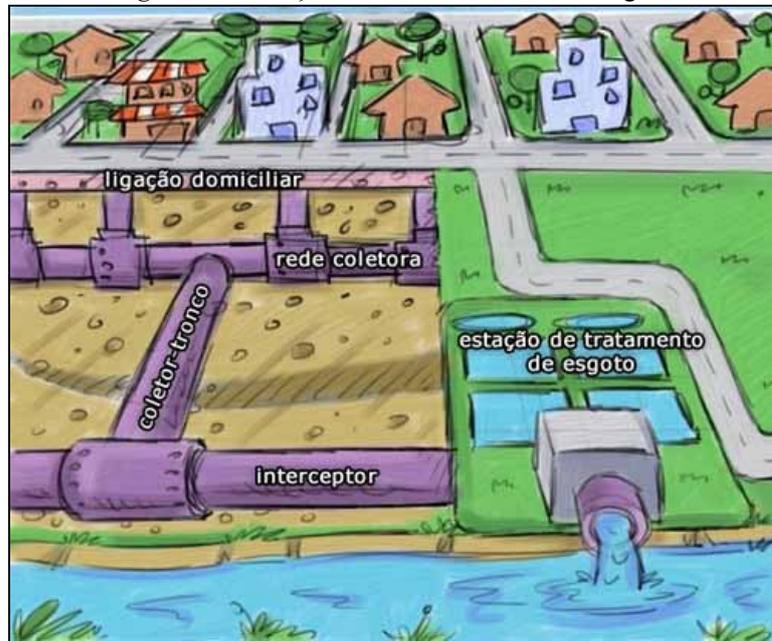
2.1.3 Redes Coletoras de Esgoto

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), o sistema coletor de esgotos é um conjunto de condutos e acessórios destinados a coletar e transportar os esgotos gerados nas edificações até chegar às Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Esse sistema é composto por:

- Rede coletora: são as canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios;
- Interceptor: canalizações com a função de receber coletores ao longo de seu caminhamento, não recebendo ligações prediais diretas;
- Emissário: tubulações com a finalidade de conduzir o esgoto para a ETE sem receber contribuições em marcha;
- Sifão invertido: tem a incumbência de transpor obstáculos encontrados pela tubulação de esgoto, funcionando sob pressão;
- Estação elevatória: conjunto de instalações com função de enviar os esgotos de uma cota mais baixa para outra mais alta;

- Estação de tratamento: instalações onde é feita a depuração dos esgotos, antes de seu lançamento;
- Corpo de água receptor: local onde são lançados os esgotos.

Figura 2: Ilustração de uma rede coletora de esgoto.



Fonte: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=50> (Data de acesso: Abril 2017).

2.2 MÉTODOS DESTRUTIVOS DE EXECUÇÃO DE REDES DE ÁGUA E ESGOTO

O método de escavação a céu aberto é considerado o mais tradicional no que se refere ao assentamento de tubulações. Nele são feitas escavações ao longo de todo o trecho que deve ser isolado de pessoas não autorizadas e com a sinalização de segurança exigida. Deverão ser feitos desvios no tráfego próximo à execução da obra, ou caso não exista essa possibilidade, o mesmo terá que estar orientado e bem sinalizado, adequando a velocidade do trânsito no local, entre outras medidas de segurança (DEZOTTI, 2008).

De acordo com Dezotti (2008), os métodos tradicionais apresentam pouco desenvolvimento tecnológico, sendo os principais equipamentos utilizados na execução dos serviços: retroescavadeiras, escavadeiras, pás carregadeiras, compactadores, máquina de corte de pavimento, caminhões e valetadeiras, sendo esta a última a mais atual inovação tecnologia do setor.

A NBR 12266/92 determina regras e condições necessárias para projeto e execução de valas para assentamentos de tubulações de água, esgoto ou drenagem urbana (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 1992). A implantação das redes e ramais de ligação de água

acaba ocorrendo, após a execução da pavimentação e dos passeios, gerando custos de recuperação e comprometendo sua função estrutural e funcional (AZAMBUJA, 2009).

Isto posto, fica claro que os métodos destrutivos apresentam a desvantagem de interferirem diretamente no ambiente, causando danos que muitas vezes não são quantificados pelas empresas que os utilizam como congestionamentos, risco de acidentes, poeira, emissão de gases poluentes por meio dos maquinários utilizados e etc. Estes fatos contribuem diretamente para que a utilização de métodos destrutivos se torne inviável em alguns casos, forçando assim a utilização de métodos não destrutivos.

2.3 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS DE EXECUÇÃO DE REDES DE ÁGUA E ESGOTO

Como a própria Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (2007) define, os métodos não destrutivos é a ciência referente à instalação, reparação e reforma de tubos, dutos e cabos subterrâneos utilizando técnicas que minimizam ou eliminam a necessidade de escavações.

Por muito tempo foi considerado apenas para situações especiais, quando não era possível a utilização do método de abertura de valas como, por exemplo, para evitar a destruição de áreas de conservação, ou superar obstáculos naturais. Mas com o passar dos anos e os avanços tecnológicos, vem se tornando cada vez mais uma atividade de aplicação geral, tanto pelo aspecto técnico-financeiro (viabilidade do projeto), quanto pelo aspecto social.

Alguns dos motivos para esse crescimento são (NAJAFI, 2016):

- Métodos mais versáteis e eficientes, diminuindo assim o prazo para execução;
- Necessitam de uma área de trabalho menos exposta, diminuindo o risco de acidentes para os trabalhadores e população local;
- Necessitam de menores espaços subterrâneos, minimizando a necessidade de interferir em tubulações existentes e abandonadas;

Segundo Najafi (2016), os métodos não destrutivos podem ser classificados em dois grupos principais: métodos não destrutivos de renovação (MNDR) e os métodos não destrutivos de implantação (MNDI).

2.3.1 Método Não Destrutivo de Renovação

Fazem parte dos métodos não destrutivos de renovação (MNDR), todas as técnicas utilizadas para renovação e/ou substituição de uma tubulação. Os métodos mais utilizados são:

- Inserção;
- Substituição de tubo por arrebentamento;
- Tubulação curada in loco.

2.3.1.1 Revestimento Por Inserção (SLIPLINIG)

Este método, como o próprio nome já diz, consiste na inserção de uma nova tubulação de diâmetro menor dentro de uma rede já existente e a injeção do espaço anular entre o tubo de revestimento e a rede (ABRATT, 2007). Entre as técnicas de MNDR, essa é provavelmente a mais simples de substituição de redes, e relativamente barata, apresentando apenas uma certa dificuldade, na injeção do espaço anular, que pode ser necessário para que a estrutura da rede existente ofereça resistência e aumente a rigidez desse espaço.

Entretanto este método pode causar uma significativa perda da capacidade hidráulica, devido à redução do diâmetro interno e por depender do coeficiente de rugosidade do tubo original e do novo. Essa técnica só pode ser usada quando a rede existente não possui assentamento de juntas, desalinhamentos e/ou questões de capacidade hidráulica.

De acordo com Najafi (2016), o método de revestimento por inserção pode ser dividido em duas categorias:

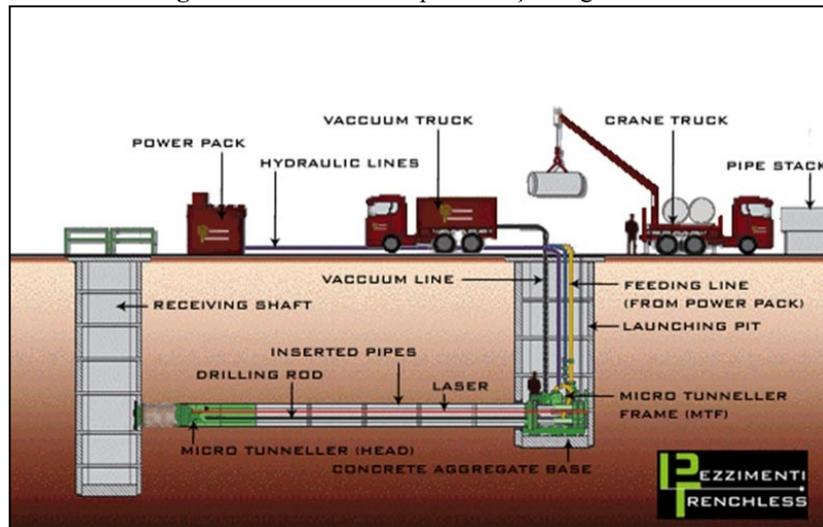
- *Revestimento por inserção contínua*, que consiste em empurrar ou puxar a nova tubulação de forma ininterrupta para dentro da tubulação antiga, desde o poço de acesso até o local desejado, conforme apresenta a Figura 3;



Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (2007)

- *Revestimento por inserção segmentado*, que envolve o uso de seções de tubo curtas pré-fabricadas, essas seções são passadas para dentro das tubulações através de poços de acesso onde cada tubo cravado, movimenta todos os segmentos previamente cravados, depois que o tubo segmentado é instalado, o espaços anular é injetado. Esse método é similar ao método usado em microtúnel e cravação de tubos, como mostra a Figura 4.

Figura 4: Revestimento por inserção segmentado.



Fonte: <http://www.pezztrenchless.com.au/methods/> (Data de acesso: Abril 2017)

A Tabela 3, apresenta as principais características do método de inserção.

Tabela 3: Principais características do método por inserção.

| Método | Variedade de diâmetro (mm) | Instalação máxima (m) | Material típico do revestimento | Aplicação típica |
|------------|----------------------------|-----------------------|---|---------------------------------------|
| Segmentado | 100 - 2500 | 300 - 600 | polietileno, polipropileno, PVC, fibra de vidro | Tubulação sob pressão e por gravidade |
| Contínuo | 100 - 1600 | 300 | polietileno, polipropileno, PVC | Tubulação sob pressão e por gravidade |

Fonte: Najafi (2016), com modificações do autor (2017).

2.3.1.2 Substituição de tubo por arrebatamento

A inserção de tubo por arrebatamento é usada principalmente para ampliar a capacidade de tubulações existentes, ou em casos em que seja impossível a renovação das tubulações existente, seja por seu mau estado ou para não causar um grande impacto na

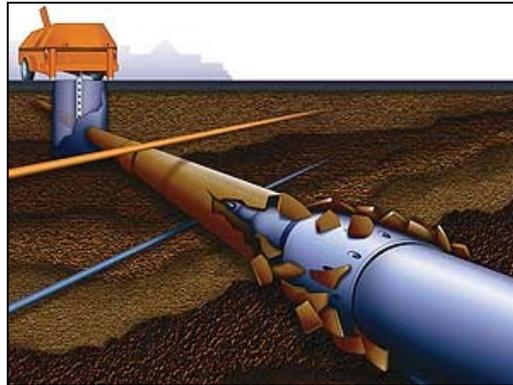
população (DEZOTTI, 2008). A Tabela 4 apresenta um breve resumo das características principais dos métodos de substituição por arrebentamento.

Tabela 4: Principais características do método de substituição por arrebentamento.

| Método | Variedade de diâmetro (mm) | Instalação máxima (m) | Material típico do revestimento | Aplicação típica |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|---|---------------------------------------|
| Substituição por arrebentamento | 100 - 1200 | 450 | polietileno, polipropileno, PVC, PEAD, fibra de vidro | Tubulação sob pressão e por gravidade |

Fonte: Najafi (2016), com modificações do autor (2017).

Figura 5: Processo de inserção de tubo por arrebentamento.



Fonte: <http://www.dynamicdraintechnologies.com/services/pipe-bursting> (Data de acesso: abril 2017)

Esse método consiste no uso de um martelo pneumático ou carga estática para quebrar o tubo existente e forçar os fragmentos do tubo antigo para o solo no mesmo instante em que um novo tubo é puxado ou empurrado até sua posição. Baseado no tipo de fragmentação do tubo as três variações principais são (NAJAFI, 2016):

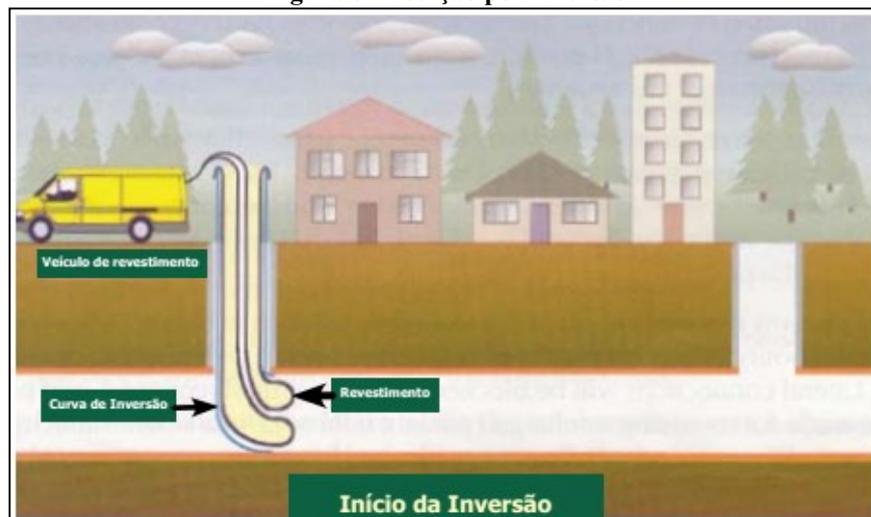
- Substituição por arrebentamento pneumática, onde um martelo é usado para romper a tubulação antiga.
- Substituição por arrebentamento estático, na qual a energia para romper o tubo é baseada na tração sem ação percussiva, com uma menor vibração e conseqüentemente uma operação mais silenciosa.
- Método de inserção, no qual um novo tubo é cravado na rede.

2.3.1.3 Tubulação curada *in Loco*

A instalação de tubulação curada *in loco* (CIPP) é a principal alternativa para renovação de tubulações pelo método não destrutivo, para fins estruturais e não estruturais.

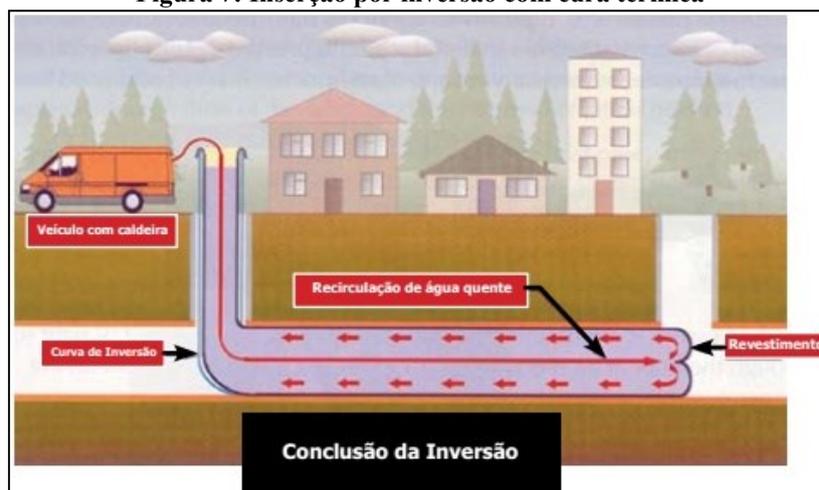
Basicamente, esse método se dá, com a fabricação de um tubo de tecido com o mesmo comprimento e diâmetro que a rede existente (Najafi, 2016). Sendo que a espessura do tubo de tecido varia de acordo com o processo de instalação, serviço final, e propriedades físicas do laminado de CIPP acabado. Depois de inserido o tubo de tecido e pressionado contra a parede da tubulação existente através da injeção de água ou ar. Pelo fato de o tecido ser maleável, ele é capaz de preencher trincas e fechar lacunas.

Figura 6: Inserção por inversão



Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (2007)

Figura 7: Inserção por inversão com cura térmica



Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (2007).

Segundo Najafi (2016), a instalação de tubulação curada in loco possui dois itens principais: um tubo de tecido flexível; e um sistema de resina termo consolidante. As resinas mais comumente utilizadas são o poliéster insaturado, o éster vinílico e o epóxi. Essa resina na maioria dos casos é o item estrutural principal.

As propriedades físicas do CIPP possibilitam que o mesmo tenha uma gama de aplicações considerável, conforme mostra na Tabela 5.

Tabela 5: Resumo de aplicações do CIPP e possíveis limitações.

| Tipo de tubulação | Apropriado |
|--|-------------------|
| Tubulações retas | Sim |
| Tubulações com seções transversais variáveis | Sim |
| Tubulações com deformações | Sim |
| Tubulações de pressão | Sim |
| Tubulações com conexões laterais | Sim |

Fonte: Najafi (2016), com modificações do autor (2017).

Apesar de ser um método versátil, a principal desvantagem do método de revestimento por inserção com cura in loco, é a necessidade da paralisação total do serviço da rede existente durante a instalação e cura (DEZOTTI, 2008).

2.3.2 Método Não Destrutivo de Implantação

Os métodos não destrutivos de implantação (MNDI) são todas as técnicas usadas para a instalação de novas redes de tubulações sem a necessidade da abertura de uma vala a céu aberto. Podendo ser aplicados na instalação de tubos de pressão e por gravidade, galerias de drenagem e estruturas de drenagem sob rodovias e ferrovias e travessias fluviais (NAJAFI, 2016). Entretanto, cada tipo de MNDI, possui características distintas em relação a sua execução, onde eles são ou não tripulados e se sua escavação é manual ou mecanizada. Os MDI mais usuais são:

- Método de microtúnel;
- Método de perfuração horizontal direcional;
- Cravação de tubos.

2.3.2.1 Método de Microtúnel

Por ser bastante preciso, o método de microtúnel é usado principalmente para a instalação de tubulações por gravidade como esgotos sanitários ou pluviais. Essa precisão se dá ao fato de as máquinas de perfuração de micro túnel (MTBMs) serem guiadas por laser e controladas remotamente. Nesse método os tubos são instalados, por meio de um sistema de pistões hidráulicos posicionados no poço de entrada, simultaneamente à escavação e remoção do solo (DEZOTTI, 2008), conforme apresentado na Figura 8.

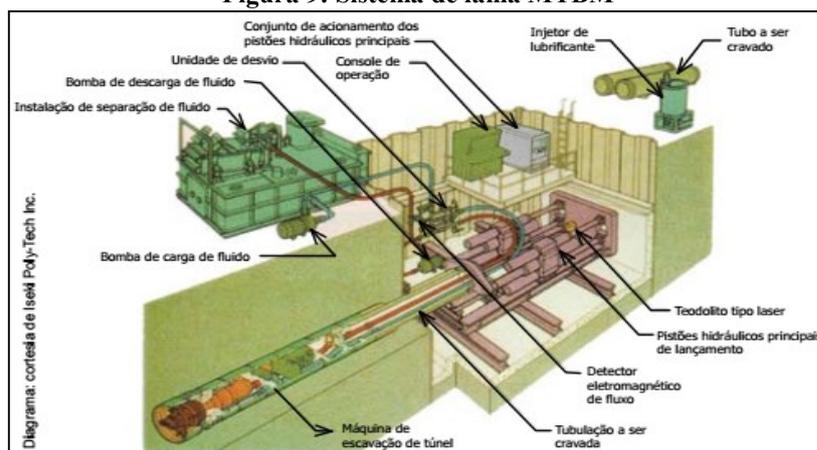
Figura 8: Processo de instalação do método de micro túnel.



Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (2007).

Devido ao seu modo de operação, o micro túnel (MT) pode ser dividido em dois grandes grupos: método de lama; e o método de trado. No método de lama, como o próprio nome diz, a lama é bombeada para frente do MTBM. O material escavado é misturado com a lama e levado por meio de um tubo até os tanques de sedimentação que estão na superfície, onde ocorre a separação do material escavado da lama, conforme Figura 9. Já no método de trado, o material escavado é levado até o poço de entrada em um tubo camisa e então levantado até a superfície por um guindaste. Contudo, o método de trado não é muito usual, devido ao fato do método de lama ser mais versátil, onde este protege a face do túnel com a pressão da lama e funciona bem sob lençol freático e terrenos instáveis (DEZOTTI, 2008).

Figura 9: Sistema de lama MTBM



Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (2007).

A Tabela 5 apresenta as principais vantagens e limitações que o método não destrutivo de microtúnel possui.

Tabela 6: Principais vantagens e limitações dos micros túneis.

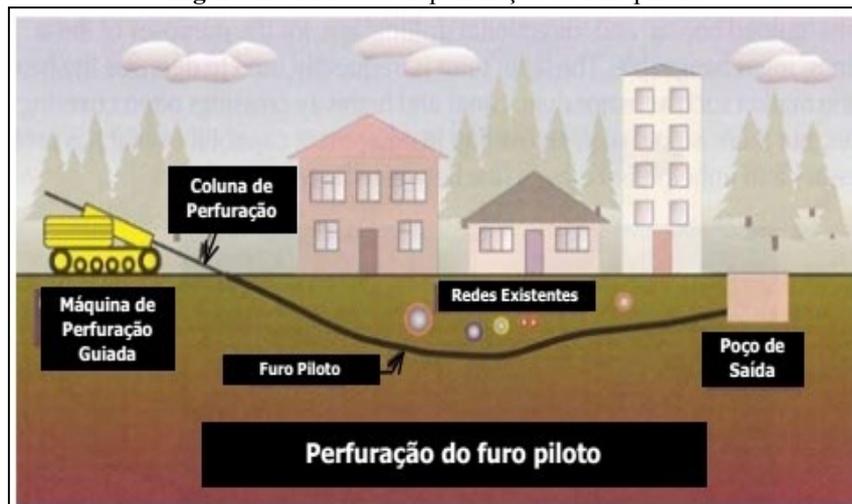
| Vantagens | Limitações |
|--|---|
| Permite a instalação de tubos com bastante precisão no alinhamento e na declividade. | Incapacidade de utilizar tubos flexíveis ou com baixa resistência, como por exemplo, PVC. |
| Pode ser usado em vários tipos de solos. | Tem dificuldades em superar obstruções, como matacões e raízes. |
| Pode ser utilizado sob lençol freático e em terrenos instáveis. | Alto custo de equipamentos. |
| Permite instalar tubos em grandes profundidades. | Necessidade de construção de poço de entrada e saída. |
| Não necessita que trabalhadores entrem no túnel. | |

Fonte: Najafi (2016), com modificações do autor (2017).

2.3.2.2 Método de perfuração horizontal direcional

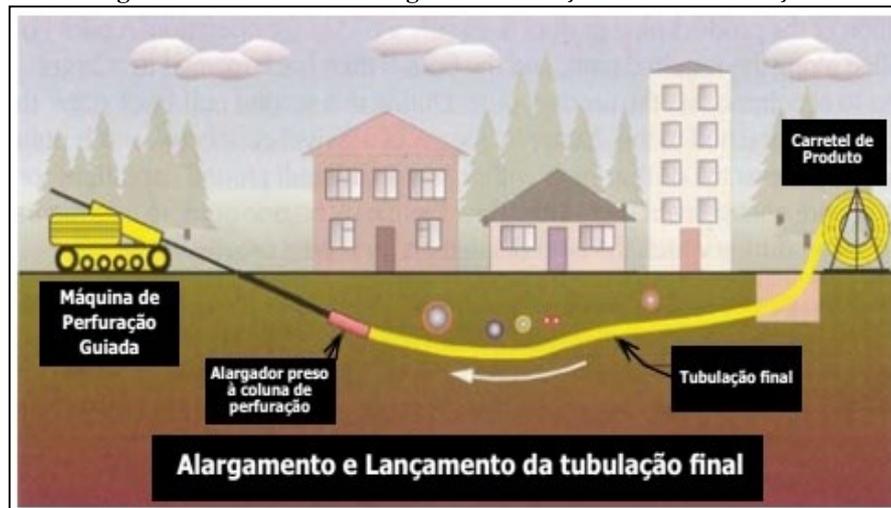
De acordo com Najafi (2016), os métodos de perfuração horizontal direcional, também conhecido como HDD, são assim chamados por terem a capacidade de informar a localização da cabeça de corte e guiá-la durante o processo de perfuração. Esse método é um sistema dirigível usado principalmente para instalação de tubulações de pressão, conduítes e cabos. Ele envolve um processo de duas etapas:

1. Perfuração de um furo piloto de pequeno diâmetro, no centro no traçado desejado, conforme a Figura 10:

Figura 10: Processo de perfuração de furo piloto.

Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (2007).

2. Alargamento do furo piloto até o diâmetro desejado, para a instalação do tubo de serviço, conforme a Figura 11:

Figura 11: Processo de alargamento e lançamento da tubulação

Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (2007)

Tanto no processo de perfuração do tubo piloto, quanto no alargamento, pode existir a necessidade da utilização de um fluido de perfuração. Algumas das principais funções desse fluido de perfuração são: levar o material escavado para superfície, diminuir o atrito entre o tubo e a parede do furo, e prevenir desmoronamento estabilizando a perfuração. Segundo Dezotti (2008), os fluidos de perfuração mais usuais são: bentonita, polímeros e água.

Os métodos não destrutivos de HDD, podem ser aplicados em diversos tipos de solos, como por exemplo: solos argilosos, arenosos, pedregulhos e, em certo casos e dependendo da cabeça de perfuração utilizada em formações rochosas. Sendo classificadas em três categorias principais de acordo suas áreas de aplicação típica: HDD de grande diâmetro (Maxi-HDD), HDD de médio diâmetro (Midi-HDD) e HDD de pequeno diâmetro (Mini-HDD). Algumas de suas características típicas estão apresentadas na Tabela 7 (Modificado de NAJAFI, 2016).

Tabela 7: Características típicas de métodos de HDD.

| Parâmetro | Mini-HDD | Midi-HDD | Maxi-HDD |
|------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Diâmetro | 50-300 mm | 300-600 mm | 600-1.500 mm |
| Profundidade | < 15 m | 10 a 25 m | 25 a 60 m |
| Comprimento | < 180 m | 180 a 270 m | até 3.000 m |
| Aplicação típica | Conduítes de energia e telecomunicações e distribuição de água e gás | Travessia de rios, lagos e rodovias | Travessia de rios, lagos e rodovias |

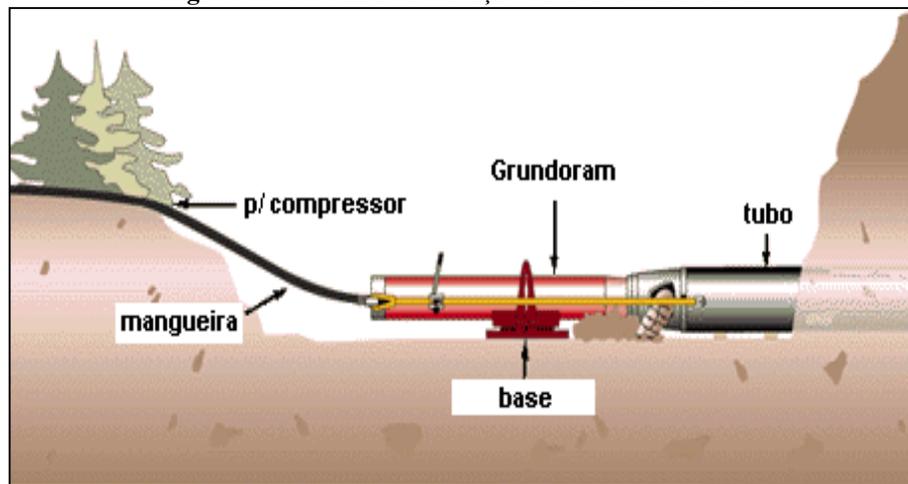
Fonte: Najafi (2016), com modificações do autor (2017).

2.3.2.3 Método de Cravação de Tubos

A cravação de tubo é mais indicado para travessia de estradas de ferro, nele se utiliza força dinâmica e a energia emitida por um martelo percussão, preso à ponta do tubo. Isso permite a instalação de grandes tubos camisas de aço, em vários tipos de solos, exceto os rochosos. Nesse método, a instalação começa em um poço de acesso em direção a um poço de saída, de maneira que o tubo é instalado, ao mesmo tempo em que o túnel é escavado (NAJAFI, 2016).

Segundo Dezotti (2008), a cravação de tubos pode ser dividida em dois processos: frente fechada e a frente aberta. Com o método de cravação de tubo de frete fechada, uma cabeça cônica é soldada à ponta dianteira do primeiro tubo a ser cravado. Essa cabeça adentra e comprime o solo ao seu redor enquanto o tubo camisa é cravado, esse método pode ser usado em tubos com até 200mm de diâmetro. Já na técnica de cravação de tubo de face aberta, a frente do tubo de aço ou conduíte permanece aberta, isso permite que o tubo camisa seja instalado de maneira que cause uma compactação mínima no solo. Sendo esse método indicado para tubos com dimensões maiores que 200mm, conforme mostra na Figura 12.

Figura 12: Processo de cravação de tubo de face aberta.



Fonte: http://www.sondeq.com.br/pt/nd_grundram.php (Data de acesso: Abril 2017).

Após finalizar o processo de instalação de tubo camisa, o material escavado que está dentro do tubo é removido pela aplicação de ar comprimido ou água. Para tubos com maiores diâmetros podem ser utilizadas roscas helicoidais para retirada do material escavado.

Figura 13: Tubos de camisa de aço e roscas helicoidal

Fonte: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/5/execucao-de-coletores-tronco-224682-1.aspx>
(Data de acesso: Abril 2017)

As principais vantagens e limitações do método de cravação de tubo estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Principais vantagens e limitações do MNDI de cravação de tubo.

| Vantagens | Limitações |
|--|---|
| Efícaz para instalar tubos de médio e grande diâmetro | Quantidade mínima de controle da linha e do greide, tornando a configuração inicial de suma importância. |
| Tamanho de poços versáteis, podendo assim se adaptar melhor a cada situação. | |
| Capacidade de lidar com quase todos os tipos de condições de solo | Altos níveis de poluição sonora, caso na seja instalado um sistema de isolamento acústico. |
| Não exige o uso de estrutura de reação, pois a cravação é devido a impulsos induzidos no tubo pelo martelo pneumático. | Pode ocasionalmente causar uma perturbação significativa no solo, caso exista um bloqueio na extremidade do tubo instalado. |
| Pode ser usado em instalações de tubos na vertical e em ângulo | |

Fonte: Najafi (2016), com modificações do autor (2017).

2.3.3 Quadro de resumo dos MND

Após toda a pesquisa bibliográfica, podem-se resumir os MND conforme as tabelas 9 e 10, que se seguem:

Tabela 9: Principais vantagens e limitações do MNDR.

| Tabela 9: Principais vantagens e limitações dos MNDR | | | | | |
|--|--|--|---|--|--|
| Método de Injeção | | Método Substituição Por Arrabentamento | | Método Cura In Loco | |
| Vantagens | Limitações | Vantagens | Limitações | Vantagens | Limitações |
| Em relação aos MND, o revestimento por injeção não exige investimentos em equipamentos especializados caros. | Rede de abastecimento. É necessário a aprovação da agência regulatória referente a todos materiais em contato com a água potável. Redução do diâmetro do tubo (Entretanto, as melhores características hidráulicas do tubo de revestimento, amenizam esta perda de área transversal). | Representa um meio econômico de substituição e ou aumento de diâmetro de redes por garantia e ou pressurizada, com muito pouca ou nenhuma escavação. | Ramais e redes auxiliares devem ser desacoplados antes da substituição da rede principal e religados posteriormente a nova rede. Normalmente, escreve-se essa atividade através de uma pequena escavação. A quantidade e frequência de ligações podem influenciar a viabilidade econômica da técnica. | Normalmente não existe a necessidade de injeção, devido ao encaste justo do CIPP contra o tubo existente. | O tubo deve ser feito especialmente para cada projeto. |
| É uma técnica conceitualmente simples que pode ser aplicada a tubulações de pressão e por gravidade. | Redução do diâmetro do tubo (Entretanto, as melhores características hidráulicas do tubo de revestimento, amenizam esta perda de área transversal). | Grande variedade de técnicas no mercado, baseadas em sistemas pneumáticos, hidráulicos ou de micro-túnel. | A maioria das técnicas está limitada a substituição de redes de materiais quebradiços, tais como ferro fundido, tubos cerâmicos, concreto não armado, cimento amianto e etc. Algumas foram desenvolvidas para uso em materiais duros, inclusive aço. | Permite a instalação de tubulações com diferentes configurações geométricas: tubulações retas, com deformações, com conexões laterais, com seções transversais variáveis e de pressão. | O custo das instalações de CIPP, em comparação aos outros MND, pode ser um problema. |
| Pode ser usado para fins estruturais e não estruturais. | Necessidade de injeção para tubos de flanco por gravidade. | | Depende da disponibilidade de informações específicas sobre os materiais originais de escavação da rede e do estado em que a mesma se encontra. | | |
| O método é muito mais barato do que a instalação de uma nova linha, especialmente a medida que aumenta a profundidade do enterramento. | É necessário realizar escavação a céu aberto e lixeiras domiciliares. Onde não é possível acesso a poço de visita, é necessário a escavação de poços durante o processo de instalação. | | | | |

Fonte: O Autor (2017).

Tabela 10: Principais vantagens e limitações do MNDI.

| Tabela 10: Principais vantagens e limitação do MNDI | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|
| Micro tunel | | Furo Horizontal Direcional | | Cravação de Tubos | |
| Vantagens | Limitações | Vantagens | Limitações | Vantagens | Limitações |
| Permite a instalação de tubos com bastante precisão no alinhamento e na declividade. | Incapacidade de utilizar tubos flexíveis ou com baixa resistência, como por exemplo, PVC. | Capacidade de dirigibilidade. | O tubo utilizado deve apresentar suficiente resistência axial. | Eficaz para instalar tubos de médio e grande diâmetro | Quantidade mínima de controle da linha e do greide, tomando a configuração inicial de suma importância. |
| Pode ser usado em vários tipos de solos. | Tem dificuldades em superar obstruções, como matações e raízes. | Não necessita execução de poço de entrada e saída. | | Tamanho de poços versáteis, podendo assim se adaptar melhor a cada situação. | Altos níveis de poluição sonora, caso na seja instalado um sistema de isolamento acústico. |
| Pode ser utilizado sob lençol freático e em terrenos instáveis. | Alto custo de equipamentos. | Pode ser utilizado sob lençol freático e em terrenos instáveis. | | Capacidade de lidar com quase todos os tipos de condições de solo | |
| Permite instalar tubos em grandes profundidades. | Necessidade de construção de poço de entrada e saída. | O tempo de instalação de equipamento e menor comparado aos demais métodos não detrativos. | Em instalação de tubulações em pequena profundidade é possível ocorrer movimentação do solo. | Não exige o uso de estrutura de reação de empuxo, pois a cravação é devido a impulsos induzidos no tubo pelo martelo pneumático. | Pode ocasionar uma perturbação significativa no solo, caso exista um bloco na extremidade do tubo instalado. |
| Não necessita que trabalhadores entrem no túnel. | | Pode alcançar de um único ponto de lançamento o maior comprimento de instalação, em relação a qualquer outro método. | | Pode ser usado em instalações de tubos na vertical e em ângulo | |

Fonte: O Autor (2017).

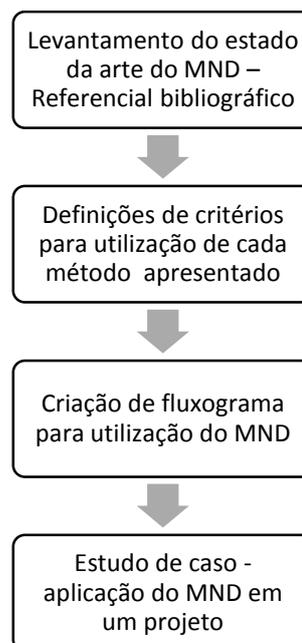
3 METODOLOGIA

3.1 DESENHO DO ESTUDO

O estudo foi desenvolvido sob a perspectiva de elaboração e aplicação de uma ferramenta para avaliação do uso de MND em obras de redes de água e esgoto. Assim, após definição e elaboração foi aplicada em dois projetos específicos, no sentido de validar a metodologia, desenvolvida a partir dos conhecimentos teóricos da pesquisa, apresentando a consolidação da teoria e prática, no que cabe à explanação e compreensão do processo construtivo com MND em obras de saneamento.

O estudo de caso foi possível após a pesquisa abordar os principais MND e para qual situação é indicada a sua utilização em obras de saneamento, possibilitando uma análise sobre quais circunstâncias é conveniente ou não a utilização dos métodos não destrutivos na execução de obras de abastecimento de água e esgotamento sanitário, dentro da abordagem de obras localizadas no Estado do Tocantins, apresentando um fluxograma orientativo de como desenvolver essas técnicas, conforme organização que mostra a sequência de etapas que foram realizadas no presente trabalho, demonstradas a seguir na figura 14:

Figura 14: Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: o autor (2017).

O passo inicial é referente à pesquisa bibliográfica. O segundo passo está relacionado à definição de critérios para a escolha de MND em obras de redes de água e esgoto, que foi feito a partir dos estudos de Celestino (2016) e Najafi (2016), que afirma que essa avaliação dos projetos de obras com MND em redes de água e esgoto deve ser feita sob a seguinte organização: tipo de projeto, métodos e critérios (técnicos e gerais), a partir da definição do projeto na perspectiva de renovação/reabilitação ou instalação de tubulações de esgoto e do sistema de abastecimento de água (VER FIGURA 16).

O terceiro passo diz respeito à elaboração de um fluxograma para aplicação em obras com os MND em redes de água e esgoto, sendo realizado a partir das etapas de classificação dos métodos e estabelecimento de critérios para a utilização de métodos não destrutíveis nas obras de saneamento, tendo como requisitos: estudo local da obra; aspectos sociais e ambientais; características técnicas (profundidade, amplitude, extensão, equipamentos, etc), com base nas etapas de análise, escolha e estabelecimento de diretrizes a serem seguidas na execução de projetos de renovação/reabilitação ou instalação de tubulações de esgoto e do sistema de abastecimento de água, sendo que esse fluxograma foi elaborado e aplicado em dois projetos respectivos selecionados pelo pesquisador (VER FIGURA 17).

3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho, no seu procedimento metodológico, foi feito a partir de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, que ocorreu em Palmas/TO, no segundo semestre de 2017, com a realização da revisão de literatura, elaboração de fluxograma e análise qualitativa, haja vista que a pesquisa está focada em um estudo técnico e não econômico, tendo como desenvolvimento do estudo de caso dois projetos de saneamento relativos ao município de Porto Nacional/TO e Palmas/TO, conforme a disponibilidade de informações cedidas pela empresa BRK Ambiental Saneatins, que contribuiu com todas as informações necessárias para que se alcancem os objetivos propostos na pesquisa.

3.3 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo da presente pesquisa foram dois projetos de saneamento relativos ao município de Porto Nacional/TO e Palmas/TO, cedidos pela empresa BRK Ambiental Saneatins, nos quais foi aplicada a ferramenta de análise para verificar a viabilidade técnica de uso de MND em sua execução, de modo a identificar qual o método/técnica mais indicada para o desenvolvimento das respectivas obras.

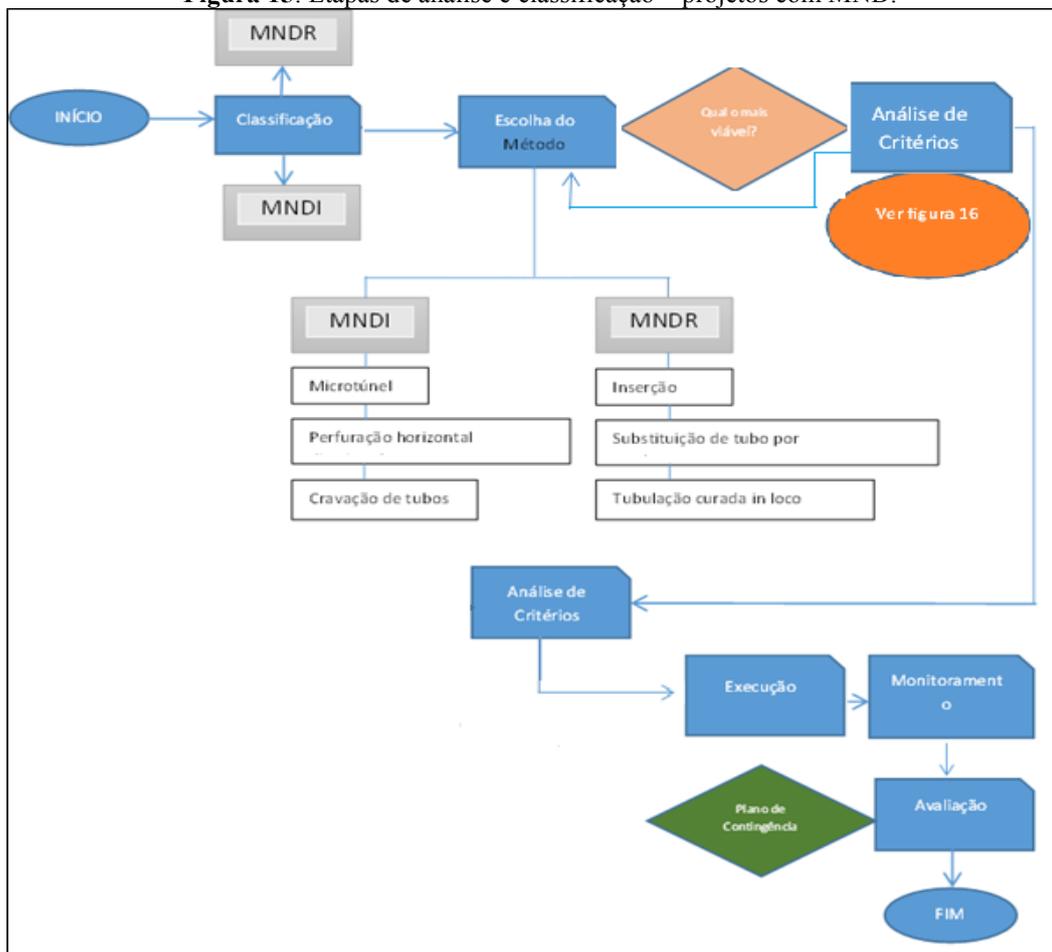
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados advindos do estudo realizado, mostrando e discutindo cada etapa executada na pesquisa. O processo teve início com a pesquisa bibliográfica, que foi seguida pela elaboração de fluxograma de classificação das etapas de análise dos projetos, estabelecimento de critérios para escolha dos métodos mais indicados em cada caso, elaboração de fluxograma e escolha de projeto para aplicação prática, gerando os resultados que aqui serão descritos e discutidos.

4.1 ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ETAPAS DE PROJETO COM MND

No que cabe à classificação das etapas de análise de projetos voltados para a utilização de MND, foi elaborado um fluxograma para propiciar a visão integral do planejamento das obras, com base na pesquisa bibliográfica (ABRATT, 2017); (CELESTINO, 2016); (NAJAFI, 2016), destacando as seguintes etapas: classificação; escolha do método e análise de critérios; execução; monitoramento; e avaliação, conforme figura 15 a seguir:

Figura 15: Etapas de análise e classificação – projetos com MND.



Fonte: O Autor (2017), adaptado de Najafi (2016).

Esse fluxograma de organização foi elaborado no sentido de propiciar a visão geral das etapas de análise, bem como a escolha e estabelecendo diretrizes a serem seguidas, com base no estudo preliminar do contexto da obra, haja vista que essa instrução serviu para a elaboração do fluxograma final para aplicação prática no desenvolvimento do estudo de caso (CELESTINO, 2016).

As etapas destacadas denotam a organização que todo projeto deve ter, abrangendo tanto as perspectivas técnicas, quanto as ambientais e sociais, no que cabe ao presente estudo: as obras de saneamento com métodos não destrutivos. Assim, com base em Najafi (2016), os projetos de MND tem seu início na classificação do tipo de projeto, se é para obras de implantação (MNDI) ou recuperação/renovação/reabilitação (MNDR) de tubulações de esgoto e do sistema de abastecimento de água.

Após a classificação do tipo de obra, deve ser feita a escolha do método/técnica a ser utilizada, sendo que essa escolha é feita usando os critérios estabelecidos para cada método/técnica, avaliando sua viabilidade de execução e efetividade, sendo etapas que se complementam reciprocamente, pois cada método/técnica construtiva deve ser analisada de acordo com seus critérios e exigências de viabilidade (ABRATT, 2017).

Com a classificação e escolha de método/técnica feita, com base nos critérios estabelecidos, inicia-se o processo de execução da obra, que deve contar com etapas de monitoramento e avaliação antes de sua finalização, pois o monitoramento do processo construtivo é que vai dar conta do cumprimento de prazos, normas técnicas e medidas preventivas, custos, intercorrências (acidentes e incidentes), materiais (estoque e utilização), bem como da qualidade e efetividade da obra, dentro de sua finalidade.

Toda obra precisa ser monitorada e avaliada continuamente, contando com um plano de contingenciamento para fins de aplicação de medidas corretivas em diversas situações decorrentes das etapas do projeto, principalmente em caso de acidentes e incidentes envolvendo a execução do mesmo.

4.2 CRITÉRIOS PARA A EXECUÇÃO DE PROJETOS COM MND

Concernente ao estabelecimento de critérios, a partir da pesquisa bibliográfica (ABRATT, 2017); (CELESTINO, 2016); (NAJAFI, 2016), compreendeu-se que os métodos devem ser avaliados considerando o contexto de cada obra, ou seja, o mapeamento mínimo da área a ser construída, a partir da localização do seu percurso em âmbito físico, ambiental e social, ou seja, afetará avenidas, rios ou córregos, pontes, terrenos residenciais ou comerciais, dentre outros.

Dessa forma, se absorve que os projetos relativos à execução de obras de renovação/reabilitação ou instalação de tubulações de esgoto e do sistema de abastecimento de água devem partir de uma concepção teórico-metodológica, destacando o caminho a ser trilhado na busca por resultados qualitativos e efetivos.

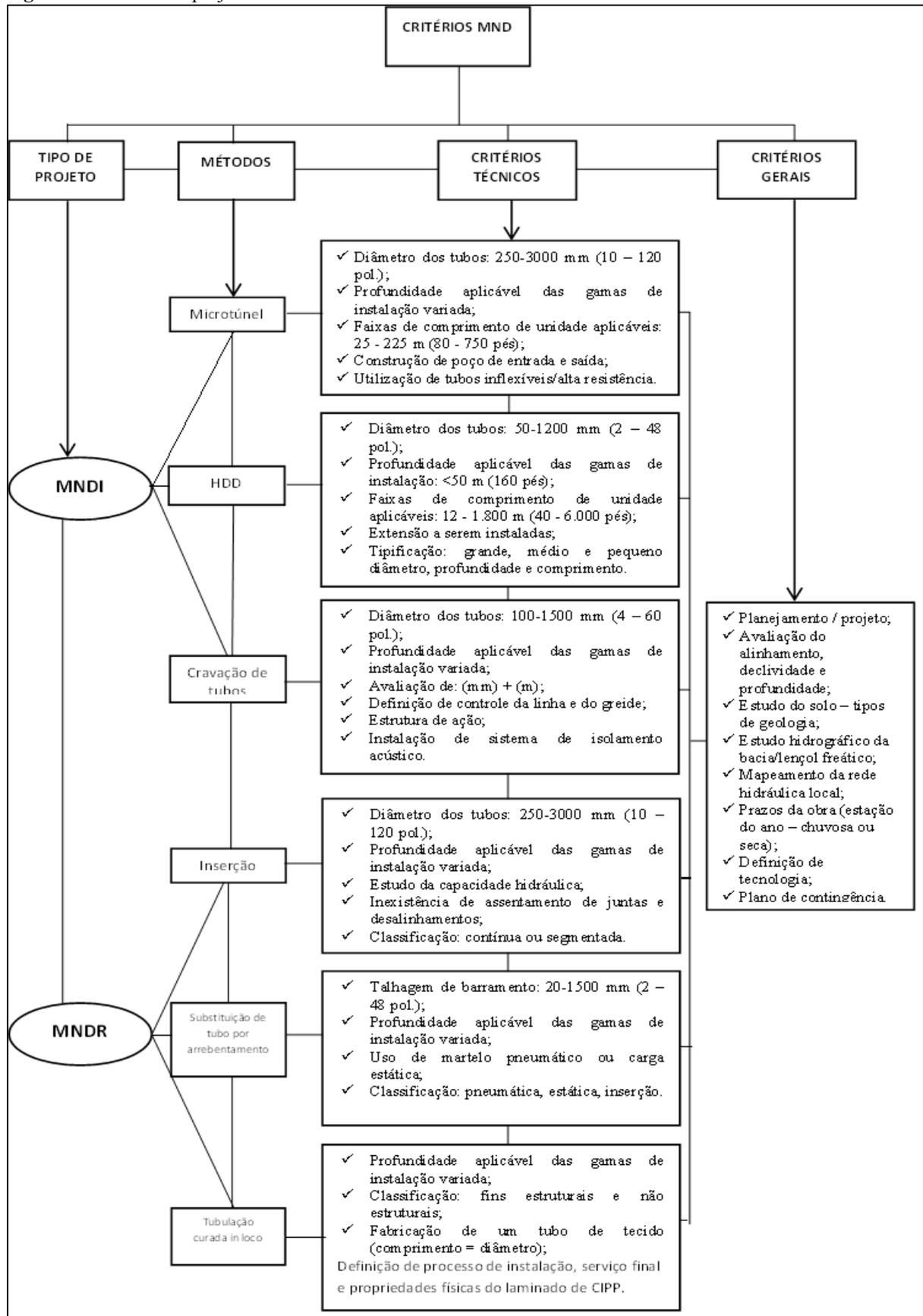
Nesse sentido, o projeto deve reunir todas as informações técnicas respectivas, definindo assim as diretrizes para o uso dos métodos mais apropriados em cada caso, considerando o tipo de projeto, os principais métodos de MND e os critérios para a execução dessa obra de renovação/reabilitação ou instalação de tubulações de esgoto e do sistema de abastecimento de água.

De acordo com Alberto (2012), após o estudo da contextualização da obra faz-se necessário cumprir alguns requisitos para a elaboração do projeto e sua execução, para isso critérios devem ser estabelecidos, usando as fontes primárias, que são as Normas Técnicas (ABNT), bem como fontes secundárias que são os estudos já desenvolvidos com relação à abordagem de aplicação do projeto, que nesse caso são obras de renovação/reabilitação ou instalação de tubulações de esgoto e do sistema de abastecimento de água.

Assim, a etapa de escolha e definição dos métodos/técnicas a serem usadas é feita concomitante à análise dos critérios de cada um, pois para se definir qual procedimento é mais viável para cada obra, devem-se avaliar as variáveis técnicas, ambientais, sociais e econômicas que envolvem o projeto, sendo que não é foco do presente estudo a viabilidade econômica, mas os impactos ambientais e sociais que podem ser minimizados a partir da utilização das obras com métodos não destrutivos.

Para tanto, foram estabelecidos nessa etapa, a partir da concepção de Celestino (2016), alguns critérios para a definição e execução de obras de saneamento, conforme figura 16 a seguir:

Figura 16: Critérios – projetos de MND.



Fonte: O Autor (2017), adaptado de Najafi (2016).

A figura 16 mostra que a escolha e definição dos métodos não destrutivos devem seguir parâmetros, os quais servem para o estabelecimento de critérios que orientam e subsidiam as obras relativas aos MND. Desse modo, a partir da classificação do projeto, conforme figura 15 exposta anteriormente, com base na concepção de Celestino (2016), estabeleceram-se critérios técnicos e gerais para a utilização dos MND, organizados de acordo com o tipo de projeto (MNDI e MNDR) e os métodos/técnicas dentro de cada respectiva tipificação.

Dessa forma, a ilustração denota critérios técnicos porque são específicos de cada método, sendo importantes para avaliar o mais adequado a cada situação, propiciando a análise da viabilidade de execução dos projetos. Por conseguinte, também são apresentados critérios entendidos como gerais, os quais embasam desde o planejamento e elaboração do projeto até sua efetiva execução, sendo imprescindíveis para nortear os projetos com MND.

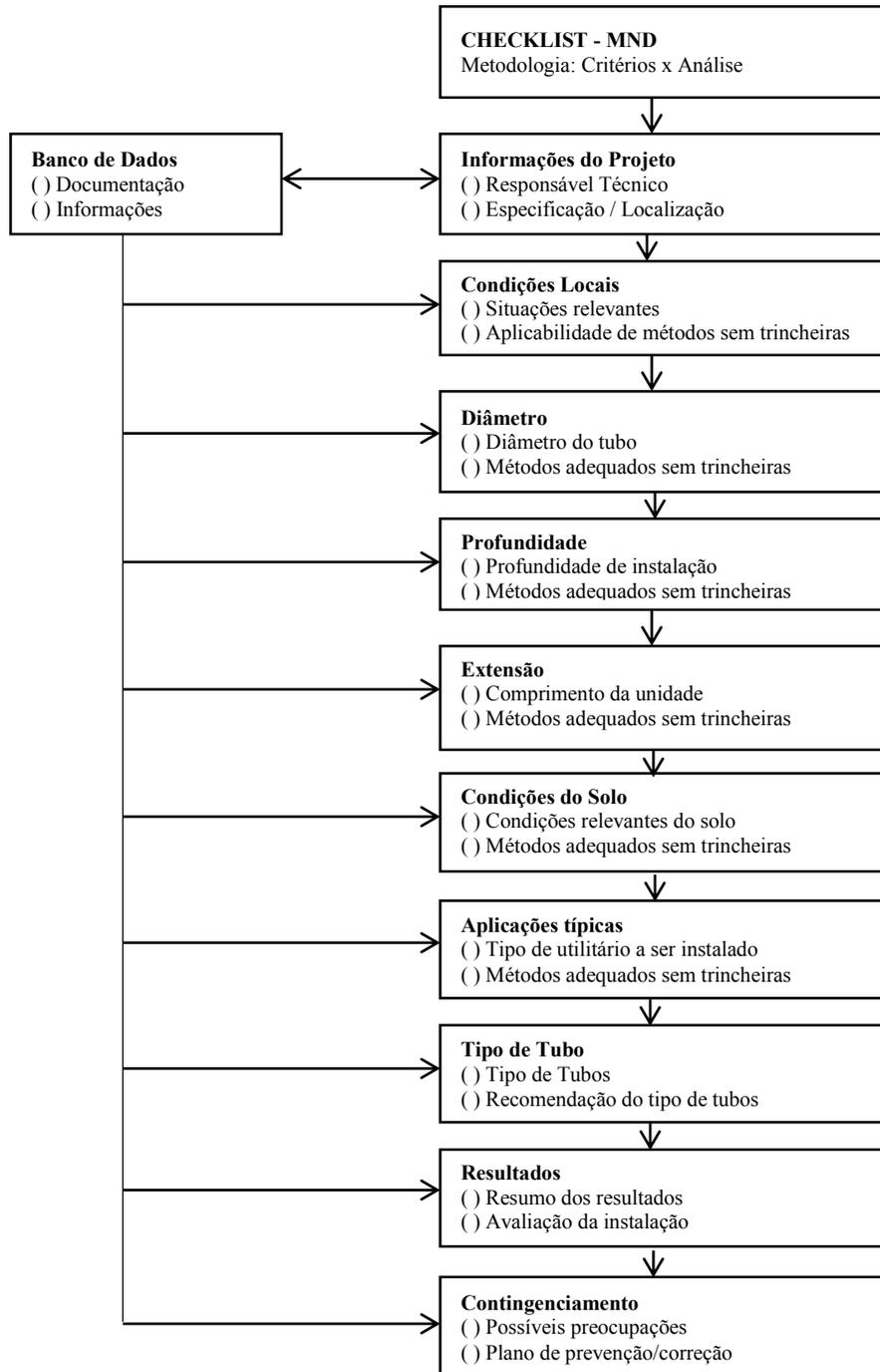
4.3 FLUXOGRAMAS PARA APLICAÇÃO PRÁTICA EM PROJETOS COM MND

Com as etapas do projeto definidas e os critérios estabelecidos, elaborou-se um fluxograma que é dividido em dois cortes: verificação do projeto (checklist) – MND; e execução do projeto – MND, sendo que o primeiro se prende às peculiaridades que devem ser consideradas na execução de um projeto com MND, já o segundo se aplica à abrangência geral das condições de execução do projeto, de acordo com Najafi (2016).

Dessa forma, o fluxograma foi elaborado considerando que a execução de projetos com MND deve desenvolver processos construtivos baseados nos critérios estabelecidos, propiciando uma visão ampla do planejamento da obra, aqui destacados como: condições locais; diâmetro do tubo; profundidade de instalação; comprimento da unidade; condições do solo e aplicações típicas, conforme disposto na figura 16, denotando informações sobre o possível tipo de tubo a ser utilizado para o projeto, resumo do processo de tomada de decisão e possíveis verificações que devem ser abordadas durante a fase inicial de planejamento da obra (ALBERTO, 2012).

Nesse contexto, o fluxograma foi elaborado no intuito de permitir ao Engenheiro responsável pelo projeto e/ou obra a devida análise de todo o projeto de travessia, bem como seus critérios antes do início da instalação da rede, como se pode ver na figura 17, a seguir:

Figura 17: Fluxograma I (CHECKLIST) – Aplicação em projetos com MND.



Fonte: O Autor (2017), adaptado de Najafi (2016).

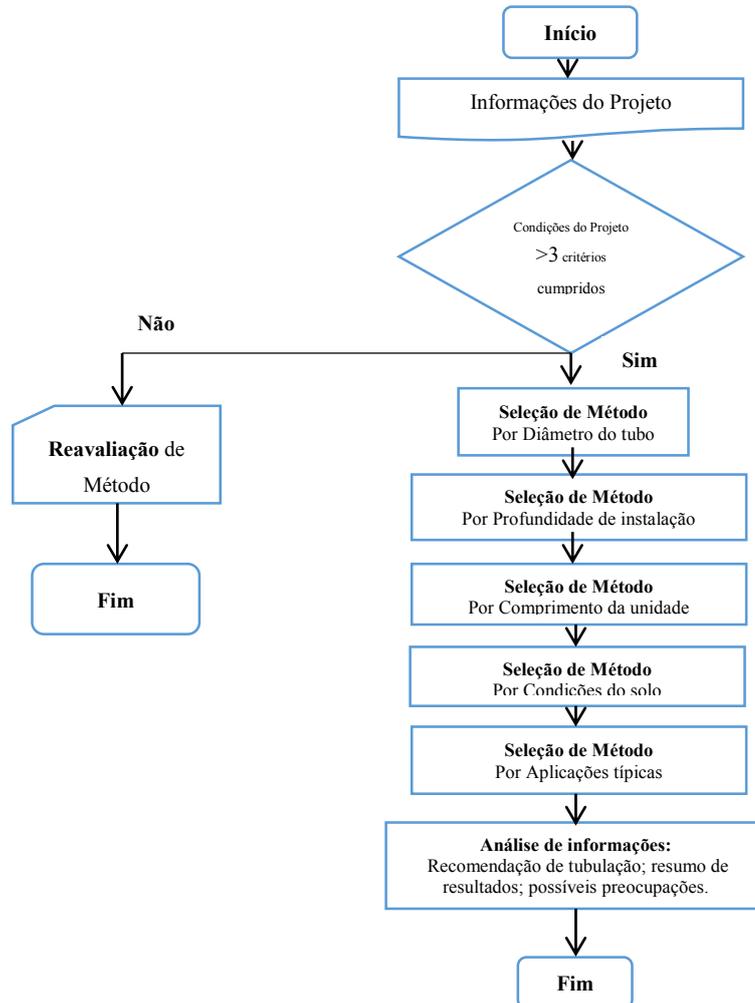
Com esse fluxograma inicial pode-se verificar preliminarmente as condições do projeto, destacando que o estudo de caso focou na escolha do método/técnica apropriada para aplicação em um projeto determinado, selecionado a partir das informações cedidas pela empresa BRK Ambiental.

Assim, a utilização desse checklist serve para fazer a contextualização da obra, ou seja, reunir todos os dados relativos à obra, a partir de sua documentação, que deve estar legalizada nos órgãos responsáveis, e em seguida, fazer a verificação de existência dos seguintes itens na obra: informações do projeto; condições locais; condições técnicas (diâmetro, extensão, profundidade, solo, aplicações típicas, tipo de tubo); resultados a serem alcançados; e contingenciamento, sendo que esses dados são verificados usando a metodologia de análise com base nos critérios definidos por Najafi (2016), sendo imprescindíveis para a aplicação da segunda ferramenta, conforme figura 18.

Para tanto, faz-se necessário enfatizar que a base teórica-metodológica do fluxograma seguiu a concepção dos estudos realizados por Celestino (2016), sendo que foi feita a avaliação usando a metodologia comparativa de critérios x análise, no sentido de propiciar a escolha do método para aplicação no projeto selecionado. Assim, foram seguidas todas as etapas definidas no planejamento de execução de projetos com MND, com base na pesquisa bibliográfica, e fluxogramas anteriores de organização do estudo, conforme figuras 15 e 16, enfatizando cada etapa de desenvolvimento de avaliação de projetos com MND chegando-se aos resultados de classificação e escolha do método/técnica mais viável para utilização (CELESTINO, 2016).

Em seguida, foi elaborada a segunda parte do fluxograma de aplicação no projeto, contando com início, meio (ponto de corte+análise=escolha de método) e fim da avaliação do processo de utilização de MND em obras de saneamento, como se pode ver na figura 18, a seguir:

Figura 18: Fluxograma II (Escolha/Método) – Aplicação em projetos com MND.



Fonte: O Autor (2017), adaptado de Najafi (2016).

Com esse fluxograma se completou a realização da verificação da viabilidade do projeto, quanto ao aspecto de escolha do método, com base nos instrumentos que foram elaborados e aplicados anteriormente, sendo importante destacar que a avaliação se deu de maneira sistematizada, com o uso dos instrumentos elaborados com base na pesquisa bibliográfica (ABRATT, 2017); (CELESTINO, 2016); (NAJAFI, 2016).

O fluxograma em sua aplicação considerou como ponto de corte a satisfação acima de três critérios cumpridos para escolha do método/técnica mais viável no uso de obras de saneamento com MND, haja vista os parâmetros estabelecidos nos critérios definidos anteriormente, sendo que na avaliação do projeto os métodos abaixo desse percentual de alcance foram descartados e classificados como inviável para aplicação de determinado método/técnica MND (DEZOTTI, 2008).

4.4 ESCOLHA DE PROJETO E APLICAÇÃO PRÁTICA DOS FLUXOGRAMAS

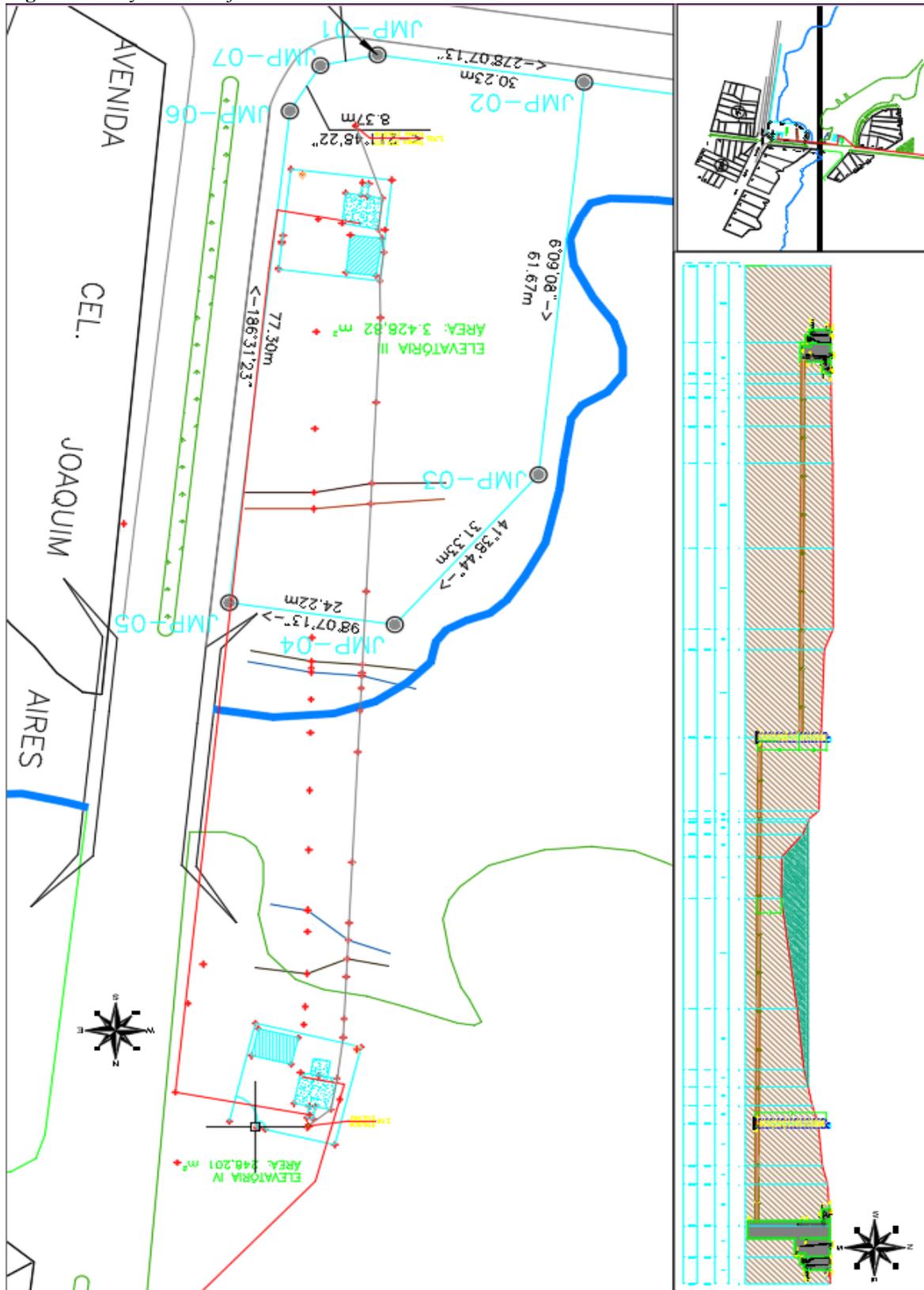
Esta etapa se desenvolveu com a escolha e aplicação dos instrumentos elaborados; inicialmente, seria em apenas um projeto determinado, mas foram selecionados dois projetos, a partir das informações cedidas pela empresa BRK Ambiental, destacando que o estudo de caso focou na escolha do método/técnica apropriada para aplicação.

I. Projeto 1: Porto Nacional:

Optou-se, inicialmente, por um projeto de abrangência local (Porto Nacional), voltado para a instalação de novas redes, na perspectiva de ser mais viável o desenvolvimento do fluxograma para aplicação, considerando os prazos estabelecidos para a conclusão do trabalho monográfico.

Esse primeiro projeto é referente a uma proposta de solução para os eventuais extravasamentos da elevatória 03, situada na Avenida Joaquim Aires em Porto Nacional/TO, que prevê a interligação do poço da EEE 03 ao poço da EEE 04, sendo que a aplicação dos fluxogramas foi desenvolvida a partir do estudo do projeto, contando com a visualização gráfica e memorial descritivo, conforme ilustração na figura 19, a seguir:

Figura 19: Layout do Projeto de travessia EEE III e IV – Porto Nacional.



Fonte: BRK Ambiental (2017).

Com as informações cedidas pela empresa BRK Ambiental foi feita uma avaliação de contexto local, que foi categorizada da seguinte maneira:

- **Clientes, arredores e custos sociais** - A área de influência da EEE03 compreende toda a área urbana da cidade de Porto Nacional localizada na região sul do ribeirão São João, onde está concentrada a maior parte da população residente da cidade, com vazão teórica de projeto = 75,93L/s. A partir disso se teve a vazão final de passagem na tubulação.

De posse da informação do volume de chegada de esgoto foi então definido o diâmetro da tubulação de interligação dos poços. Sendo utilizado um índice de majoração de 4,5 vezes para previsão de vazão clandestina/chuva que dá uma vazão na passagem de 341,68L/s. Com extensão total de interligação de 126m, sendo que, para se ter um fluxo contínuo entre os poços, a tubulação escolhida foi a de 500mm em PEAD. A interligação das unidades se dará pelo fundo dos poços das elevatórias passando por dois PVs intermediários.

Com os parâmetros do projeto como condições do solo, produtividade esperada da obra, área de superfície e acesso de superfície definidos pela BRK Ambiental (anexo - Projeto vasos comunicantes das EEE 03 e 04) para a interligação das estações elevatórias de esgoto 03 e 04, o projeto se enquadrou no método não destrutivo de implantação.

O projeto foi avaliado usando os fluxogramas anteriormente dispostos (FIGURAS 16,17 e 18), considerando os critérios gerais (FIGURA 16), bem como os técnicos específicos a cada método/técnica, conforme resultados dispostos nos anexos I e II deste trabalho.

Assim, foram avaliadas as variáveis técnicas, ambientais e sociais para o desenvolvimento do projeto. Nessa perspectiva se avaliou o diâmetro dos tubos, profundidade aplicável, comprimento/extensão da travessia, condições do solo, lençol freático e mapeamento da rede hidráulica local, anotando os dados referenciados no projeto (CELESTINO, 2016).

A partir dessas anotações, foi feito o cruzamento das informações com os fluxogramas estabelecidos, avaliando os critérios (gerais e técnicos) e as recomendações de métodos/técnicas pela pesquisa bibliográfica, considerando execução, impactos e custos. Com isso, chegou-se ao resultado final de que o respectivo projeto (FIGURA 19) classifica-se como método não destrutivo de implantação de nova rede de saneamento, sendo que o método/técnica mais viável é o de perfuração direcional horizontal (HDD), que propiciará a instalação das redes dentro da execução dos poços de serviço, contendo localização da perfuratriz dirigida; início do furo piloto; fim do furo piloto; preparação e inserção das

tubulações; conclusão da perfuração dirigida e testes, com intuito de se chegar à finalidade da obra, considerando as variáveis ambientais e sociais (NAJAFI, 2016).

Assim, recomenda-se a construção de um furo direcional, passando abaixo do leito do Ribeirão São João, no sentido de aumentar o tamanho do poço e, conseqüentemente, o aumento do tempo disponível para resposta da BRK Ambiental em caso de falha dos outros sistemas de proteção, grupo gerador e bomba reserva, e também no caso da chegada de uma vazão excessiva nos tempos de chuva.

Para tanto, foi identificado que a escolha do método de HDD se justifica porque, além das características técnicas obtidas através da aplicação dos fluxogramas, o método requer menos tempo de execução em comparação com métodos convencionais e até mesmo com outros métodos não destrutivos; não se limita a execução de redes com declividades pequenas (DEZOTTI, 2008).

II. Projeto 2: CPP – Palmas:

Optou-se, em um segundo momento, por um projeto de abrangência também local, mas em outra municipalidade, que foi Palmas, voltado para a instalação de Sistema de Esgotamento Sanitário: Rede Coletora, Estação Elevatória de Esgoto e Linha de Recalque, na Casa de Prisão Provisória-CPP de Palmas - TO, na perspectiva também de viabilidade do desenvolvimento do estudo de caso.

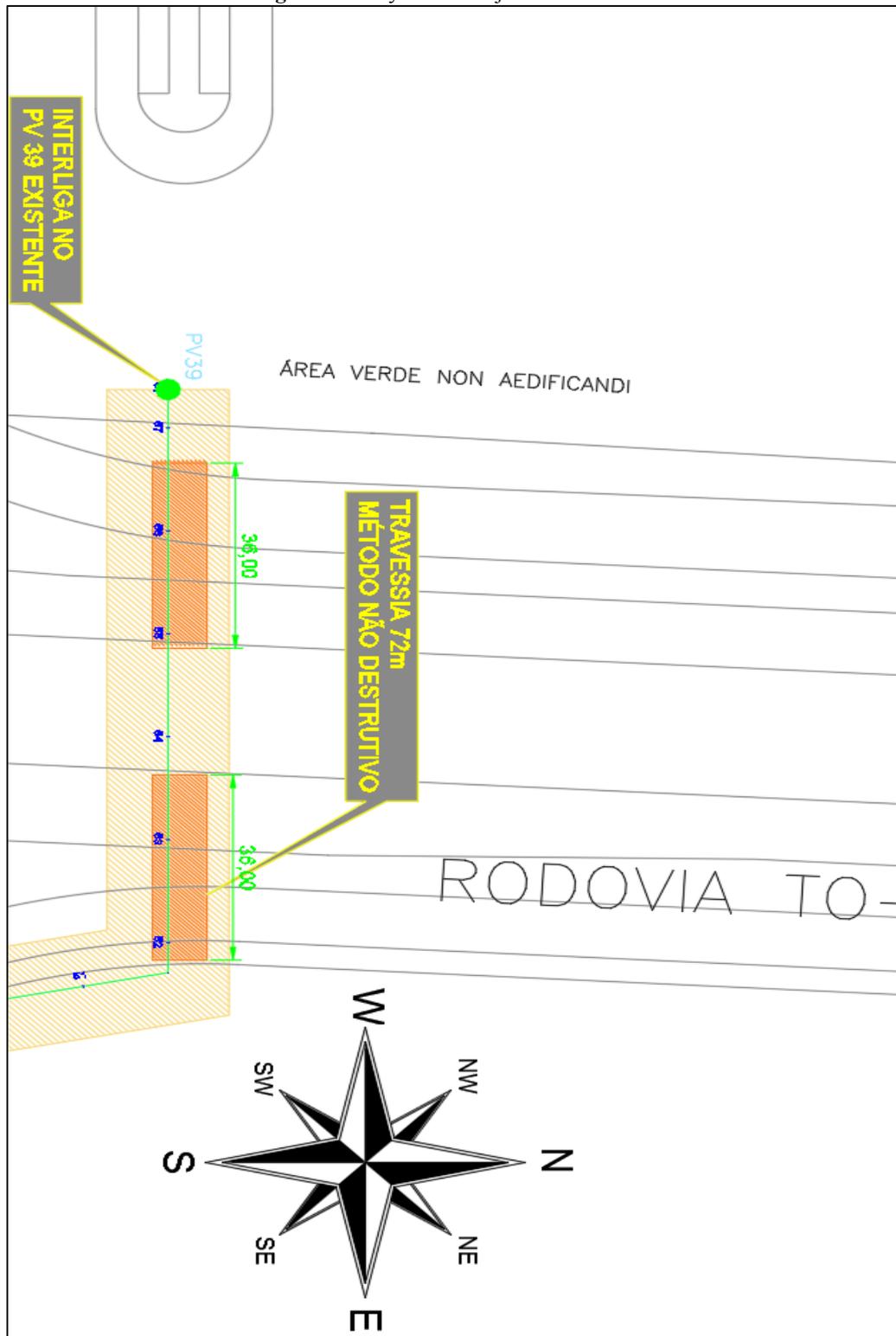
Esse projeto é referente a uma proposta de solução para vencer os desníveis topográficos que impedem o desenvolvimento por gravidade da rede coletora da CPP, viabilizando sua interligação ao sistema em operação. A EEE será instalada próxima a área da CPP e recalcará o esgoto até o PV 39 a ser localizado na marginal da TO-050.

A proposta dispõe que o posicionamento da estação elevatória e o caminhamento da linha de recalque foram adotados para que a correspondente linha de recalque pudesse apresentar um traçado totalmente ascendente, de forma a serem evitados órgãos acessórios (ventosas) que prejudicam a boa operacionalidade do sistema. Esta unidade terá conjuntos motor-bombas de deslocamento positivo. A sucção será protegida com gradeamento tipo cesto, com espaçamento entre barras, para a proteção e maior durabilidade do equipamento (BRK AMBIENTAL, 2017).

Para se evitar que o sistema de recalque concebido fique totalmente dependente da eficiência e constância do suprimento de energia elétrica, estabeleceu-se que a unidade será

interligada a uma unidade autônoma de geração de energia (gerador) para garantir seu funcionamento nos momentos de falta de energia elétrica (BRK AMBIENTAL, 2017).

Figura 20: Layout do Projeto – AEE CPP.



Fonte: BRK Ambiental (2017).

Com as informações cedidas pela empresa BRK Ambiental (2017) foi feita uma avaliação de contexto local, aplicando as ferramentas elaboradas (FIGURAS 16, 17 e 18), categorizando o projeto da seguinte maneira:

- **Clientes, arredores e custos sociais** - A área de influência da EEE - CPP compreende a área rural da cidade de Palmas, localizada na região centro leste próxima à marginal da TO-050, onde está concentrada uma parte da população adjacente à Capital Palmas, com vazão de projeto máxima de $0,36\text{m}^3/\text{min}$ e mínima de $0,10\text{m}^3/\text{min}$.

De posse da informação do volume de chegada de esgoto foi então definido o diâmetro da tubulação de interligação dos poços. A vazão de recalque da elevatória será $7,00\text{ L/s}$ e altura manométrica de 24 mca com uma potência de $7,5\text{ cv}$. A respectiva linha de recalque terá $1.147,45\text{ m}$ e um diâmetro externo de 110 mm , construído em PEAD, sendo que apenas 72m serão executados utilizando tecnologia não destrutivo.

Com os parâmetros do projeto definidos, como: condições do solo, produtividade esperada da obra, área de superfície e acesso de superfície definidos pela BRK Ambiental (anexo II - Projeto EEE CPP) para a interligação das estações elevatórias de esgoto, o projeto se enquadrou no método não destrutivo de implantação.

O projeto foi avaliado usando os fluxogramas anteriormente dispostos (FIGURAS 16,17 e 18), considerando os critérios gerais (FIGURA 16), bem como os técnicos específicos a cada método/técnica, sendo avaliadas as variáveis técnicas, ambientais e sociais para o desenvolvimento do projeto. Nessa perspectiva se avaliou o diâmetro dos tubos, profundidade aplicável, comprimento/extensão da travessia, condições do solo, lençol freático e mapeamento da rede hidráulica local, anotando os dados referenciados no projeto, sendo que a partir dessas anotações, foi feito o cruzamento das informações com os fluxogramas estabelecidos, avaliando os critérios (gerais e técnicos) e as recomendações de métodos/técnicas pela pesquisa bibliográfica, considerando execução, impactos e custos (DEZOTTI, 2008).

Com isso, chegou-se ao resultado final de que o respectivo projeto (FIGURA 20) classifica-se como de instalação de nova rede de saneamento com a utilização de MNDI, sendo que o método/técnica mais viável também é o de perfuração horizontal direcional (HDD), que propiciará a instalação das redes, contendo localização da perfuratriz dirigida; início do furo piloto; fim do furo piloto; preparação e inserção das tubulações; conclusão da

perfuração dirigida e testes, a fim de se chegar à finalidade da obra, considerando as variáveis ambientais e sociais (NAJAFI, 2016).

Foi identificado que a escolha do método HDD, se justifica porque, além das características técnicas obtidas através da aplicação dos fluxogramas, o método requer menos tempo de execução em comparação com métodos convencionais e até mesmo com outros métodos não destrutivos; não se limita a execução de redes com declividades pequenas; não influencia o tráfego de veículos na TO-050; possibilita a movimentação do solo devido à pequena profundidade; os custos sociais e ambientais são muito inferiores ao método convencional (CELESTINO, 2016).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo possibilitou a pesquisa bibliográfica sobre os MND, propiciando maior conhecimento e aproximação com a temática dentro da abrangência da Engenharia Civil, tendo como importante desenvolvimento o estudo de caso, que oportunizou a junção da teoria e prática, podendo aplicar os conhecimentos adquiridos nas etapas do estudo de caso, que foi realizado com a elaboração e aplicação de ferramentas para análise qualitativa do uso dos MND em obras de saneamento, como foi um fluxograma, dividido em duas partes de análise, o qual possibilitou a escolha do método/técnica mais indicada em determinados projetos no município de Porto Nacional/TO e Palmas/TO.

As principais limitações do estudo estiveram na impossibilidade de acompanhar as obras “in loco”, podendo verificar os resultados na prática. Essa limitação se deu em virtude das obras ainda estarem em fase de planejamento para execução, não tendo a viabilidade executiva ainda, para contemplar o desenvolvimento do estudo de caso.

Dentre as principais contribuições do estudo pode-se destacar a disposição de ferramentas técnicas que possibilitam a análise qualitativa de obras com o uso dos MND, propiciando seu estudo prévio, para fins de escolha do método/técnica mais indicada para cada tipo de obra, a partir do estudo de seu projeto, dentro de uma abordagem contextualizada das condições locais da obra, considerando o impacto ambiental e social mínimo.

No estudo, deve ser destacado que foram considerados os custos indiretos (sociais e ambientais) da utilização de MND em projetos de saneamento, na perspectiva de citados por Najafi; Gokhale (2004), Dezotti (2008), Najafi (2016), Celestino (2016) e ABRATT (2017). Assim, pode-se afirmar que a utilização dos MND em obras de saneamento pode ser desenvolvida a partir de seu estudo preliminar, analisando sua viabilidade com o uso de instrumentos qualitativos como os fluxogramas, que oferecem informações e análises para a escolha dos métodos conforme a aplicabilidade e finalidade de cada obra, definindo com antecedência do projeto o mais viável e aplicável em cada situação.

Isso é importante porque o contexto ambiental e social do processo construtivo deve ser avaliado na sociedade contemporânea, a fim de atender às demandas sociais da atualidade, sendo os MND imprescindíveis nesse contexto, pois propicia que, enquanto a obra é executada, o tráfego de veículos e pessoas pode acontecer normalmente, minimizando transtornos de tráfego urbano, propiciando mais segurança aos trabalhadores, uma vez que diminui as chances de acidentes decorrentes de escavação como: risco de desabamento do solo, quedas em nível e em diferença de nível, inalação de poeiras e à população inerente ao contexto da obra.

Por conseguinte, pode-se verificar como uma das grandes impressões positivas no caso do uso de MND em obras de saneamento o tempo total de execução da obra, uma vez que os prazos estabelecidos nos projetos com a utilização de MND são consideravelmente menores do que os métodos convencionais.

Outra verificação da execução de projetos com a utilização de métodos não destrutivos é a isenção de problemas decorrentes da repavimentação, pois quando executado pelo método convencional, além de ser ambientalmente e esteticamente desagradável, gerando impactos ambientais e sociais, também culmina em impactos financeiros, com a refacção da pavimentação asfáltica.

Todavia, ainda existem limitações, e uma delas é que a execução de obras pelos MND necessita de pessoas capacitadas para executá-las, pois essa tecnologia, por ainda ser um método que não está em prioridade na tomada de decisão construtiva, não sendo muito usual, às vezes até por falta de conhecimento da equipe de projeto, a mão de obra é mais escassa, tornando-se também mais cara que o convencional.

Portanto, o estudo verificou a necessidade de se discutir a implantação e implementação de projetos pelos MND em nível estadual, a partir da abordagem de abrangência da BRK Ambiental, sendo que em cidades com tráfego intenso, como Palmas, Araguaína, Gurupi, Paraíso, Porto Nacional, Colinas, Miranorte, Guaraí, poderiam ter mais incentivos de utilização do método por intermédio de normas, pois além de considerar os aspectos técnicos dos MND, também tem os de cunho ambiental e social, já que não interfere no tráfego, principalmente em cidades cortadas por rodovias como a BR 153.

Como sugestões para estudos futuros no que se refere à utilização de MND em obras de saneamento, recomenda-se a realização de comparativos entre os diferentes tipos de execução do MND, comparativos entre o método convencional e MND para substituição/renovação de redes de água e esgoto existentes e comparativos de alternativas em outras condições específicas de estudo, como em vias com maior tráfego e profundidade do que o projeto que foi analisado, destacando tanto as perspectivas técnicas, quanto as econômicas, dentro do método quantitativo, o qual não foi possível alcançar no presente estudo, ficando limitado à análise de abordagem qualitativa.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12266**– 1992 – Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana – Procedimentos.

ABRATT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO-DESTRUTIVA. **Introdução aos Métodos Não-Destrutivos**. Disponível em: www.abratt.org.br/diretrizes_mnd.pdf. Acesso em: 30 de out/2017.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 408 p. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p1.pdf> Acesso em 14 de abril de 2017.

_____. **Lei nº. 11.445 de 5 de Janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

_____. MINISTÉRIO DAS CIDADES, **PlanSab - Plano Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Consehos_Nacionais_020520131.pdf> Acesso em 02 de abril de 2017.

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**. Monografia. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/.../TCC%20II_Renan%20Nijenhuis%20Celestino.pdf. Acesso em: 30 de out/2017.

DEZOTTI M. C. **Análise da utilização de métodos não-destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas**. 231f. Dissertação (Mestrado Escola de Engenharia de São

Carlos) - Setor de Engenharia Civil: Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MOUTINHO, A. C. **Diretrizes dos 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.** 1.ed. São Paulo: ABRATT, 2010.

NAJAFI, M. **Tecnologia não destrutiva: Planejamento, equipamentos e métodos.** 1º Ed. Arlington, Texas, EUA: Bookman, 2016. 567 p.

NAFAJI, M; GOKHALE S. **Trenchless Technology - Projeto de tubulação e utilidade, Construção e renovação.** 1.ed. EUA: McGraw-Hill Companies, 2004.

IBGE. **Atlas de saneamento 2011.** Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE Diretoria de Geociências, 2011.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário.** 2º Ed- São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água.** 3º Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 2006, 643 p.

ANEXOS

ANEXO I
CHECKLIST – EEE PORTO NACIONAL

CHECKLIST - MNDI

Metodologia: Critérios x Análise: Método Não Destrutivo de Implantação;

Informações do Projeto

Responsável Técnico:

Especificação / Localização: Projeto de vasos comunicantes das EEE 03 e 04/Porto Nacional localizada na região sul do ribeirão São João;

Condições Locais

Situações relevantes: Região com maior concentração demográfica da cidade, obstáculo natural (Ribeirão São João)

Aplicabilidade de métodos sem trincheiras: Indispensável, devido a necessidade de superar um obstáculo natural, tornando inviável a utilização do método de abertura de valas (Método Destrutivo);

Diâmetro

Diâmetro do tubo = 500mm;

Métodos adequados sem trincheiras: Todos os métodos de implantação apresentados, neste trabalho: Microtúnel, HDD e cravação de tubos;

Profundidade

Profundidade de instalação máxima = 10,75m

Métodos adequados sem trincheiras: Dos métodos apresentados apenas o HDD é indicado;

Extensão

Comprimento da unidade = 126m;

Métodos adequados sem trincheiras: Todos os métodos de implantação apresentados, neste trabalho: Microtúnel, HDD e cravação de tubos;

Condições do Solo

Condições relevantes do solo: Próximo a um ribeirão, nível de lençol freático alto;

Métodos adequados sem trincheiras: Todos os métodos de implantação apresentados, neste trabalho: Microtúnel, HDD e cravação de tubos;

Aplicações típicas

Tipo de utilitário a ser instalado: Tubos de ligação entre duas estações elevatórias de esgoto

Métodos adequados sem trincheiras: Dos métodos apresentados apenas os de Microtúnel e HDD são indicados;

Tipo de Tubo

Tipo de Tubos: Inexistente;

Recomendação do tipo de tubos: PEAD;

Métodos adequados sem trincheiras: Dos métodos apresentados apenas o HDD é indicado;

Resultados

Resumo dos resultados: O método não destrutivo de implantação mais indicado nesta situação foi o de Perfuração Horizontal Direcional (HDD);

Avaliação da instalação: Não iniciada;

Contingenciamento

Possíveis preocupações: Maior risco de acidentes devido ao local da obra;

Plano de prevenção/correção:

ANEXO II CHECKLIST – EEE CPP

CHECKLIST - MNDI

Metodologia: Critérios x Análise: Método Não Destrutivo de Implantação;

Informações do Projeto

Responsável Técnico:

Especificação / Localização: Projeto hidráulico de concepção CPP e LR/Palmas localizada na marginal da TO-050;

Condições Locais

Situações relevantes: Atravessa uma rodovia estadual;

Aplicabilidade de métodos sem trincheiras: Necessário, para evitar transtornos locais, devido ao fato de ser uma rodovia bastante movimentada, tornando inviável a utilização do método de abertura de valas (Método Destrutivo);

Diâmetro

Diâmetro do tubo = 110mm;

Métodos adequados sem trincheiras: Todos os métodos de implantação apresentados, neste trabalho: Microtúnel, HDD e cravação de tubos;

Profundidade

Profundidade de instalação máxima = 13,05m

Métodos adequados sem trincheiras: Dos métodos apresentados apenas o HDD é indicado;

Extensão

Comprimento da unidade = 72m;

Métodos adequados sem trincheiras: Todos os métodos de implantação apresentados, neste trabalho: Microtúnel, HDD e cravação de tubos;

Condições do Solo

Condições relevantes do solo: Cascalho (Barro vermelho);

Métodos adequados sem trincheiras: Todos os métodos de implantação apresentados, neste trabalho: Microtúnel, HDD e cravação de tubos;

Aplicações típicas

Tipo de utilitário a ser instalado: Tubos de ligação entre um PV e EEE CPP;

Métodos adequados sem trincheiras: Dos métodos apresentados apenas o de HDD é indicado;

Tipo de Tubo

Tipo de Tubos: Inexistente;

Recomendação do tipo de tubos: PEAD;

Métodos adequados sem trincheiras: Dos métodos apresentados apenas o HDD é indicado;

Resultados

Resumo dos resultados: O método não destrutivo de implantação mais indicado nesta situação foi o de Perfuração Horizontal Direcional (HDD);

Avaliação da instalação: Não iniciada;

Contingenciamento

Possíveis preocupações: Maior risco de acidentes devido ao local da obra;

Plano de prevenção/correção: