A woman wearing a white hard hat and a blue blazer is shown in profile, looking down at a large architectural drawing she is holding. The background is a blurred industrial or construction site. The image is framed by a thin orange border with red diagonal lines crossing in the upper right and lower right corners.

**Cleverson Flor da Rosa
Franciele Bonatto
João Dallamuta
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias nas Engenharias 3

Cleverson Flor da Rosa
Franciele Bonatto
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias nas Engenharias

3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias nas engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Cleveson Flor da Rosa, Franciele Bonatto, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 3)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-193-0
DOI 10.22533/at.ed.930191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Rosa, Cleveson Flor da. II. Bonatto, Franciele. III. Dallamuta, João.
IV. Título.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Esta obra é composta por pesquisas realizadas por professores de cursos de engenharia e gestão. Optamos por uma abordagem multidisciplinar por acreditarmos que esta é a realidade da pesquisa em nossos dias.

A realidade é que não se consegue mais compartimentar áreas do conhecimento dentro de fronteiras rígidas, com a mesma facilidade do passado recente. Se isto é um desafio para trabalhos de natureza mais burocrática como métricas de produtividade e indexação de pesquisa, para os profissionais modernos está mescla é bem-vinda, porque os desafios da multidisciplinariedade estão presentes na indústria e começam a ecoar no ambiente mais ortodoxo da academia.

Esta obra temos aspectos de gestão aplicada, em análises econômicas, de ambiente de negócios, análise de confiabilidade, mapeamento de processos e qualidade. Também são abordadas pesquisas nas áreas de construção e urbanismo. Todos os trabalhos com discussões de resultados e contribuições genuínas em suas áreas de conhecimento.

Boa leitura

Cleverson Flor da Rosa
Franciele Bonatto
João Dallamuta

UMA ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO AMBIENTE REGULATÓRIO E SEUS IMPACTOS NO DESENVOLVIMENTO DO PRÉ-SAL	
<i>João Sílvia Semolini Olim</i>	
<i>Johnson Herlich Roslee Mensah</i>	
<i>Jamil Haddad</i>	
<i>Roberto Akira Yamachita</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915031	
CAPÍTULO 2	11
ANÁLISE DO MAPA DO FLUXO DE VALOR EM UMA FARMÁCIA HOSPITALAR DE VITÓRIA DA CONQUISTA – BA	
<i>Carla Monique Rocha dos Santos</i>	
<i>Adelma Costa Cordeiro</i>	
<i>Cinara Gomes dos Santos</i>	
<i>Iggor Lincolln Barbosa da Silva</i>	
<i>Juliana Cristina de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915032	
CAPÍTULO 3	23
ANÁLISE ECONÔMICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM CAMPOS MADUROS NA REGIÃO DA BACIA POTIGUAR UTILIZANDO UM MODELO BIDIMENSIONAL	
<i>Talles André Moraes Albuquerque</i>	
<i>Jardel Dantas da Cunha</i>	
<i>Keila Regina Santana Fagundes</i>	
<i>Antônio Robson Gurgel</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915033	
CAPÍTULO 4	38
APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE FALHA - FMEA NA INSTALAÇÃO DE BOMBEIO CENTRÍFUGO SUBMERSO (BCS) EM CAMPOS MADUROS ONSHORE NA BACIA DO RECONCAVO	
<i>Jeanderson de Souza Mançú</i>	
<i>Luiz Eduardo Marques Bastos</i>	
<i>Raymundo Jorge de Sousa Mançú</i>	
<i>Graciele Cardoso Mançú</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915034	
CAPÍTULO 5	48
APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) COMO MÉTODO DE CONTROLE DA QUALIDADE PARA A SECAGEM DE CAFÉ	
<i>Uilla Fava Pimentel</i>	
<i>Gildeir Lima Rabello</i>	
<i>Willian Melo Poubel</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915035	
CAPÍTULO 6	55
LEVANTAMENTO COMPARATIVO SERGIPE VS BRASIL DO CONSUMO, COMERCIALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO GÁS NATURAL AO LONGO DE 10 ANOS	
<i>Rai Melo de Oliveira</i>	
<i>Thereza Helena Azevedo Silva</i>	

Marcela de Araújo Hardman Côrtes

DOI 10.22533/at.ed.9301915036

CAPÍTULO 7 63

REDE NEURAL DE ELMAN APLICADA NA PREVISÃO DE PREÇOS DE COMBUSTÍVEIS

Renan Pires de Araújo

Adrião Duarte Dória Neto

Andrés Ortiz Salazar

DOI 10.22533/at.ed.9301915037

CAPÍTULO 8 70

BIOPROSPECÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA MANUFATURA DE BIODIESEL

Débora da Silva Vilar

Milson dos Santos Barbosa

Isabelle Maria Duarte Gonzaga

Aline Resende Dória

Lays Ismerim Oliveira

Luiz Fernando Romanholo Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.9301915038

CAPÍTULO 9 85

USO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) PARA HIERARQUIZAÇÃO DE MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO GRAU DE APLICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Arthur Felipe Echs Lucena

Luci Mercedes De Mori

DOI 10.22533/at.ed.9301915039

CAPÍTULO 10 102

SEGURANÇA DO TRABALHADO EM CAMPOS PETROLÍFEROS ONSHORE DA BACIA SERGIPE-ALAGOAS: PERCEPÇÕES SOBRE TERCEIRIZAÇÃO, ACIDENTES OMITIDOS E PROCEDIMENTOS ADEQUADOS

Milson dos Santos Barbosa

Débora da Silva Vilar

Aline Resende Dória

Adyson Barboza Santos

Elayne Emilia Santos Souza

Luiz Fernando Romanholo Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.93019150310

CAPÍTULO 11 113

A INFLUÊNCIA DA ERGONOMIA EM MELHORIAS PRODUTIVAS UTILIZANDO A EQUAÇÃO NIOSH

Emerson da Silva Moreira

Luiz Eduardo Nicolini do Patrocinio Nunes

DOI 10.22533/at.ed.93019150311

CAPÍTULO 12 131

SIMULAÇÃO DA ONDA COMPRESSIONAL APLICADO EM MODELOS DIGITAIS DE ROCHAS

Gracimário Bezerra da Silva

José Agnelo Soares

Leopoldo Oswaldo Alcázar Rojas

DOI 10.22533/at.ed.93019150312

CAPÍTULO 13 142

MULTIÁREAS DA ENGENHARIA ELÉTRICA COMO CONTEÚDOS COMPLEMENTARES APLICADOS À REDE PÚBLICA DE ENSINO

Hélvio Rubens Reis de Albuquerque
Raimundo Carlos Silvério Freire

DOI 10.22533/at.ed.93019150313

CAPÍTULO 14 157

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA PARA INVESTIGAÇÃO DE HIDRODEMOLIÇÃO EM AMBIENTES PRESSURIZADOS

Lidiani Cristina Pierri
Rafael Pacheco dos Santos
Jair José dos Passos Junior
Anderson Moacir Pains
Marcos Aurélio Marques Noronha

DOI 10.22533/at.ed.93019150314

CAPÍTULO 15 164

DELTA NOB

Andressa Regina Navas
Leticia Tieppo
Renan Ataide
Guilherme Legramandi
Ludmilla Sandim Tidei de Lima Pauleto
André Chaves

DOI 10.22533/at.ed.93019150315

CAPÍTULO 16 171

AValiação comparativa entre métodos de aferição do teor de umidade em peças de madeira de dimensões reduzidas

João Miguel Santos Dias
Florêncio Mendes Oliveira Filho
Alberto Ygor Ferreira de Araújo
Sandro Fábio César
Rita Dione Araújo Cunha

DOI 10.22533/at.ed.93019150316

CAPÍTULO 17 180

NOVA TÉCNICA DE ESCAVAÇÕES DE MICROTÚNEIS: ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS NO MACIÇO DE SOLO UTILIZANDO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Lidiani Cristina Pierri
Rafael Pacheco dos Santos
Jair José dos Passos Junior
Wagner de Sousa Santos
Marcos Aurélio Marques Noronha

DOI 10.22533/at.ed.93019150317

CAPÍTULO 18 201

UTILIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU COMO ADIÇÃO EM FORMATO DE FIBRA PARA O TIJOLO ECOLÓGICO.

Gabrieli Vieira Szura
Andressa Zanelatto Venazzi
Adernanda Paula dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.93019150318

CAPÍTULO 19 215

ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ASSENTAMENTO DE SAPATAS DE REVESTIMENTO EM ÁGUAS PROFUNDAS

Geovanna Cruz Fernandes

Douglas Bitencourt Vidal

Carla Salvador

DOI 10.22533/at.ed.93019150319

CAPÍTULO 20 224

A EXPLORAÇÃO DAS AREIAS BETUMINOSAS DO CANADÁ: UM EXEMPLO DE RESERVATÓRIO NÃO CONVENCIONAL

Paulo Sérgio Lins da Silva Filho

Fabiano dos Santos Brião

DOI 10.22533/at.ed.93019150320

SOBRE OSA ORGANIZADORES 233

NOVA TÉCNICA DE ESCAVAÇÕES DE MICROTÚNEIS: ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS NO MACIÇO DE SOLO UTILIZANDO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Lidiani Cristina Pierri

Faculdade Estácio de Sá
São José – SC

Rafael Pacheco dos Santos

Faculdade Estácio de Sá
São José – SC

Jair José dos Passos Junior

Faculdade Estácio de Sá
São José – SC

Wagner de Sousa Santos

Faculdade Estácio de Sá
São José – SC

Marcos Aurélio Marques Noronha

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – SC

RESUMO: O crescimento populacional gerou crescentes demandas por infraestrutura e a necessidade de explorar o espaço subterrâneo, permitindo o desenvolvimento da sociedade moderna. No entanto, nos países em desenvolvimento, a infraestrutura subterrânea ainda é relativamente precária e o método comumente usado para realizar microtúneis em solos depende de escavações manuais. No entanto, se não forem corretamente executados, essas obras podem apresentar vários problemas e até causar colapsos durante sua execução. Por outro lado, o equipamento mecanizado é extremamente caro. Este cenário

apresenta um ambiente favorável à inovação, que pode ocorrer pela introdução de um grau de mecanização na técnica de escavação manual, proporcionando segurança e redução no tempo de execução de forma simplificada e com baixos custos, apresentando à sociedade uma técnica adequada para a realidade dos países em desenvolvimento. O presente trabalho introduz uma nova técnica de escavação de microtúneis em solo na qual emprega cabos de tração presos a uma couraça e uma placa metálica. Uma análise do recalque no solo causado pela movimentação do equipamento durante a escavação foi estudada utilizando elementos finitos por meio do software MIDAS/GTS, demonstrando uma redução de recalque nos solos quando comparado às escavações manuais em cerca de 85%. Isto reflete em uma solução racional para seu avanço e elimina a necessidade de utilização de revestimentos de alta resistência. Portanto, como resultado, o artigo apresenta uma abordagem inovadora para o processo executivo de microtúneis por meio de um equipamento de escavação semi-mecanizado, com características vantajosas em relação à forma do túnel, o sistema de avanço, a segurança e a qualidade geral da obra de escavação.

PALAVRAS-CHAVE: Infraestruturas subterrâneas. Escavação em solo. Engenharia de túneis.

ABSTRACT: Population growth has generated increasing demands for infrastructure and the need to explore underground space allowing the development of modern society. However, in developing countries, underground infrastructure is still relatively precarious and the method commonly used to perform microtunnels in soils relies on manual excavations. Nevertheless, if not properly executed, these works can present several problems and even cause collapses during its execution. On the other hand the mechanized equipment is extremely costly. This scenario presents a favorable environment for innovation in which can take place through the introduction of a degree of mechanization into the manual excavation technique, providing safety and reduction in execution time in a simplified way and with low costs, presenting to society an appropriate technique to the developing countries reality. An analysis of the soil settlement caused by the motion of the equipment during the excavation was studied using finite elements methods with the software MIDAS/GTS, demonstrating a reduction of soil settlement when compared to the manual excavations in about 85%. This reflects on a rational solution to its advancement and eliminates the need to use linings with high strength. Therefore, as a result, the article presents an innovative approach to the microtunnel executive process through semi-mechanized excavation equipment, with advantageous characteristics regarding tunnel shape, advance system, safety and overall quality of the tunnel.

KEYWORDS: Underground infrastructure. Soil Excavation. Tunnel Engineering.

1 | INTRODUÇÃO

Por centenas de milhares de anos a ocupação antrópica se restringiu basicamente ao espaço bidimensional da superfície terrestre. Porém, com o crescimento populacional houve a necessidade de exploração da terceira dimensão tanto para cima, com a verticalização das edificações, quanto para baixo, com uso de túneis para transporte e serviços utilitários. O uso do espaço subterrâneo tornou-se fundamental na execução de infraestruturas que permitem o desenvolvimento da sociedade moderna. Atualmente, uma grande variedade de estruturas subterrâneas é utilizada para melhorar a qualidade de vida das pessoas, tanto nas grandes cidades quanto fora delas. Independente da aplicação, a utilização do espaço subterrâneo geralmente tem o propósito de aliviar impactos negativos no ambiente sobre a superfície (STERLING, 2002).

Segundo Broere (2015), nos países em desenvolvimento, a infraestrutura é relativamente precária, enfrentando problemas como grandes congestionamentos de veículos, alto nível de ruído e poluição, inundações, atropelamentos, entre outros. O cenário tende a piorar devido ao crescimento da população urbana previsto para as próximas décadas. Isto acarretará em mudanças, forçando novas exigências sobre as funções que a cidade deverá fornecer para proporcionar a melhoria contínua no desenvolvimento urbano sustentável e eficiente (BROERE, 2015).

Muitas são as aplicações do espaço subterrâneo: infraestruturas que são difíceis,

impossíveis, ambientalmente indesejáveis ou menos rentáveis para serem instaladas na superfície; estacionamentos; passagem de pedestres, ciclistas, motocicletas, veículos, entre outros. Além disso, os túneis podem servir de abrigo contra condições nocivas ao ser humano, pois fornecem proteção mecânica, acústica e térmica (GODARD, 2002).

Entretanto, os custos impõem uma barreira importante para o desenvolvimento do espaço subterrâneo urbano. Apesar de progressos importantes no conhecimento e nos métodos de construção, os custos de obras no subsolo ainda são considerados mais elevados em comparação com construções na superfície. Esta diferença fica ainda mais expressiva quando o método construtivo envolve equipamentos mecanizados, de alta tecnologia, que exigem profissionais altamente capacitados (GODARD, 2004).

A Engenharia de Túneis moderna dispõe de técnicas, equipamentos e recursos classificados como Métodos Não Destrutivos (MND) sem impactar negativamente a superfície durante a construção (LI et al., 2017). Em situações onde a escavação não pode causar dano na superfície, seja por localizar-se em áreas de grande fluxo de uma cidade ou por não haver espaço suficiente na superfície, os MND apresentam-se como a única alternativa. Dentre tais métodos, os mais utilizados para construções de microtúneis em solo são a Escavação Horizontal Direcional (HDD - Horizontal Directional Drilling), a escavação mecanizada por Pipe jacking, e a escavação manual. Enquanto que na escavação horizontal a obra pode ser iniciada diretamente da superfície sem necessidade de poço de ataque, o pipe jacking necessita de um poço de ataque inicial e final para entrada e saída do equipamento, e na escavação manual pode ou não haver tal estrutura.

Além do método construtivo, as técnicas supracitadas também diferenciam-se entre si pela utilização de seus revestimentos. Na técnica de pipe jacking o revestimento é empurrado enquanto que na HDD a tubulação é puxada. Ambas exigem altas resistências do material. Já na escavação manual, o revestimento é composto por chapas metálicas montadas manualmente. Outra diferença é que tanto a escavação horizontal quanto a técnica de pipe jacking utilizam equipamentos especialmente projetados para as atividades de escavação, exigindo, dessa forma, um maior investimento financeiro e mão-de-obra especializada para a sua utilização.

Tal fato faz com que diversos empreendimentos de médio e pequeno porte em países em desenvolvimento optem pelo método de escavação manual. Como o método de escavação manual é fortemente dependente de conhecimentos empíricos e atividades de tratamento de solo para a garantia de segurança, diversos problemas de construção têm sido registrados em obras realizadas no país. Essa realidade tem ocorrido em algumas obras de microtúneis em Santa Catarina, onde se pode citar, por exemplo, colapsos durante a execução de obras nas cidades de Brusque, Itapema e Florianópolis, conforme mostra a Figura 1.

Entretanto, tais obras, mesmo com valores na faixa de R\$ 1 a 3 milhões, com extensões menores que 100 m, têm recorrentemente apresentado sérios problemas

de execução, colocando em risco vidas humanas, a infraestrutura existente e a própria situação das empresas executoras (NORONHA, 2012).



Figura 1 – Problemas com escavação manual em Santa Catarina entre 2012 e 2014.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Com base na constatação das grandes demandas e dos problemas na utilização das técnicas atuais, observa-se que o desenvolvimento de uma solução de baixo custo que garanta o mínimo de segurança e introduza técnicas que incrementem a produtividade poderá impactar positivamente no dispêndio financeiro, na segurança e na qualidade técnica dessas obras.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um conceito de uma técnica de escavação de microtúneis que proporcione segurança e maior produtividade no processo de escavação especificamente voltado às obras de pequeno porte.

Para finalizar, uma análise de deslocamentos do maciço de solo causado pela movimentação do equipamento durante a escavação, comparando o método elaborado com o convencional será apresentada.

2 | TÉCNICAS DE ESCAVAÇÕES EM SOLO

Em geral, o processo de escavação é empregado por meio de ferramentas que tem por finalidade o desmonte do maciço facilitando a remoção do material. Em termos da interferência na superfície, este processo pode ser dividido em dois tipos: escavação por método destrutivo ou por método não destrutivo (CHENG, 2015).

Por um lado, o método destrutivo, ou escavação a céu aberto, implica na abertura desde a superfície do terreno, causando interrupção no trânsito de veículos e transtornos para trabalhadores e pedestres. Assim, esse método é recomendado apenas onde não há interferência com edificações na superfície, com o sistema viário,

ou na possibilidade de desvio de tráfego sem causar grandes transtornos. Trata-se de uma das técnicas mais antigas, remontando às obras realizadas na antiguidade (mais de 2.000 anos atrás). Pode ser considerada a economicamente mais viável, dependendo da localização da obra, embora atualmente seja cada vez mais desvantajosa devido aos custos indiretos com o impacto no fluxo de transporte da superfície (HUNT, 2014).

Por outro lado, o MND, apesar de ter um custo direto mais elevado em relação ao processo por vala aberta, possui vantagens com menores custos indiretos principalmente no que diz respeito à interrupção mínima da superfície, uma menor duração da obra, menor inconveniência para pessoas, residências e empresas ao redor da obra (ABDOLLAHIPOUR, 2012).

Em suma, o uso de MNDs na implantação, manutenção ou expansão de obras subterrâneas tem o favorecimento do processo de construção devido à redução dos impactos ambientais, redução de custos indiretos, precisão na execução da obra, redução de tempo, a não interrupção do trânsito no local de trabalho, além da melhor qualidade do túnel, segurança e redução de danos ao ambiente (FARIA, 2008).

O presente trabalho apresenta algumas das principais técnicas de escavação de microtúneis utilizadas atualmente: a escavação manual, o pipe jacking, e a perfuração horizontal direcional das quais serão detalhadas nas seções posteriores.

2.1 Escavação Manual

O método da escavação manual de microtúneis consiste da ação de mão-de-obra com utilização de ferramentas simples realizando avanços progressivos com montagem simultânea de um revestimento metálico constituído por anéis de chapas de aço corrugado. Esses anéis são formados por um conjunto de segmentos que são montados e fixados com parafusos e porcas. Além disso, existem orifícios ao longo das chapas que possibilitam a inclusão de uma calda de injeção a fim de preencher vazios existentes entre as chapas corrugadas e o maciço escavado (PAIVA, 2011).

Este método é utilizado para execução de microtúneis com dimensões características variando entre 1,20 m a 5,00 m, na forma circular, elíptica, lenticular e arco, podendo ser implantado na maioria dos tipos de solo (STACO, 2015).

Dentre as principais aplicações deste método, podem ser citadas as galerias de drenagem de águas pluviais, redes de esgoto, passa-fauna, passagem de pedestres e de veículos, passagem de cabos de telefonia e energia, e passagem de tubulações de água e esgoto.

As chapas de aço corrugado, conforme mostrado na Figura 2, são de fácil manuseio e devem ser montadas de acordo com o avanço da escavação. Este avanço geralmente é na ordem de 46 cm ou 50 cm, sendo estas dimensões equivalentes às larguras das chapas metálicas. Além disso, a frente da escavação deve ser protegida para reduzir o risco de desmoronamentos, oferecendo maior segurança ao operador e à região adjacente da obra (STACO, 2015).

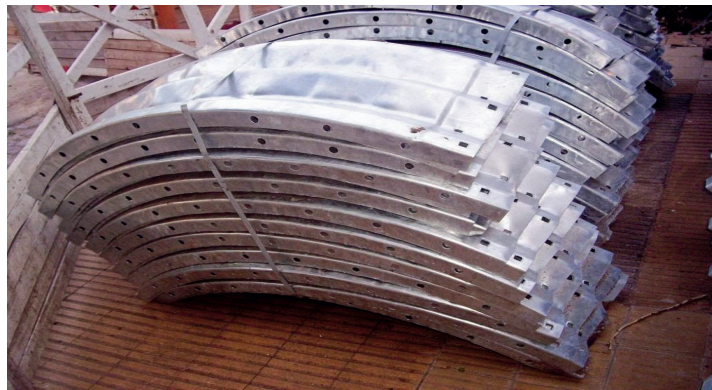


Figura 2 – Chapas metálicas corrugadas.

Fonte: Silveira, 2014.

Em túneis de diâmetro superior a 1,8 m, a escavação ocorre em duas etapas (calota-rebaixo), sendo escavada a parte superior em um primeiro estágio (calota), finalizando com a escavação do trecho inferior (rebaixo), conforme a Figura 3 ilustra. Esta escavação deve ser a mais justa possível à circunferência externa do revestimento e, ainda, o avanço deve ser ligeiramente maior que a espessura da chapa, geralmente de 46 cm (STACO, 2015).

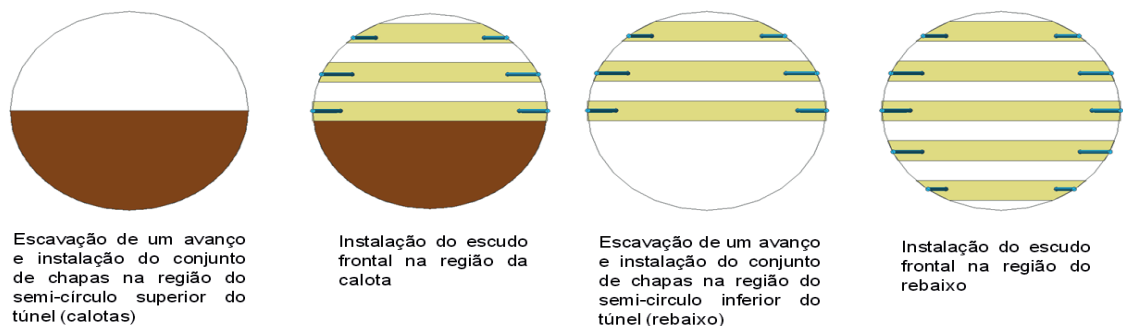


Figura 3 – Sequência de escavação “calota-rebaixo”.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Com o decorrer do avanço da escavação, executa-se a montagem das chapas da aba superior. As chapas ficam suportadas pelo uso de escoras inclinadas apoiadas no fundo do túnel. Após a montagem da parte superior, deve-se escorar a frente da escavação, geralmente usando pranchas de madeira, cobrindo 100% da superfície escavada, garantindo segurança aos operários. Dando prosseguimento, escava-se o rebaixo, correspondente ao semicírculo inferior. Para isso, as pranchas de madeira que constituem o escudo frontal são removidas uma de cada vez e um novo ciclo de operações permitirá a montagem dos anéis até que o túnel esteja finalizado (SILVEIRA, 2014).

2.2 Pipe Jacking

O segundo método de escavação de microtúneis a ser discutido é o Pipe jacking (tubulação empurrada). É uma tecnologia de construção não destrutiva com o objetivo de instalar tubulações subterrâneas. Nos últimos anos, esta técnica tem se tornado cada vez mais popular, principalmente, no que diz respeito à instalação de infraestruturas municipais, como, redes de esgoto, drenagem, oleodutos e canalizações (CHENG, 2015).

Esta técnica proporciona a instalação de tubos através de um sistema hidráulico, de modo tal que formam uma linha contínua de tubos, além disso, possui como características: boa integridade do túnel, curto período de construção, baixo impacto ambiental e baixa manutenção (ZHEN, 2014).

A tubulação empurrada pode ser realizada tanto para instalação de pequenos diâmetros em trechos curtos e retos quanto para tubos de diâmetros maiores em trechos longos e com curvaturas (SHOU, 2010).

Além disso, esta técnica tem sido amplamente utilizada em diversas aplicações por várias décadas. Porém, observa-se que o uso do pipe jacking ainda envolve uma prática relativamente conservadora ou superdimensionada, principalmente devido ao comportamento mecânico da interação solo-tubulação apresentar um desafio aos projetistas. Estes costumam se preocupar mais com a força necessária dos cilindros hidráulicos, na flexão dos tubos e no impacto sobre seus arredores, do que com o avanço da escavação (SUN, 2014).

O processo de escavação com o método pipe jacking requer algumas etapas ilustradas na Figura 4: escavação de poços; colocação do equipamento no interior do poço; posicionamento da frente de corte; escavação e início do avanço dos cilindros; colocação dos tubos; instalação de estações intermediárias; e retirada do equipamento no poço de saída (CHENG, 2015).

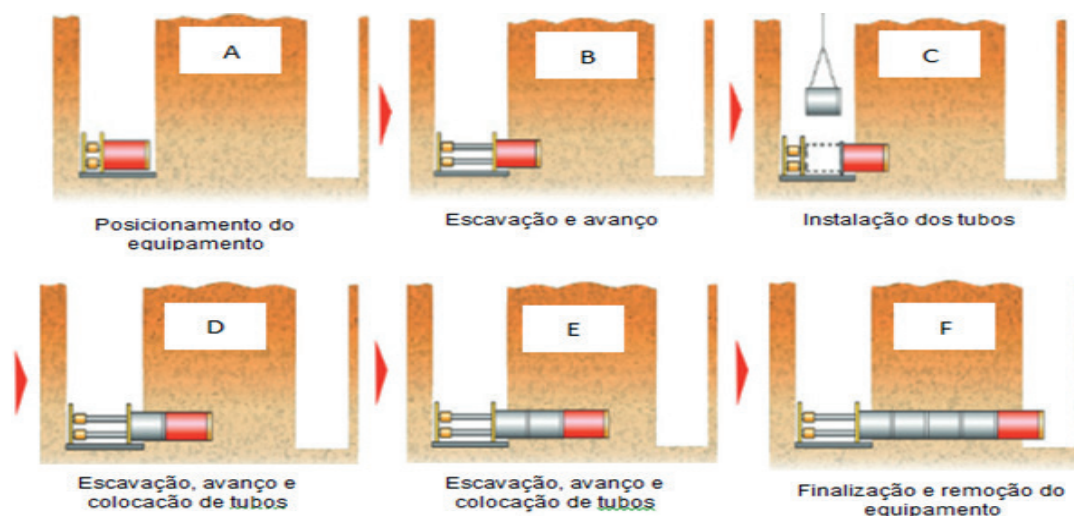


Figura 4 – Etapas de construção.

Fonte: Terratec, 2017.

Inicialmente devem-se preparar os poços de entrada e saída. Este é um passo importante para o sucesso da obra. Deve haver espaço suficiente para a instalação dos equipamentos envolvidos no poço de entrada. Além disso, a parede de reação do poço deve ser capaz de suportar o peso dos segmentos de tubulação. Após a preparação do poço, a colocação do equipamento no interior do mesmo pode ser realizada (Figura 4 A). Aqui é feita a preparação do sistema de propulsão, ou seja, dos cilindros que irão empurrar a máquina de escavação e o revestimento do microtúnel (CHENG, 2015).

Na etapa seguinte, o equipamento de escavação será posicionado no local especificado para o início da remoção do material e seu avanço (Figura 4 B). Já o terceiro passo inclui o avanço da frente de escavação e a instalação dos tubos (Figura 4 C) até a retirada do equipamento (Figura 4 F) quando o mesmo atingir o poço de saída (CHENG, 2015).

2.3 Perfuração Horizontal Direcional - Hdd

A perfuração horizontal direcional, tradução de “horizontal directional drilling” (HDD), é uma tecnologia de escavação subterrânea que permite instalações de dutos, com variabilidade tanto no diâmetro final, quanto na direção do caminho do furo que pode ser reto ou curvo (COWELL, 2003).

Devido à ampla flexibilidade e por ser um método não destrutivo, a técnica tornou-se uma das escolhas mais recomendadas para travessias na implantação de redes de água, esgoto, instalação de dutos para passagem de cabos de fibra ótica, entre outras aplicações (LAN, 2011). Porém, ressalta-se que a utilização da HDD ainda é baixa no Brasil, principalmente devido aos custos maiores que os da abertura de vala.

Na técnica HDD, a instalação dos dutos geralmente é executada em três fases distintas, sendo estas o furo piloto, o alargamento do furo e a instalação do tubo.

O furo piloto consiste na perfuração de um pequeno diâmetro que é iniciado na superfície com ângulo de entrada, geralmente de 8° a 20°, com a horizontal. O furo piloto prossegue inclinado até atingir a profundidade desejada onde, a partir de então, seguirá na posição horizontal. Depois de finalizada a trajetória horizontal, a perfuração segue inclinada até o local de saída pré-estabelecido, conforme pode ser visualizado na Figura 5 (COWELL, 2003).

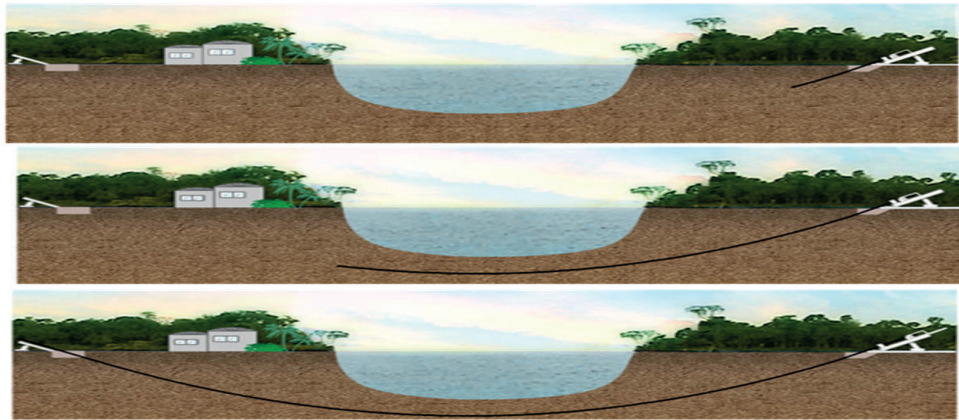


Figura 5 – Furo piloto.

Fonte: Brasfix, 2015.

O furo piloto é executado por meio de uma broca de perfuração, como se pode verificar na Figura 6. Esta broca possui um sistema com direcionamento monitorado por sensores eletromagnéticos. Os sinais destes sensores indicam a profundidade e a direção da broca permitindo assim, ao operador ajustar a direção do furo, obtendo o alinhamento necessário (ABDOLLAHIPOUR, 2012).



Figura 6 – Detalhe da broca de perfuração.

Fonte: Brasfix, 2015.

Após, completado o furo piloto, a broca de perfuração é removida e em seu lugar é instalado uma de maior diâmetro, conhecida como alargador (LAN, 2011).



Figura 7 – Exemplo de alargador.

Fonte: Almeida, 2012.

A finalidade desta operação consiste em alargar o furo antes do processo de instalação do tubo (Figura 8). O diâmetro do furo é aumentado, tipicamente de 1,2 ou 1,5 vezes o diâmetro da tubulação que será instalada. Entretanto, este fator pode ser ajustado de acordo com as condições do solo e o comprimento total da execução (ROYAL, 2010).

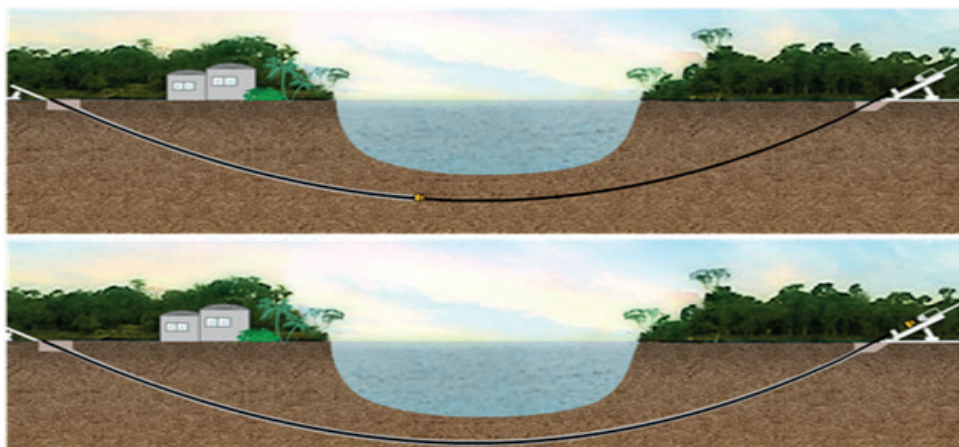


Figura 8 – Etapa de alargamento do furo.

Fonte: Brasfix, 2015.

O diâmetro aumentado proporciona uma redução dos atritos na fase seguinte, onde são puxados os tubos. Podem acontecer vários passes de alargamento, à medida que o diâmetro da tubulação seja bem maior que o diâmetro inicial. Para tanto, ocorrem aumentos graduais das brocas de alargamento até que seja alcançado o diâmetro desejado. A última passagem de alargamento coincide com a instalação da tubulação, conforme mostrado na Figura 9 (ZAYED, 2013).

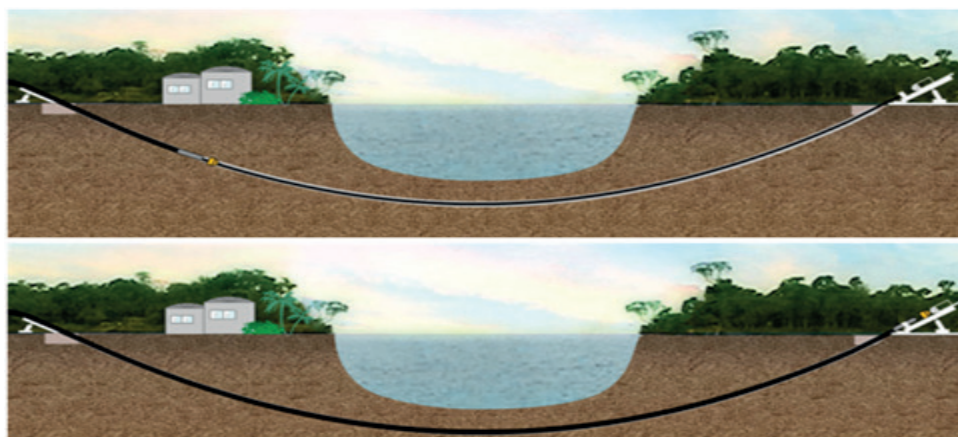


Figura 9 – Processo de instalação da tubulação.

Fonte: Brasfix, 2015.

A perfuração direcional horizontal é altamente recomendada para construções de novas redes de água, esgoto, efluentes industriais, gás, entre outros. Como o HDD é um método não destrutivo de construção, evitam-se os transtornos causados por interrupção de tráfegos pelas valas abertas (OLIVEIRA, 2011).

2.4 Resumo Das Tecnologias Apresentadas

Esta seção teve por objetivo resumir os pontos principais das tecnologias não destrutivas descritas anteriormente. As características levadas em consideração foram: a variação da forma final do túnel, a cobertura mínima de escavação, o revestimento utilizado, o sistema de avanço e a montagem do revestimento. Todos os aspectos estão apresentados na Tabela 1.

	Manual	Pipe Jacking	HDD
Seção transversal	Circular Elíptico Lenticular Arco	Circular	Circular
Dimensão	De 1,2 até 5,0 metros	Até 3,0 metros	Até 1,2 metros
Cobertura	> 2 x □	> 4 m	< 6 m
Avanço	Manual	Mecanizado	Mecanizado
Montagem do revestimento	Manual	Compressão	Tração
Revestimento	Chapas de aço corrugada	Tubos de concreto pré-moldado	PFAD PVC AÇO

Tabela 1 – Resumo das tecnologias de escavação.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Quanto ao formato do túnel a seção transversal pode variar dependendo da aplicação final deste. O formato circular é usualmente o mais comum devido às tensões

ao redor do túnel ser mais bem distribuídas. Entretanto, dependendo da aplicação, o formato final não circular é desejável podendo ser mais econômico tanto em tempo quanto em custo, quando se deseja uma superfície plana, como, por exemplo, uma travessia de pedestres, de ciclistas, passagens de veículos sob-rodovia, entre outros (SANTOS, 2017). As tecnologias, HDD e Pipe Jacking, produzem como resultado final apenas o formato circular devido ao processo construtivo. Já com a escavação manual é possível conseguir formatos diversos como, circular, retangular, elíptico, arco, lenticular ou outras formas. Portanto, ao se tratar de formato, a escavação manual tem vantagens dentre as demais dependendo do objetivo final da obra.

Em se tratando de cobertura a tecnologia de HDD possibilita a execução em baixas profundidades quando comparado com as demais técnicas. Já para os demais tipos de escavação adota-se pelo menos duas vezes o diâmetro do túnel.

Quanto ao sistema de avanço, as técnicas de HDD e pipe jacking ocorrem por força mecanizada enquanto que a escavação manual são usadas ferramentas manuais com pá e picareta, por exemplo. As duas primeiras são vantajosas quanto ao tempo e segurança, mas exigem revestimentos robustos. No HDD, o revestimento é composto por tubos de PEAD (polietileno de alta densidade), PVC (policloreto de vinila), ou aço. Já o pipe jacking utiliza tubos de concreto como revestimento e estes não empurrados pelos cilindros hidráulicos após a abertura do túnel. Por fim, na escavação manual, o revestimento é composto por chapas de aço corrugadas, leve, de simples montagem.

Em suma, pode-se concluir que todas as técnicas discutidas apresentam vantagens complementares em relação às necessidades e características de uma determinada obra, ou seja, nenhuma das técnicas é dominante em todos os aspectos.

3 | METODOLOGIA

A metodologia adotada dá início pela definição dos objetivos que tem como finalidade sintetizar o que se pretende alcançar com a pesquisa; uma revisão da literatura que refere-se à fundamentação teórica adotada para tratar o tema e o problema da pesquisa de forma tal que são levantados os trabalhos de pesquisa afins ao trabalho nas principais fontes acadêmicas disponíveis (livros, artigos, teses e dissertações). Por fim, por meio de um caso real de uma obra de macrodrenagem será comparado e avaliado os métodos de escavação manual e a semimecanizada por meio de simulações com o método de elementos finitos (FEM).

Nesta análise foram considerados os recalques no solo tanto para o caso de escavação com a técnica manual quanto para a escavação com o uso do equipamento proposto. Assim, foram realizadas simulações através do software MIDAS/GTS, que fornece resultados de alta confiabilidade para a simulação da escavação sequencial de túneis, a fim de estimar os recalques na superfície e os deslocamentos no entorno da escavação tanto em operações manuais quanto do equipamento desenvolvido.

O modelo elaborado considerou uma representação similar da obra proposta para o microtúnel e de seu procedimento executivo, avaliando a escavação sequencial em ambos os casos (manual e equipamento proposto). Para tanto, foram utilizados elementos tetraédricos para representação da malha com exceção no revestimento onde foi utilizado element de casca nas duas situações. Adicionalmente, a couraça metálica usada na execução das escavações pelo equipamento desenvolvido também foi representada por elementos de casca.

Para proporcionar a precisão adequada nos resultados, o modelo utilizou um total de 70.992 elementos no para a escavação manual e 71.080 elementos no modelo proposto com a couraça metálica. A simulação ocorrerá de forma sequencial com a remoção do material escavado e a aplicação do revestimento, adicionando passos de escavação a cada 1 m. O efeito da não-linearidade dos materiais foi representado pelo modelo elasto-plástico com o critério de Mohr-Coulomb.

Adicionalmente, ambos modelos levaram em consideração diversas estruturas existentes para retratar ao máximo possível a realidade. Exemplo disso são as galerias anteriormente construídas, a rodovia, as marginais, as estruturas de divisão tipo “New-Jersey”, as gramas, entre outros, conforme observado na Figura 11.

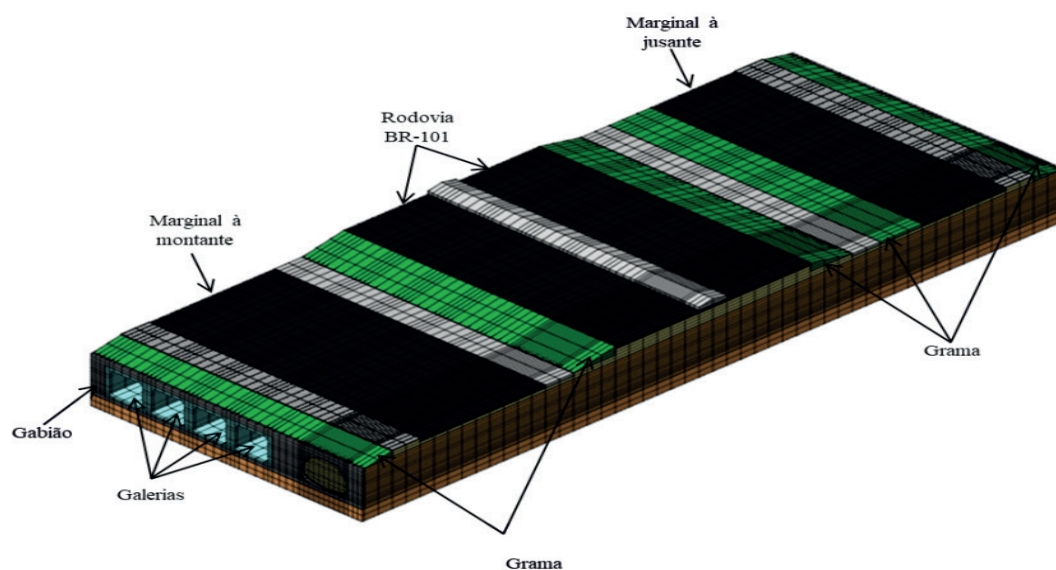


Figura 11 - Modelo 3D e suas estruturas.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

As sondagens disponíveis para o projeto indicaram diferentes camadas de solo. Para a presente análise foram consideradas para o solo as propriedades elastoplásticas (critério de Mohr-Coulomb) descritas na Tabela 2 e visualizada na Figura 12.

Solo	Módulo de Elasticidade [kN/m ²]	Poisson	Peso Específico [kN/m ³]	Coesão [kN/m ²]	Ângulo de atrito [°]	Espessura [m]
Argila mole	3922	0,25	15	12	27	1,50
Argila média	8825	0,25	17	21	25	5,35
Solo compacto	19613	0,25	20	25	30	2,50

Tabela 2 – Propriedades do solo.

Fonte: Aatoria Própria, 2018.

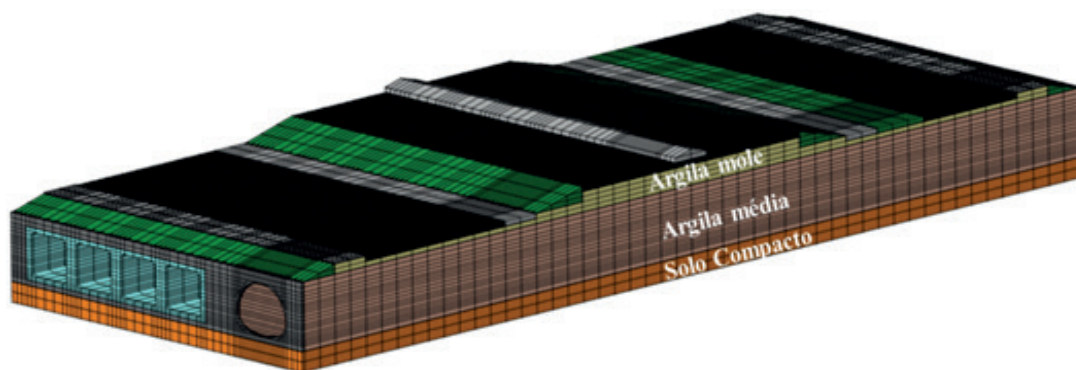


Figura 12 - Diferentes camadas de solo que foram modeladas.

Fonte: Aatoria Própria, 2018.

Adicionalmente, as propriedades da couraça e da placa metálica estão elencadas na Tabela 3.

Descrição	Módulo de Elasticidade [kN/m ²]	Peso Específico [kN/m ³]	Espessura [m]
Couraça	210000	78	0,05
Placa	210000	78	0,05

Tabela 3 – Propriedades dos dispositivos.

Fonte: Aatoria Própria, 2018.

A diferença entre os modelos está na geometria, no procedimento de escavação e na aplicação do revestimento. No que diz respeito à geometria, a diferença consiste na seção da escavação (Figura 13). Por um lado, na execução manual a área escavada refere-se apenas ao material no interior do revestimento, enquanto que na escavação com a couraça tracionada a análise considera o volume um pouco maior da escavação do solo no interior da couraça.

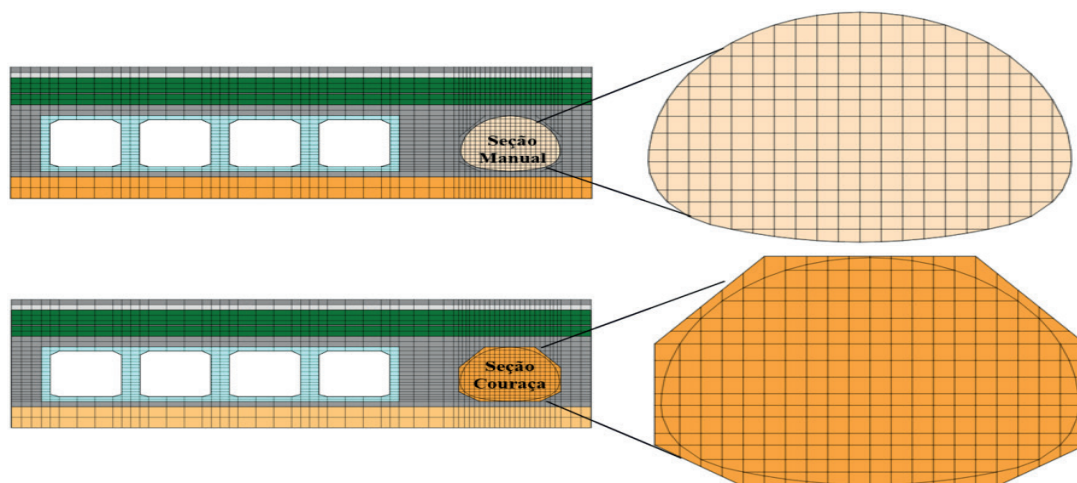


Figura 13 – Seção de escavação dos modelos.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

O revestimento considerado para ambos os modelos é o mesmo, consistindo de anel de chapa de aço corrugado com 0,5 m de largura. Entretanto, no modelo com o equipamento semimecanizado proposto, outros dois elementos surgem: a couraça móvel e o preenchimento adicional entre a couraça e o revestimento, conforme pode ser visualizado na Figura 14. Este preenchimento adicional ocorre devido ao formato da couraça que agora exige um volume de escavação ligeiramente maior quando comparado à escavação convencional, e, portanto, este fator deve ser levado em consideração.

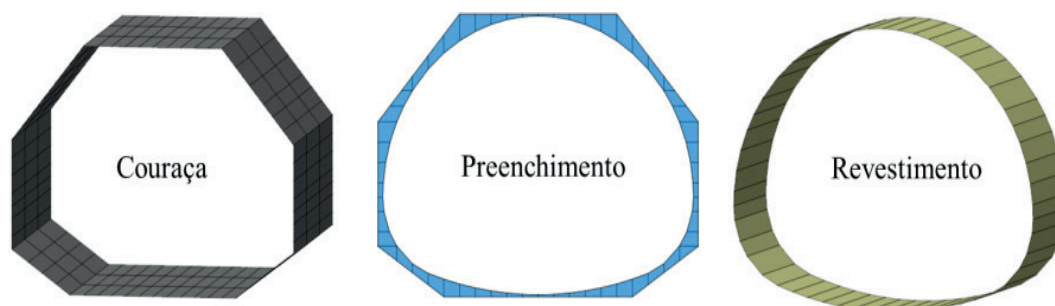


Figura 14 – Detalhe da couraça, preenchimento e revestimento.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A área da seção manual é de 12,11 m² enquanto que a área da seção com couraça é de 13,72 m². Assim, o preenchimento do modelo escavado com o equipamento proposto ocupar uma área adicional de 1,61 m² no plano da seção transversal do microtúnel.

Outro aspecto importante é quanto as cargas consideradas nas vias principais, tanto nas marginais quanto na rodovia BR-101 de 25 kN/m² para ambos os modelos, conforme mostra a Figura 15. Isto simula as condições reais de execução da obra.

0,000 4,580 9,60 3,740 8,39

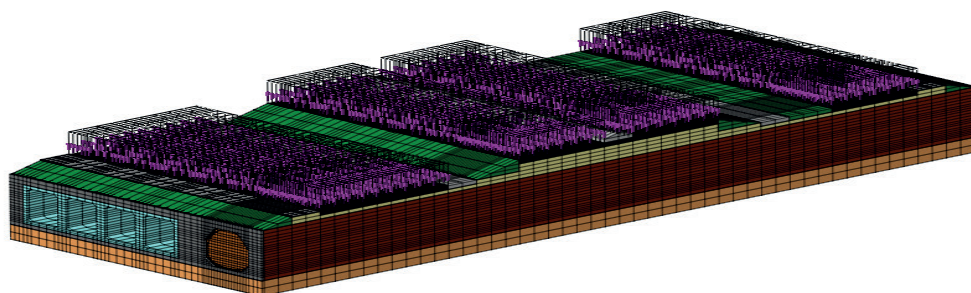


Figura 15 – Distribuição de cargas nos modelos.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste ponto considera-se que o desenvolvimento conceitual atingiu o objetivo de resultar em um equipamento funcional e eficiente. Para fins de complementar, verificar e atestar a funcionalidade e eficiência do desenvolvimento proposto considera-se agora uma análise voltada para questões práticas e de viabilidade da aplicação em um projeto real. Para tanto, será descrito um estudo de caso que diz respeito a um projeto de microtúnel de macrodrenagem localizado em Biguaçu, no Estado de Santa Catarina. O objetivo é apresentar as especificações técnicas para o serviço de escavação na região de implantação do microtúnel comparando o método de escavação manual com a técnica semi-mecanizada aqui apresentada através de simulações geotécnicas por meio de elementos finitos que fará a análise da sequência de escavação, comparando os níveis de recalques apresentados tanto para a técnica manual quanto para o desenvolvimento proposto.

4.1 Dados da Obra

A obra considerada no presente estudo faz parte do projeto da ampliação do sistema de macrodrenagem em Biguaçu/SC, consistindo na travessia do Rio Carolina por um microtúnel sob a BR-101, conforme apresentado na Figura 21.

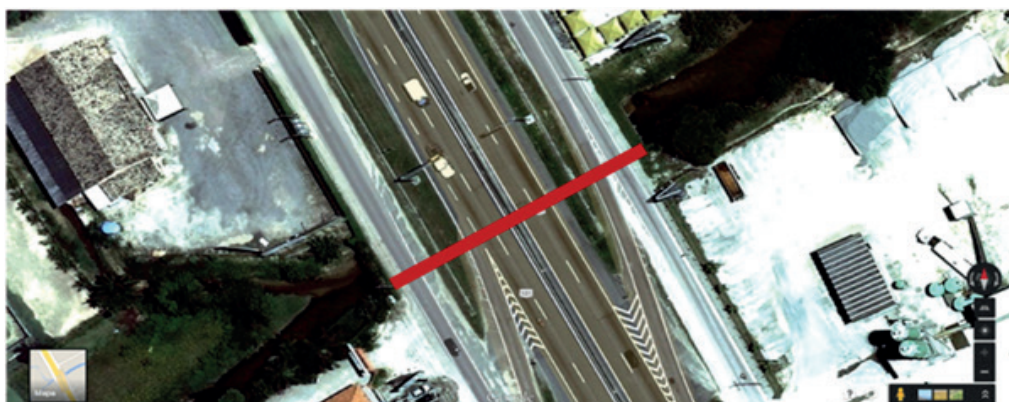


Figura 21 - Local do microtúnel.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A principal motivação para a realização da obra deve-se ao fato de ocorrerem constantes alagamentos na região do Rio Carolina devido à insuficiente drenagem nas galerias existentes sob a rodovia BR-101.

A solução original previa a construção de dois novos microtúneis, com diâmetro de 2,20 m e extensão de 50 m paralelos às galerias existentes. Entretanto, por questões de otimização do espaço e tempo de execução, optou-se pelo estudo de um microtúnel apenas, com formato lenticular com 4,45 m de largura e 3,41 m de altura.

Analisando a região constatou-se uma cobertura muito baixa, em torno de 1,5 m nas marginais (Figura 22) enquanto que na rodovia principal a cobertura máxima é de 2,5 m que associada ao alto fluxo de veículos confere um elevado risco de colapso à rodovia BR-101.



Figura 22 - Baixa cobertura sob a marginal da BR-101.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Além disso, existe a passagem de tubulações de gás entre a rodovia e as galerias o que impossibilita possíveis tratamentos de solo para o tipo de escavação tradicional escolhida para a obra (escavação manual).

Com a baixa cobertura do solo recomenda-se seu tratamento com técnicas especiais de reforço, como a inclusão de enfilagens tubulares, que é um método de instalação de tubos metálicos e injeção de calda de cimento com a finalidade de aumentar a estabilidade do maciço.

Por outro lado, acredita-se que com a tecnologia desenvolvida a execução da obra ocorrerá de uma forma mais segura dispensando os tratamentos no solo, em especial as enfilagens. Outra vantagem é que ao invés de dois microtúneis o equipamento proposto pode ter suas dimensões adequadas para atender a demanda em apenas um microtúnel com dimensões aumentadas, respeitando a vazão de projeto.

4.2 Resultados das Análises 3D

Os dois modelos 3D elaborados consideraram efeitos da não-linearidade do material, da escavação sequencial e da aplicação sucessiva dos elementos de suporte. Um dos aspectos mais críticos considerados na análise refere-se aos recalques da rodovia pelo processo construtivo e pelo carregamento de 25 kN/m².

No modelo da escavação manual considerou-se que a aplicação do revestimento

com a chapa corrugada era aplicado apenas após o avanço de 0,50 m da seção do túnel. Este procedimento foi adotado para simular as condições reais de execução com este método. Assim, para a escavação manual do microtúnel o valor máximo de deslocamento vertical encontrado foi de aproximadamente 0,03 m, que pode ser visualizado na Figura 23.

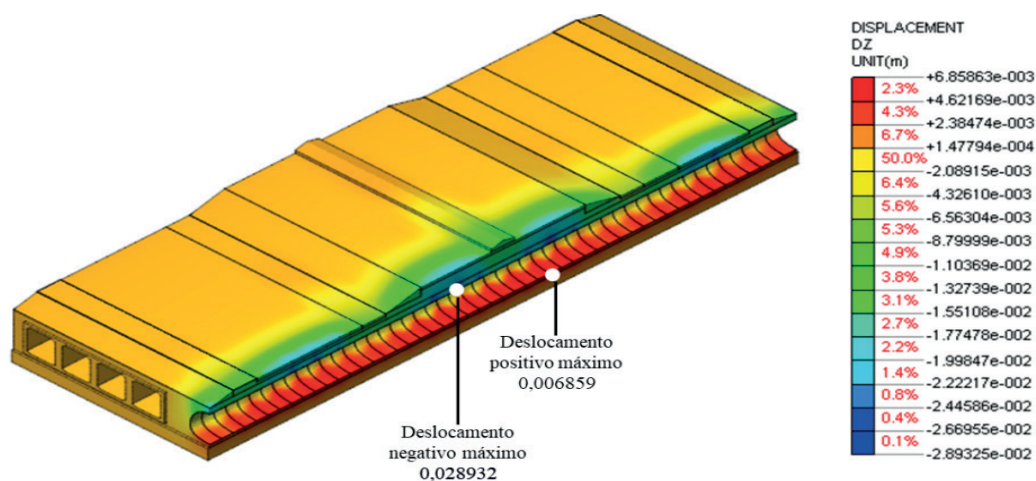


Figura 23 – Corte no modelo para apresentação dos deslocamentos verticais para a escavação manual.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Nota-se a existência de deslocamentos verticais positivos e negativos. Os deslocamentos positivos, ou seja, no sentido de baixo para cima ou do solo para a base do túnel pode ser interpretada devido à tendência de flutuação por haver uma baixa cobertura ou por questões de deformabilidade do solo que são causadas pela alta pressão do maciço que tende a empurrar a base do túnel para cima. Neste caso, o deslocamento máximo positivo é de aproximadamente 0,007 m.

Por outro lado, o deslocamento negativo representa o sentido de cima para baixo, ou seja, da rodovia para o topo do túnel e neste caso, o valor máximo encontrado foi de aproximadamente 0,030 m.

Adicionalmente, o corte mostra uma distribuição homogênea por toda a base do microtúnel com relação ao deslocamento positivo. Já os deslocamentos negativos ocorrem abaixo das rodovias, no topo do túnel, onde ocorre maior concentração de cargas devido ao fluxo de veículos.

No caso específico da utilização do equipamento desenvolvido, a análise considerou a escavação no interior da couraça, a montagem do revestimento, e a cada passo de avanço o preenchimento era aplicado imediatamente. Assim, diferentemente da escavação manual, o solo escavado nunca fica exposto, pois sempre está em contato com a couraça ou com o preenchimento.

Desta forma o resultado da análise indicou níveis relativamente baixos de recalque após a escavação do microtúnel com a nova técnica. Na pior condição de carregamento, o máximo deslocamento vertical negativo observável foi de aproximadamente 0,0045

m no topo do túnel enquanto que o máximo deslocamento vertical positivo foi de aproximadamente 0,0040 m na base do túnel conforme ilustrado na Figura 24.

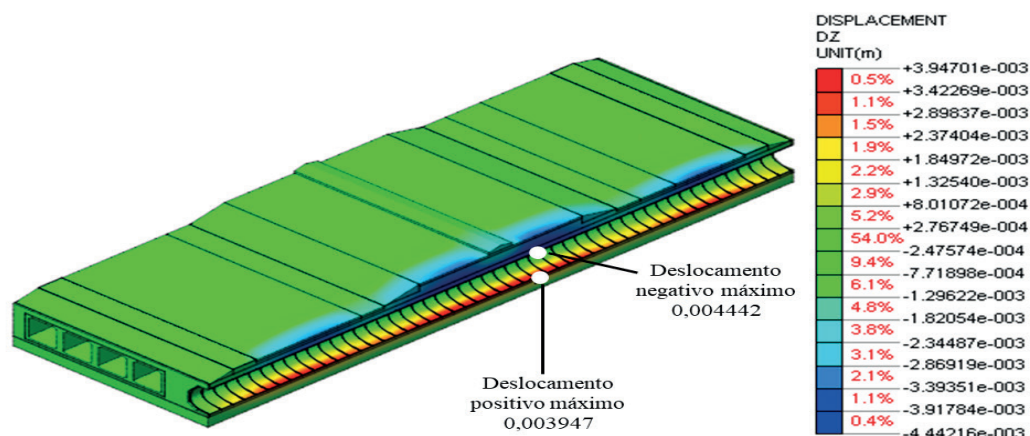


Figura 24 - Corte no modelo para apresentação dos deslocamentos verticais para a escavação semi mecanizada.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

É possível verificar os locais nos quais os deslocamentos verticais são máximos. Nota-se, portanto que o deslocamento vertical positivo máximo é de aproximadamente 0,0040 m enquanto que o deslocamento vertical negativo máximo é de 0,0045 m, conforme já mencionado.

Logo, ao analisar os deslocamentos verticais negativos nas duas situações, nota-se que houve uma redução de aproximadamente 85% comparando o uso da técnica semimecanizada desenvolvida com a execução convencional, reduzindo de 0,03 m na escavação manual para 0,0045 m na semimecanizada. Isto representa uma situação favorável no aspecto de segurança da construção da obra pois reduz o risco de colapso do solo.

5 | CONCLUSÃO

O estudo proporcionou um grau de mecanização da escavação manual com a adição de um sistema inovador de tracionamento de cabos que movimentam o equipamento sem exigir esforços do revestimento. Foram analisados os recalques no solo devido à movimentação do equipamento proposto durante a escavação e identificou-se que a escavação semimecanizada apresentou níveis de deslocamentos significativamente menores quando comparado com a escavação manual nas mesmas condições. Houve uma redução de aproximadamente 85% nos níveis de deslocamentos da escavação semimecanizada quando comparado com a escavação manual. Portanto, o conceito desenvolvido apresenta maior segurança em escavações mesmo com baixas coberturas.

Em suma, foi apresentado um conceito de um equipamento semimecanizado

para escavações em solo, com trechos retos e curtos, seguro, atuação em baixas coberturas, e com grande importância no sentido de atender as demandas de infraestruturas da sociedade brasileira.

REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHIPOUR, S. **Performance Assessment of on-grade Horizontal Directional Drilling**. Journal of Construction Engineering and Management , V. 138 pag 458-468. 2012.
- ALMEIDA, M. HDD - **Boas Práticas de Lições Aprendidas em Obras da Petrobras**. 30th International NO-DIG. São Paulo, 2012.
- BRASFIX. **Brasfix Fundações**. Disponível em: <http://www.brasfixfundacoes.com.br/furodirecional>. Acessado em 13 de Outubro de 2018.
- BROERE, W. **Urban Underground Space: Solving The Problems Of Today's Cities**. Tunnelling and Underground Space Technology V. 55, pg. 245-248, 2015.
- CHENG, M. **Developing a Risk Assessment Method for Complex Pipe Jacking Construction Projects**. Journal Automation in Construction. V. 58, pg. 48-59, 2015.
- COWELL, D. A. **Evaluation of High-Density Polyethylene Pipe Installed Using Horizontal Directional Drilling**. Journal of Construction Engineering and Management, V. 129, pg 47-55, 2003.
- FARIA, R. **Subsolo Congestionado - Prefeituras Brasileiras não têm Cadastro Unificado das Redes Subterrâneas e Concessionárias se Unem para Minimizar Acidentes em Escavações**. 2008. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/140/artigo285448-1.aspx>. Acessado em 19/10/2018.
- GODARD, J. P. **Why go Underground? Contribution of the Use of Underground Space to Sustainable Development**. ITA, AITES, 2002.
- GODARD, J. P. **Urban Underground Space and Benefits of Going Underground. World Tunnel Congress 2004 and 30th ITA General Assembly** - Singapore, 22-27 May 2004.
- HUNT, D. **Sustainable Utility Placement via Multi-Utility Tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology**. V. 39, pg. 15-26, 2014.
- LAN, H. **Prediction or Rotational Torque and Design of Reaming Program Using Horizontal Directional Drilling in Rock Strata**. Tunnelling and Underground Space Technology, V. 26, pg 415-421, 2011.
- LI, S. et al. **An Overview of Ahead Geological Prospecting in Tunneling**. Tunnelling and Underground Space Technology. V. 63, 2017, pg 69-94.
- MIDAS GTS 4.0. **Information Technology**. Seongnam-si, South Korea, Midas. [Computer software].
- NORONHA, M. **Construction of Non-Circular Tunnels with Water Jet Cutting**. International No-Dig 2012 30th International Conference and Exhibition. São Paulo, Brazil 12-14 November 2012
- OLIVEIRA, E. L. **Métodos não Destrutivos e Túneis de Multi-Utilidade: Benefícios para a Sustentabilidade das Redes de Infraestrutura Urbana**. International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2011.

PAIVA, A. R. **Escavação de Túneis de Pequenas Dimensões em Áreas Urbanizadas: Tunnel Liner e Pipe Jacking**. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, 2011.

ROYAL, A. **Pull-in Force Predictions for Horizontal Directional Drilling**. Geotechnical Engineering, V. 163, pg. 197-208, 2010.

SANTOS, R. P. dos. **Um Conceito de Tuneladora com Jato de Água e Fio Diamantado como Princípio de Corte de Rochas Brandas**. Tese apresentada ao departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

SHOU, K. **On the Frictional Property of Lubricants and its Impact on Jacking Force and Oil-Pipe Interaction of Pipe-Jacking**. Tunnelling and Underground Space Technology, V. 25, pg. 469-477, 2010.

SILVEIRA, S. R. **Aplicação da Técnica de Análise Preliminar de Risco (APR) para Avaliação de Risco no Trabalho de Tunnel Liner**. Monografia de especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

STACO, A. **Armco Staco**. Disponível em Tunnel Liner - TL circular: <http://www.armcostaco.com.br/pt/produto/3> Acessado em 19 de Novembro de 2015.

STERLING, R. L.; GODARD, J. P. **Geoengineering Considerations in the Optimum Use of Underground Space**. ITA-AITES, 2002.

SUN, Y. **Prediction of Lateral Displacement of Soil Behind the Reaction Wall Caused by Pipe Jacking Operation**. Tunnelling and Underground Space Technology, V. 40, pg. 210-217, 2014.

TERRATEC. **Products: Microtunnelling**. Disponível em: <http://terratec.co/product_details_microtunnelling> Acessado em: 22/08/2018

ZAYED, T. **Data Acquisition and Factors Impacting Productivity of Horizontal Directional Drilling (HDD)**. Tunneling and Underground Space Technology, V. 33, pg 63-72, 2013.

ZHEN, L. **Analysis and Remedial Treatment of a Steel Pipe-Jacking Accident in Complex Underground Environment**. Engineering Structures, V. 59, pg. 210-219, 2014.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-193-0

