



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Julia Beatriz Ramos Carvalho

Utilização da Metodologia de Perfuração Horizontal Direcional – PHD, na Implantação de Redes de Esgotamento Sanitário na Região Metropolitana do Recife: estudo de caso.

Cabo de Santo Agostinho - PE

2025

Julia Beatriz Ramos Carvalho

Utilização da Metodologia de Perfuração Horizontal Direcional – PHD, na Implantação de Redes de Esgotamento Sanitário na Região Metropolitana do Recife: estudo de caso.

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Pimenta Cavalcanti

Cabo de Santo Agostinho - PE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UACSA, Cabo de Santo Agostinho - PE, Brasil.
Bibliotecária – Rosimeri Gomes Couto – CRB-4/1395

C331u Carvalho, Julia Beatriz Ramos.
Utilização de metodologia de Perfuração Horizontal Direcional (PHD),
na implementação de redes de esgoto sanitário na Região Metropolitana do
Recife: estudo de caso. / Julia Beatriz Ramos Carvalho. – Cabo de Santo
Agostinho, 2025.
50 f. : il.

Orientador: Maurício Pimenta.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica do Cabo de
Santo Agostinho, 2025.
Inclui referência.

1. Perfuração horizontal direcional. 2. Vala a céu aberto. 3. Viabilidade
técnica e econômica. I. Pimenta, Maurício, orient. II. Título.

CDD 624

JULIA BEATRIZ RAMOS CARVALHO

Utilização da Metodologia de Perfuração Horizontal Direcional – PHD, na Implantação de Redes de Esgotamento Sanitário na Região Metropolitana do Recife: estudo de caso.

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 04/08/2025.

BANCA EXAMINADORA

Maurício Pimenta Cavalcanti. Prof^o. Doutor.
Universidade Federal Rural de Pernambuco

André Vinicius Azevedo Borgatto. Prof^o. Doutor.
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Robson José Silva. Prof^o. Doutor.
Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Neste momento tão significativo, gostaria de registrar minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço a Deus pela força e perseverança durante o curso. Aos meus pais, Ismael e Daniela Carvalho, e ao meu irmão Daniel Carvalho, pelo amor e apoio constantes. Ao meu noivo, Everton Leite, pelo incentivo nos estudos e na elaboração deste trabalho. Agradeço também aos familiares pelo carinho e apoio incondicional, que foram fundamentais mesmo nos momentos de dúvida. Este trabalho é fruto do amor e da paciência de todos vocês.

Aos meus colegas de faculdade, principalmente, as minhas colegas Heloisa Araujo e Adrya Thamyres agradeço pela convivência, pelas trocas de experiências, pelas discussões construtivas e, principalmente, pela parceria ao longo de toda essa caminhada acadêmica. Cada desafio superado ao lado de vocês tornou essa trajetória mais leve, mais rica e inesquecível.

Aos professores, deixo aqui minha admiração e agradecimento por todo o conhecimento transmitido, pela dedicação em sala de aula e pelo comprometimento com a formação de cada aluno. Suas contribuições foram essenciais não apenas para este trabalho, mas para toda minha vida acadêmica e profissional.

Ao meu orientador, Maurício Pimenta, expresso um agradecimento especial. Sua orientação criteriosa, paciência, disponibilidade e incentivo, foram fundamentais para o desenvolvimento deste TCC. Suas observações e sugestões enriqueceram significativamente este trabalho, e sua confiança foi um importante estímulo para que eu permanecesse até o fim.

Aos colegas de trabalho e aos meus líderes que contribuíram para minha carreira profissional, muito obrigado pelos ensinamentos, incentivo e compreensão durante os momentos em que precisei conciliar as demandas profissionais com os estudos. A colaboração e a empatia de vocês foram fundamentais para que eu conseguisse manter o equilíbrio entre essas duas importantes áreas da minha vida.

RESUMO

Considerando os desafios enfrentados em obras de infraestrutura em áreas urbanas, este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação da metodologia de Perfuração Horizontal Direcional (PHD), um método não destrutivo, na implantação de redes de esgotamento sanitário, em um estudo de caso, com foco na avaliação dos impactos técnicos e operacionais da não adoção desse método em determinados trechos. A pesquisa fundamenta-se na análise comparativa de alternativas para transpor a barreira da linha férrea na Região Metropolitana do Recife, visando identificar soluções compatíveis com as adversidades locais. Para tanto, realiza-se uma comparação entre o método convencional de Vala a Céu Aberto (VCA) e o método PHD, considerando aspectos como produtividade, viabilidade econômica, além das vantagens e desvantagens das metodologias executivas. Os resultados obtidos demonstram que a metodologia de Perfuração Horizontal Direcional apresenta maior viabilidade, tanto do ponto de vista técnico e social, ao provocar menores impactos sobre estruturas existentes e à população, bem como ao proporcionar ganhos expressivos em produtividade, resultando na redução do tempo de execução e no aumento da confiabilidade. No que tange à análise financeira comparativa, observa-se que, apesar do maior custo por metro linear, o método PHD apresenta-se como a alternativa mais vantajosa no cenário analisado. Dessa forma, conclui-se que PHD, representa uma alternativa eficiente e vantajosa não apenas para o setor de saneamento básico, mas também para outras áreas que demandam a implantação de redes subterrâneas, evidenciando a importância da capacitação técnica contínua e da incorporação de inovações, a fim de promover a escolha mais assertiva da metodologia construtiva conforme as particularidades de cada projeto.

Palavras-chave: perfuração horizontal direcional; vala a céu aberto; viabilidade técnica e econômica.

ABSTRACT

Given the challenges faced in infrastructure projects within urban areas, this study aims to analyze the application of the Horizontal Directional Drilling (HDD) methodology, a trenchless construction technique, in the implementation of sanitary sewer networks. The research is based on a case study focused on assessing the technical and operational impacts of not adopting this method in specific segments. The investigation relies on a comparative analysis of alternatives to overcome the railway barrier in the Metropolitan Region of Recife, seeking solutions compatible with the local constraints. To this end, a comparison is drawn between the conventional Open Trench Method (OTM) and the HDD method, considering factors such as productivity, economic feasibility, as well as the advantages and limitations of each execution approach. The results demonstrate that the Horizontal Directional Drilling method offers greater overall viability, both technically and socially, by reducing impacts on existing structures and surrounding communities. It also yields significant productivity gains, resulting in shorter execution times and increased operational reliability. Regarding financial analysis, despite the higher cost per linear meter, the HDD method proves to be the most advantageous alternative in the context analyzed. Thus, the study concludes that HDD is not only an efficient and beneficial solution for the sanitation sector, but also a viable option for other areas that require the installation of underground networks. The findings highlight the importance of continuous technical training and the incorporation of innovative practices to support more assertive decision-making in selecting construction methods tailored to the specific conditions of each project.

Keywords: horizontal directional drilling; open trench method; technical and economic feasibility.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Interferências subterrâneas..... | 12 |
| Figura 2 - Escavação mecanizada pela metodologia VCA..... | 13 |
| Figura 3 - Escavação mecanizada pela metodologia VCA com uso de escoramento..... | 14 |
| Figura 4 - Furo piloto..... | 15 |
| Figura 5 - Alargamento do furo piloto..... | 16 |
| Figura 6 - Puxamento da tubulação pela metodologia PHD..... | 16 |
| Figura 7 - Localização do estudo de caso..... | 18 |
| Figura 8 - Perfil de sondagem do ponto A..... | 22 |
| Figura 9 - Perfil de sondagem do ponto B..... | 23 |
| Figura 10 - Croqui representativo com cotas de saída..... | 24 |
| Figura 11 - Localização da travessia na faixa de domínio da ferrovia..... | 25 |
| Figura 12 - Traçado da rede em comparação com a execução pelo método VCA e PHD..... | 26 |
| Figura 13 - Croqui de um projeto de EEE de rua compacta como modelo a ser adotado no estudo..... | 27 |
| Figura 14 - Dados de produtividade média de assentamento de rede utilizando PEAD pela metodologia VCA..... | 29 |
| Figura 15 – Planta de locação da travessia pelo método PHD..... | 30 |
| Figura 16 - Perfil longitudinal da travessia pelo método PHD..... | 31 |
| Figura 17 - Resumo comparativo entre PHD e VCA..... | 33 |
| Figura 18 - Furo piloto para realização da travessia na linha férrea do metrô na Av. Dr. Julio Maranhão, Cajueiro Seco, Jaboatão dos Guararapes, PE..... | 34 |
| Figura 19 - Utilização do receptor para guiar o furo piloto dentro e fora da faixa de domínio da linha férrea..... | 34 |
| Figura 20- Utilização do alargador para aumento do furo e posterior puxe da tubulação..... | 35 |
| Figura 21 - Entroncamentos das redes existentes tanto do lado de Prazeres quanto de Cajueiro Seco e elevação dos poços de visita..... | 35 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 2 | OBJETIVOS | 10 |
| 2.1 | GERAL..... | 10 |
| 2.2 | ESPECÍFICOS..... | 10 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 3.1 | DESAFIOS DA IMPLANTAÇÃO DE REDES EM ÁREAS URBANAS | 11 |
| 3.2 | MÉTODO CONVENCIONAL DE VALA A CÉU ABERTO (VCA)..... | 13 |
| 3.3 | MÉTODO DE PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRECIONAL (PHD)..... | 14 |
| 3.4 | VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS PHD E VCA EM CONTEXTOS URBANOS..... | 16 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 18 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 18 |
| 4.2 | PLANEJAMENTO TECNICO-OPERACIONAL | 18 |
| 4.3 | ANÁLISE DO TRAÇADO E MÉTODO CONSTRUTIVO | 19 |
| 4.4 | AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA | 19 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 21 |
| 5.1 | LEVANTAMENTOS TÉCNICOS PRELIMINARES | 21 |
| 5.2 | DEFINIÇÃO DO MÉTODO EXECUTIVO COM BASE NAS ALTERNATIVAS DE TRAÇADO, PRODUTIVIDADE E CUSTO | 24 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 36 |
| | REFERÊNCIAS | 38 |
| | APÊNDICE A - Planilha Orçamentária Sintética com Base na Metodologia PHD.. | 41 |
| | APÊNDICE B - Planilha Orçamentária Sintética com Base na Metodologia VCA – Com premissa da EEE de Rua..... | 44 |
| | APÊNDICE C - Planilha Orçamentária da Execução da EEE de Rua Compacta.... | 46 |

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um direito fundamental e um dos pilares essenciais para a promoção da saúde pública, qualidade de vida e desenvolvimento socioeconômico, no entanto, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos nesse setor. De acordo com o censo de 2022 do IBGE, cerca de 24,3% da população brasileira, equivalente a aproximadamente 49 milhões de pessoas, vivem em domicílios sem acesso adequado a serviços de saneamento básico (IBGE, 2024). Essa deficiência compromete não apenas o bem-estar da população, mas também a preservação ambiental e o crescimento urbano sustentável.

Em razão dos dados apontarem deficiência no saneamento básico, torna-se fundamental reverter este cenário, nesse contexto, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), é um instrumento de planejamento do Governo Federal que estabelece diretrizes, metas e ações para a universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil e pretende-se alcançar, o atendimento de 90% (noventa por cento) dos domicílios residenciais ocupados com coleta e tratamento de esgotos, até 31 de dezembro de 2033 (ANA, 2023). Nesse contexto, os investimentos no setor têm se intensificado, impulsionando a execução de novas obras de infraestrutura sanitária, com o propósito de atender às metas pactuadas.

Inserido nesse panorama de expansão dos serviços de esgotamento sanitário, este trabalho tem como foco a análise da execução de uma travessia de rede de esgoto sob linha férrea localizada na Avenida Doutor Júlio Maranhão Nona, no bairro de Cajueiro Seco, cidade de Jaboatão dos Guararapes – PE. A intervenção visa dar continuidade ao sistema de esgotamento sanitário, atualmente interrompido pela faixa de domínio da ferrovia. Dada a complexidade do local e a necessidade de preservação da infraestrutura ferroviária existente, tornou-se imprescindível a avaliação técnica de alternativas executivas viáveis para transpor essa barreira física com segurança e eficiência.

Nesse contexto, foram comparados os métodos executivos de implantação por vala a céu aberto (VCA) e por Perfuração Horizontal Direcional (PHD), considerando aspectos técnicos, operacionais, produtivos e econômicos.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Apresentar um estudo de caso que emprega o método de Perfuração Horizontal Direcional (PHD), demonstrando sua eficácia, redução de tempo e impacto na sociedade como alternativa de travessia para linha férrea.

2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar o comparativo entre as metodologias de implantação de rede convencional VCA e a metodologia não destrutiva de PHD;
- Comparar a produtividade da implantação da rede de esgotamento sanitário pelo método de PHD em relação ao método convencional de vala a céu aberto (VCA);
- Realizar comparativo financeiro entre o método VCA e o PHD;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

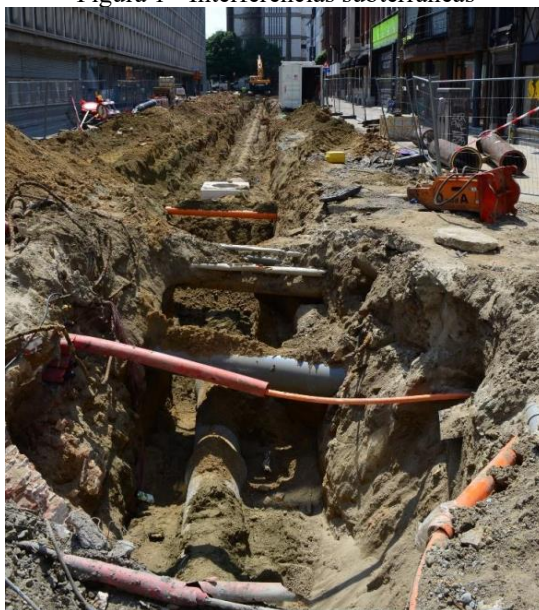
O saneamento básico compreende um conjunto de serviços fundamentais à saúde pública e ao bem-estar social. No Brasil, o setor é regulamentado pela Lei nº 11.445/2007, atualizada pelo novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, reconhecendo-o como um direito fundamental assegurado pela Constituição Federal. Conforme o Art. 3º da referida lei, são considerados componentes do saneamento básico os serviços, as infraestruturas e as instalações operacionais relacionadas ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, além da drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Tais serviços exercem influência direta sobre a saúde coletiva, o bem-estar da população e o desenvolvimento socioeconômico das comunidades (Brasil, 2007). Sua principal função é proteger a saúde pública, o meio ambiente e a qualidade dos recursos hídricos, prevenindo a contaminação de solos e corpos de água, o marco estabelece metas ambiciosas, como a universalização do acesso à água potável e ao esgotamento sanitário até 2033 (Brasil, 2020).

O esgotamento sanitário, um dos serviços que englobam o saneamento básico, refere-se ao conjunto de ações voltadas ao manejo das águas residuais, que têm suas características naturais alteradas após o uso humano — seja ele doméstico, comercial ou industrial. Seu correto tratamento antes do lançamento em corpos hídricos, como rios, lagos ou mares, é essencial para mitigar riscos à saúde pública. Quando descartado de forma inadequada, o esgoto pode se tornar vetor de diversas doenças, como febre tifoide, esquistossomose e teníase. Assim, a destinação correta dos dejetos, aliada à educação sanitária, é fundamental para preservar os recursos hídricos e garantir condições dignas de vida à população (Instituto Trata Brasil, 2012).

3.1 DESAFIOS DA IMPLANTAÇÃO DE REDES EM ÁREAS URBANAS

A implantação de redes de esgotamento sanitário em áreas urbanas densamente povoadas representa um dos maiores desafios técnicos e logísticos da infraestrutura urbana. Nessas regiões, a presença de edificações consolidadas, o tráfego intenso e a complexidade do subsolo dificultam significativamente a execução das obras. Além disso, há a coexistência de diversas outras redes subterrâneas, como as de abastecimento de água, gás, energia elétrica, fibra óptica e drenagem urbana, o que aumenta o risco de interferências técnicas e de acidentes operacionais.

Figura 1 - Interferências subterrâneas



Fonte: Santos, 2015, p. 23.

A limitação de espaço físico, tanto na superfície quanto no subsolo, agrava a situação e dificulta a implantação de novas infraestruturas. Segundo Santos (2015), o congestionamento do subsolo urbano pode ser entendido como o resultado de uma ocupação desordenada e sucessiva ao longo do tempo, característica comum em áreas de urbanização antiga. Esse cenário gera sérias interferências entre os sistemas existentes, refletindo a ausência de planejamento integrado entre as diversas concessionárias de serviços públicos (Santos, 2013, *apud* Santos, 2015, p. 22).

Além dos desafios técnicos, há impactos significativos à população local durante as intervenções em vias públicas. Os transtornos incluem interdições de ruas, aumento do congestionamento viário, poluição sonora e atmosférica, riscos à segurança de pedestres e danos potenciais a edificações vizinhas. Esses fatores tornam a execução de obras de saneamento ainda mais complexa em centros urbanos consolidados.

Para a implantação de redes de esgoto, dois métodos são os mais utilizados: o de vala aberta e o de perfuração horizontal direcional.

3.2 MÉTODO CONVENCIONAL DE VALA A CÉU ABERTO (VCA)

A escavação por vala a céu aberto (VCA) é uma técnica tradicional amplamente utilizada na implantação de redes subterrâneas de esgotamento sanitário, drenagem e outras infraestruturas. Consiste na abertura linear do solo até a profundidade necessária para o assentamento das tubulações, podendo ser executada manualmente ou com equipamentos mecânicos (ver Figura 02), conforme as condições do solo e do projeto.

Apesar de consolidada, a metodologia apresenta desafios em áreas urbanas densamente ocupadas, exigindo cuidados técnicos e medidas rigorosas de segurança. Segundo a NBR 9061:1985, escavações com profundidade superior a 1,25 metros devem receber escoramento, salvo se comprovada a estabilidade do terreno por profissional habilitado. Além disso, é fundamental o controle do lençol freático, por meio de sistemas de rebaixamento (ver Figura 3), para evitar instabilidade e colapsos (Pinto, 2006). A técnica, embora eficiente, pode causar transtornos em áreas urbanas, como interdições, ruídos e impactos à mobilidade, sendo mais demorada e exigente em termos de mão de obra e equipamentos.

Figura 2 - Escavação mecanizada pela metodologia VCA.



Fonte: HC Panini, 2025.

Figura 3 - Escavação mecanizada pela metodologia VCA com uso de escoramento.



Fonte: MF Rural, 2025.

3.3 MÉTODO DE PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRECIONAL (PHD)

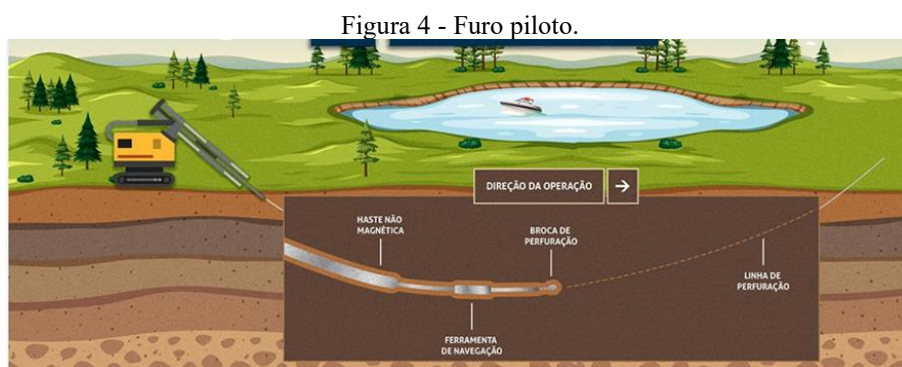
Os Métodos Não Destrutivos (MND), como o PHD, consiste na instalação, reparo ou substituição de infraestruturas subterrâneas, com pouca escavação, menor impacto no sistema viário e pouco ou nenhum impacto no entorno da obra. “Os centros urbanos com tráfegos intensos, a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida são fatores que demandam métodos inteligentes, menos agressivos ao meio ambiente, mais rápidos e menos custosos. Os Métodos Não Destrutivos foram desenvolvidos para exatamente atender esta crescente necessidade” (Abratt, 2023).

O PHD surgiu nos Estados Unidos entre as décadas de 1960 e 1970, adaptando máquinas de perfuração vertical usadas na extração de petróleo. Sua primeira aplicação ocorreu em 1972, com a travessia do rio Pajaro para a instalação de um gasoduto, revolucionando o mercado de instalação de dutos para diversos setores, como telefonia, água e esgoto (Bueno, 2023). A tecnologia evoluiu rapidamente a partir de 1979, possibilitando furos de até 2 km (Hart Energy, 2005). No Brasil, a técnica é aplicada há muito tempo em túneis rodoviários e metroviários, com maior expansão nas redes urbanas de água, esgoto e energia. Em 2023, a

ABNT lançou a norma NBR 17004, regulamentando o uso seguro e eficiente da PHD, garantindo menor impacto ambiental e preservação das infraestruturas existentes.

Sua execução deve seguir etapas técnicas específicas, conforme a ABNT NBR 17004:2023, garantindo segurança da obra, das estruturas existentes e do meio ambiente. A NBR 17167:2024 complementa essas diretrizes para prevenir danos em infraestruturas subterrâneas. Antes de iniciar a perfuração, realiza-se um levantamento de campo e identificação de interferências por meio de inspeções visuais e técnicas não destrutivas, como georradar e pipelocator, que mapeiam estruturas enterradas sem alterar suas propriedades físicas. Com o traçado definido, a execução ocorre em três etapas principais.

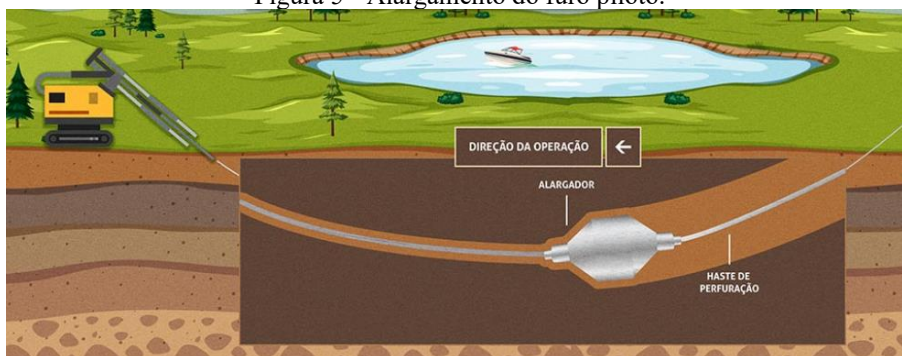
A primeira etapa do PHD consiste na perfuração inicial (ver Figura 04) do trajeto com uma broca de tungstênio, acionada por uma máquina perfuratriz que gera força de empuxo e rotação. Durante o processo, são usados fluidos de perfuração, geralmente à base de bentonita, para lubrificar, remover resíduos e estabilizar as paredes do furo. A trajetória da broca é controlada por um localizador eletrônico que fornece, em tempo real, informações como profundidade, rotação, inclinação, temperatura e pressão do fluido, exigindo análise especializada.



Fonte: Adaptado de ALITER, 2022.

Após a conclusão do furo piloto, realiza-se o alargamento para adequar o diâmetro ao da tubulação, utilizando uma ou mais passagens com alargadores conforme mostrado na Figura 05. O diâmetro final deve ser, no mínimo, 1,5 vezes o diâmetro externo da tubulação (ABNT, 2023). Um distorcedor é acoplado antes do tubo para evitar que a rotação do alargador danifique o material.

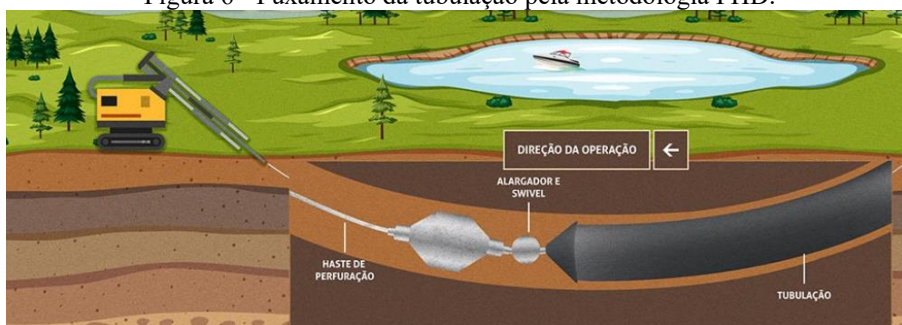
Figura 5 - Alargamento do furo piloto.



Fonte: Adaptado de ALITER, 2022.

Na etapa final, a tubulação definitiva, geralmente em PEAD ou aço, é soldada à extremidade da haste por meio de uma peça chamada cabeça de puxamento e então puxada em direção a perfuratriz, conforme demonstrado na Figura 06. O conjunto tubulação-cabeça-distorcedor é, então, tracionado de volta pelo furo alargado e nesse momento, mantém-se o uso de fluido bentonítico para lubrificação, reduzindo o atrito e garantindo a integridade do tubo.

Figura 6 - Puxamento da tubulação pela metodologia PHD.



Fonte: Adaptado de ALITER, 2022.

3.4 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS PHD E VCA EM CONTEXTOS URBANOS

O PHD apresenta-se como uma alternativa tecnicamente vantajosa ao método VCA, principalmente em ambientes urbanos com alta densidade de interferências e restrições de espaço. Entre seus principais benefícios estão o menor impacto urbano e ambiental, maior segurança na execução — ao evitar escavações abertas — e maior eficiência operacional, com redução do tempo de obra em quase todos os projetos e menor transtorno à população. A técnica também é recomendada em solos instáveis ou com presença de lençol freático, onde o método convencional exigiria escoramento e rebaixamento do lençol, elevando os custos e a complexidade da intervenção (Dias, 2022).

Por outro lado, a PHD exige maior especialização técnica, uso de equipamentos específicos e mão de obra qualificada, sendo necessário trabalhadores com conhecimento técnico e habilidades adquiridas por meio de formação para a atividade em questão, resultando em custos iniciais mais elevados. Ademais, a impossibilidade de inspeção visual durante a perfuração demanda planejamento geotécnico rigoroso e pode tornar obstáculos inesperados um risco à execução.

A vala a céu aberto, por sua vez, é amplamente utilizada por sua simplicidade operacional, menor custo inicial e facilidade de inspeção direta durante a escavação. No entanto, traz impactos significativos à mobilidade urbana, ao meio ambiente e à segurança do trabalho, especialmente em áreas urbanizadas com grande fluxo de veículos e pedestres. Dessa forma, a escolha entre os métodos deve considerar não apenas o custo direto, mas também aspectos técnicos, operacionais e sociais.

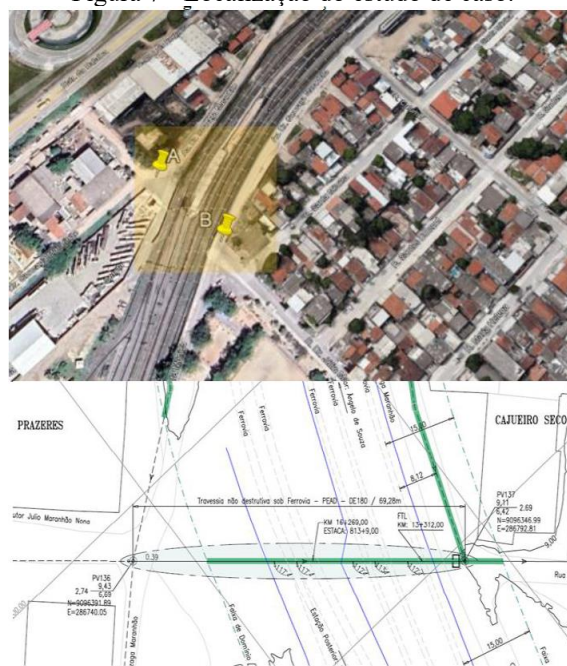
Nesse cenário, a produtividade torna-se um fator central na escolha do método construtivo. De acordo com Maeda (2001, *apud* Pinto, 2015), a produtividade é resultado da combinação entre efetividade — o grau de alcance dos resultados — e eficiência — o uso adequado dos recursos. Leite (2002, *apud* Faletti; Ghisleni, 2012 *apud* Pinto, 2015) destaca que o estudo da produtividade da mão de obra permite prever recursos necessários, estimar prazos e otimizar os métodos adotados. Assim, métodos mais eficientes, como os não destrutivos, possibilitam maior rendimento com menor tempo de execução e redução de custos operacionais. Em áreas urbanas, onde o tempo de obra impacta diretamente o comércio, o tráfego e o cotidiano da população, métodos que promovem agilidade são ainda mais vantajosos. Dessa forma, a escolha da técnica deve considerar não apenas os custos iniciais, mas o custo global da obra, levando em conta a integração entre planejamento, tecnologia e controle.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo de caso localiza-se no Estado de Pernambuco, cidade de Jaboatão dos Guararapes, bairro de Cajueiro Seco, Avenida Dr. Júlio Maranhão Nona, 2-64, próximo à linha de metrô da estação Cajueiro Seco.

Figura 7 - Localização do estudo de caso.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025.

4.2 PLANEJAMENTO TECNICO-OPERACIONAL

A obra de saneamento em Cajueiro Seco tinha como sua finalidade, transpor a linha férrea, entretanto, ainda possuía algumas particularidades, como a existência de cotas pré-definidas de saída, uma vez que já haviam sido executados mais de 1.400 km de rede em trechos anteriores. O segmento em questão atravessava áreas sob jurisdição de órgãos públicos, o que demandou a obtenção de autorizações específicas para sua execução. Dentre essas exigências, destacam-se as anuências da Ferrovia Transnordestina Logística (FTL) e da Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), responsáveis pela gestão da faixa de domínio ferroviária. Adicionalmente, foi necessária a aprovação da Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes, abrangendo tanto a liberação do órgão de trânsito quanto a regularização ambiental por meio do licenciamento correspondente.

Do ponto de vista técnico-operacional, a execução segura e eficiente da obra demandou investigações preliminares do subsolo, por meio de sondagens geotécnicas, as quais fornecem informações essenciais sobre as características físicas e mecânicas do solo, seu comportamento frente às tensões aplicadas e a presença de lençol freático (Dias, 2022). Complementarmente, o levantamento topográfico foi imprescindível para a definição do traçado da rede, ao fornecer dados precisos sobre relevo, cotas e geometria do terreno. A detecção de interferências pré-existentes no subsolo — como tubulações, redes elétricas ou fundações — também constituiu uma etapa crítica, influenciando diretamente na escolha do método construtivo mais viável.

4.3 ANÁLISE DO TRAÇADO E MÉTODO CONSTRUTIVO

Em função da barreira física imposta pela presença da linha férrea, torna-se necessária a análise de alternativas de traçado para viabilizar a implantação da rede coletora de esgoto. A primeira proposta considerou a execução do trecho utilizando o método VCA, metodologia mais adotada para implantação de redes, de forma a ligar o ponto de saída e chegada em linha reta, transpassando a faixa de domínio e os trilhos.

Como segunda alternativa, avaliou-se a possibilidade de executar a travessia da tubulação por meio do PHD, método não destrutivo que possibilita a instalação subterrânea da infraestrutura sem necessidade de intervenção direta sobre os trilhos.

Além dessas opções, considerou-se mais uma estratégia, baseada no redesenho do traçado da rede coletora. Essa abordagem buscou, a partir da malha urbana atual, identificar trechos com melhores condições técnicas para o assentamento das tubulações, respeitando os parâmetros de arruamento, acessibilidade das vias e as limitações impostas pela faixa de domínio da ferrovia.

4.4 AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA

A definição das diretrizes executivas do trecho também levou em consideração a produtividade média das equipes. Foram comparadas as estimativas de rendimento e tempo de execução entre o método tradicional VCA e o PHD, com base na produtividade registrada pela mesma equipe de atividades similares de assentamentos de rede de esgoto, porém em trechos diferentes.

Outro parâmetro decisivo foi o custo global de execução. Para isso, foi realizado um levantamento detalhado dos serviços envolvidos em cada método, incluindo etapas como demolição, escavação, reaterro, recomposição de pavimento, instalação de tubulações e demais custos operacionais. Os valores foram baseados em referências oficiais, como as tabelas do SINAPI e COMPESA garantindo uma padronização e confiabilidade aos dados orçamentários, além de alguns valores de mercado.

A análise conjunta desses fatores — traçado, produtividade e custos — possibilitou uma avaliação técnica comparativa entre as alternativas propostas. Como resultado, identificou-se o método construtivo mais adequado para o trecho em estudo, priorizando soluções com menor impacto urbano, maior eficiência operacional e melhor custo-benefício. Esses dados contribuíram para o embasamento técnico da decisão aplicada no estudo de caso, além de fornecer subsídios relevantes para projetos futuros de saneamento básico em áreas com restrições similares.

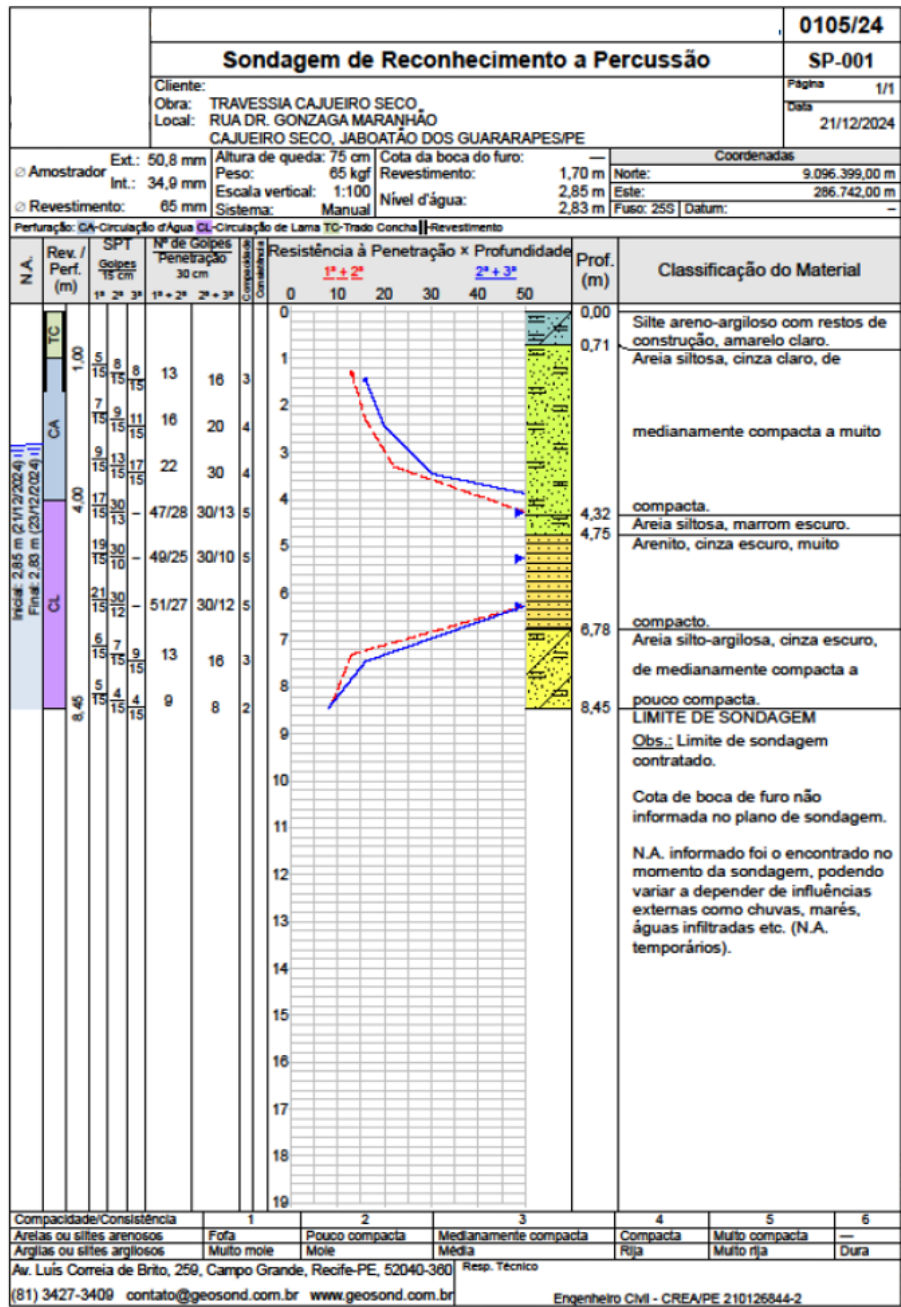
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas análises desenvolvidas ao longo do estudo sobre a implantação para a transposição da barreira da linha férrea do metrô em Cajueiro Seco – Jaboatão dos Guararapes, este tópico apresenta os principais resultados e suas respectivas discussões. O objetivo foi avaliar as soluções mais adequadas ao contexto do estudo de caso, buscando compreender os impactos e benefícios de cada alternativa, de modo a fornecer embasamento técnico fundamentado para a tomada de decisão do método empregado na execução da obra.

5.1 LEVANTAMENTOS TÉCNICOS PRELIMINARES

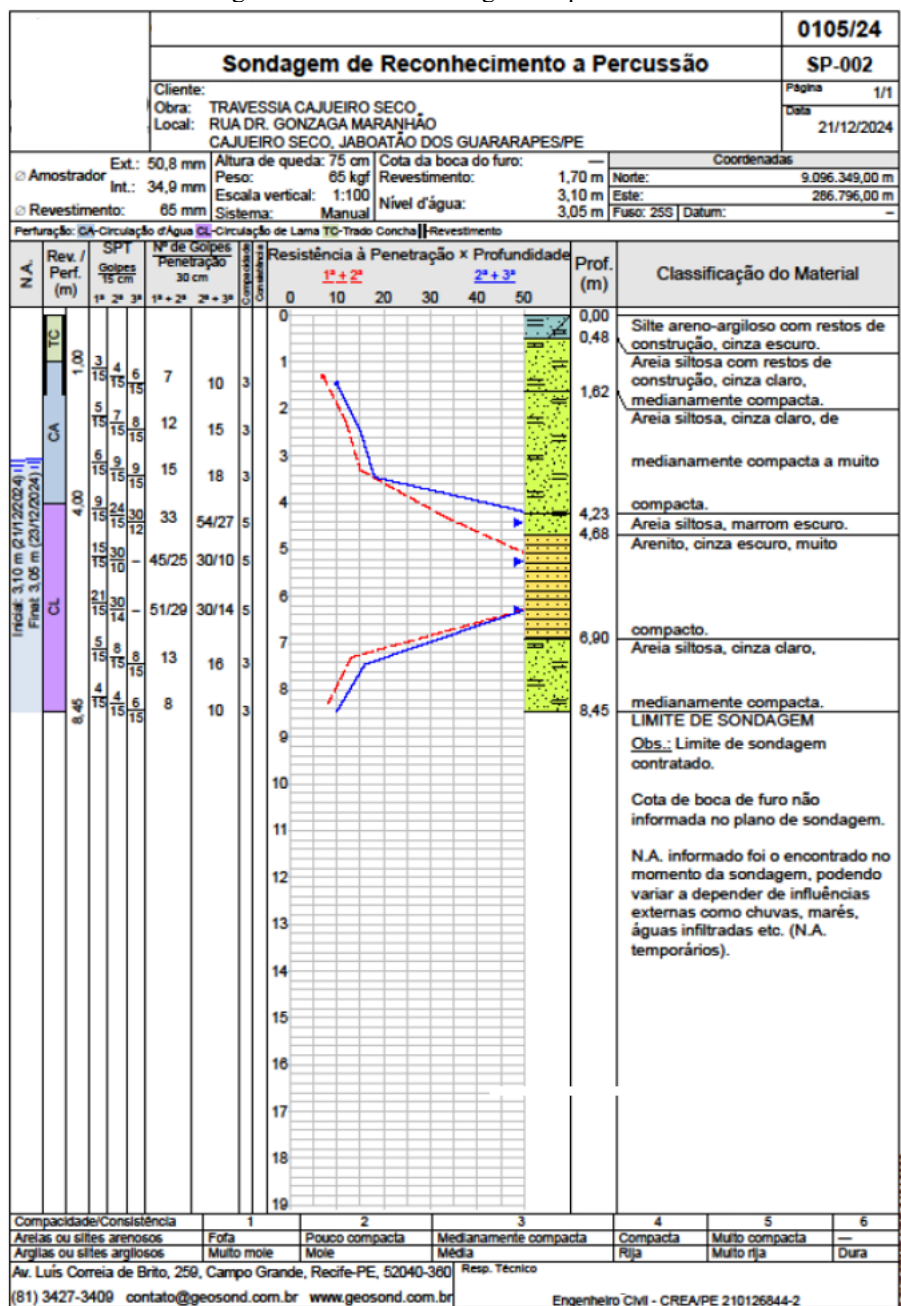
Para realizar a implantação do trecho e conseguir dar continuidade a rede coletora de esgoto, inicialmente foi realizada sondagens geotécnicas, em dois pontos, com o objetivo de caracterizar o perfil do solo (ver Figuras 08 e 09) e identificar possíveis interferências subterrâneas, a fim de avaliar a viabilidade técnica da execução e escolher a melhor metodologia. Essa etapa foi fundamental para garantir a segurança e a eficiência do projeto, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6484:2020, que normatiza os procedimentos de sondagem a percussão com Standard Penetration Test - SPT.

Figura 8 - Perfil de sondagem do ponto A.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025.

Figura 9 - Perfil de sondagem do ponto B.

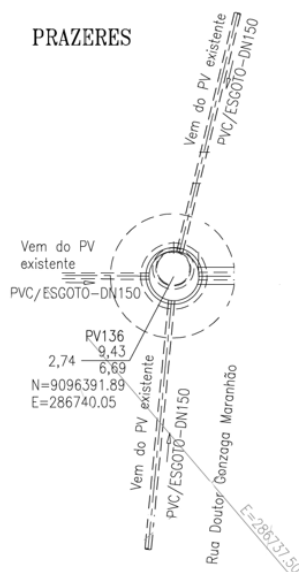


Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025.

Os resultados obtidos indicam que o subsolo é predominantemente arenoso e areno-siltoso, com NSPT médio de 15, entre as profundidades de 2,00 m e 3,00 m, com presença de água abaixo dos 2,00m. Ainda assim, alerta-se para os cuidados devido à baixa coesão, maior suscetibilidade à deformação e instabilidade.

Complementarmente à investigação geotécnica, foi realizado o levantamento topográfico com precisão, conforme os critérios definidos pela ABNT NBR 13133:2022, visando à determinação exata das cotas altimétricas dos pontos de partida e chegada da rede coletora. Considerando a existência de redes previamente implantadas, a cota de saída, do lado Prazeres, foi definida em função destas, sendo então necessária a implantação da nova tubulação a uma profundidade de 2,74 metros.

Figura 10 - Croqui representativo com cotas de saída.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025.

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS EXECUTIVOS COM BASE NAS ALTERNATIVAS DE TRAÇADO, PRODUTIVIDADE E CUSTO.

Com base nas investigações geotécnicas e do levantamento planialtimétrico, foi formalizada a comunicação junto à CBTU e à Ferrovia FTL, com a finalidade de apresentar o projeto executivo e requerer a autorização para a execução da travessia da linha férrea por meio do método convencional VCA.

Após a formalização do contato, ambas as instituições consideraram inviável a execução da travessia por meio do método de vala a céu aberto (VCA), uma vez que essa alternativa demandaria a interrupção temporária da operação ferroviária em razão do cruzamento direto com os trilhos (Figura 11) e ocasionaria transtornos significativos à mobilidade urbana e à segurança da população do entorno. Além de potenciais riscos à

estabilidade do solo, previamente submetido a técnicas de melhoramento para garantir o desempenho da via permanente. Diante dessas restrições, a CBTU e a FTL condicionaram a execução da obra à adoção de métodos não destrutivos, como a perfuração horizontal direcional (PHD), de modo a assegurar a preservação da infraestrutura ferroviária existente e a continuidade ininterrupta dos serviços de transporte público.

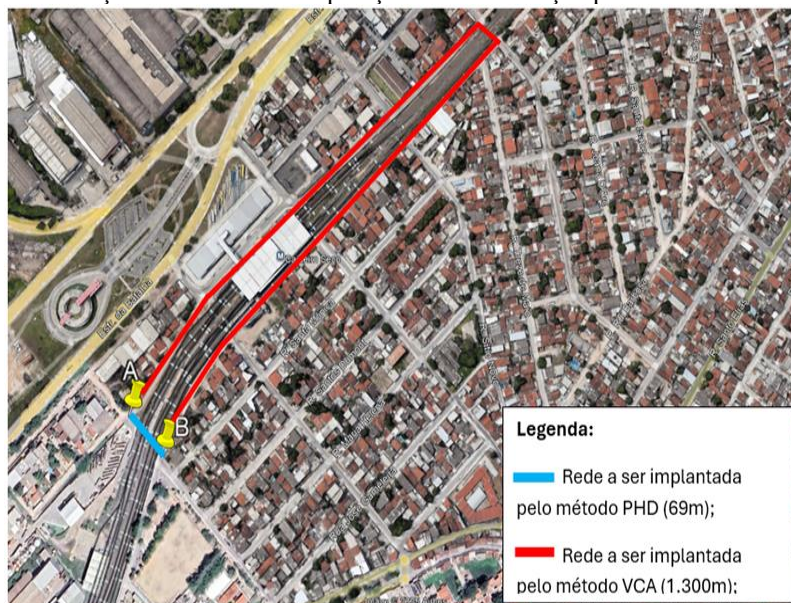
Figura 11 - Localização da travessia na faixa de domínio da ferrovia



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

Considerando, portanto, a inviabilidade da adoção do método de vala a céu aberto (VCA) para a execução da travessia, tornou-se necessário avaliar alternativas construtivas que viabilizassem a implantação da rede sem interferir no tráfego ferroviário. Dentre as possibilidades identificadas, destacou-se a existência de um pontilhão — estrutura que permite a passagem de veículos e pedestres — localizado a aproximadamente 1.300 metros do ponto de saída originalmente previsto. A utilização desse ponto de travessia permitiu a execução da obra pelo método convencional, contudo, exige o redirecionamento do traçado da rede coletora por vias públicas de grande movimento, incluindo rotas de ônibus, pois afetaria o Terminal Integrado de Passageiros (TIP) de Cajueiro Seco, vide Figura 12.

Figura 12 - Traçado da rede em comparação com a execução pelo método VCA e PHD



Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH, 2025

Para fins de dimensionamento, foi considerada a cota altimétrica inicial do ponto A, situada 2,74 metros de profundidade — conforme levantamento topográfico — aplicando-se uma declividade mínima de 1%, conforme estabelecido pela ABNT NBR 8160:1999 (Instalações prediais de esgoto sanitário) e assumindo uma cota de terreno constante, temos:

$$\text{Declividade} = \frac{\text{Diferença de altura}}{\text{Distância}} \quad (1)$$

Ou seja,

$$\Delta h = \text{Declividade} \times \text{Distância} \quad (2)$$

Dados:

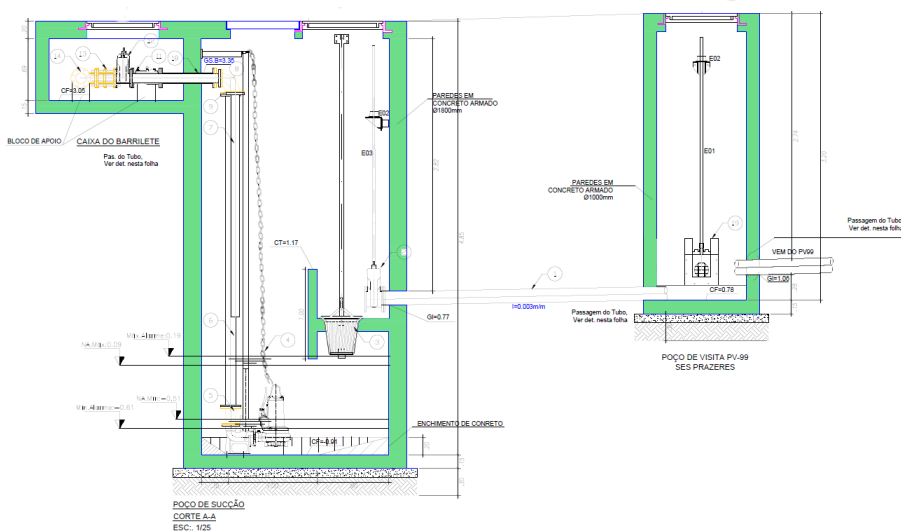
- Profundidade inicial = 2,74 m
- Declividade = 0,01 (ou 1%)
- Comprimento = 1.300 m

Essa profundidade de 15,74m, tornou inviável sob a perspectiva técnica a execução da rede por VCA, devido à complexidade da escavação em grandes profundidades, somando-se a

isso, já é possível prever um aumento significativo em relação ao custo, quando comparado a outra metodologia, devido aos altos volumes de demolição de pavimento, escavação, movimentação de terra, rebaixamento de lençol freático, escoramento e posterior recomposição visto a extensão do traçado.

Outrossim, como solução para vencer a profundidade e continuar a utilizar o método convencional, foi pensada na utilização de um Estação Elevatória de Esgoto (EEE) compacta, solução técnica utilizada em sistemas de esgotamento sanitário para bombear o esgoto em locais onde o escoamento por gravidade não é possível, como no caso em questão. A EEE possibilita a transposição de desníveis no terreno, otimizando o traçado da rede e permitindo que a tubulação seja instalada em profundidade reduzida e constante, suficiente apenas para garantir o recobrimento necessário e transpor as interferências do subsolo. Como o efluente a ser transportado pela tubulação passa a ser bombeado, o sistema independe da declividade natural do terreno, transformando a rede de gravidade para uma rede bombeada, conhecida também como linha de recalque, mantendo a continuidade da rede com segurança e eficiência operacional.

Figura 13 - Croqui de um projeto de EEE de rua compacta como modelo a ser adotado no estudo



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

Com a adoção da EEE compacta, a linha de recalque passa a ter seu material de tubulação modificado de PVC Ocre 150 mm para PEAD 180 mm por ser mais resistente e suportar a pressão. Por manter a característica de uma rede pressurizada, tornou-se possível manter a escavação a uma profundidade constante de aproximadamente 1,50 metros, o que

proporciona vantagens operacionais de produtividade. Esse valor é definido baseado a uma profundidade útil de 1,30 metros, suficiente para evitar interferências com outras infraestruturas enterradas, como redes de drenagem pluvial, gás e telecomunicações, ao mesmo tempo em que atende ao recobrimento mínimo exigido pelo fabricante para a tubulação de PEAD, que é de 0,90 metros, somando-se ainda os 0,18 metros correspondentes ao diâmetro do tubo.

No caso específico da utilização de tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com diâmetro nominal de 180 mm, os segmentos comerciais disponíveis geralmente são fornecidos em barras de 12,00 metros, e neste tipo de material, para união e garantia da integridade do sistema, é necessária a execução de soldas por termofusão, fundamentais para redes pressurizadas.

A produtividade de assentamento de rede para essa estratégia foi estimada com base em indicadores operacionais obtidos a partir do desempenho médio da mesma equipe que executou serviços semelhantes de implantação de rede de esgoto em outro trecho do mesmo sistema. Para o cálculo dessa média, foram considerados parâmetros como a faixa de profundidade da escavação e a taxa de produção diária registrada nas frentes de trabalho anteriores. Portanto, foi possível identificar que para o método VCA, com profundidade média de 1,45 metros — valor compatível com o cenário do presente estudo, cuja profundidade projetada é de 1,50 metros — e utilizando tubulações em PEAD, o rendimento médio registrado é de 44 metros lineares por dia (conforme Figura 14). Essa produtividade contempla a escavação mecanizada e o processo de termofusão, cuja duração estimada para tubos de diâmetro nominal de 180 mm varia de 16 a 20 minutos por junta, considerando o tempo de faceamento, aquecimento, união dos segmentos e resfriamento adequado.

Figura 14 - Dados de produtividade média de assentamento de rede utilizando PEAD pela metodologia VCA

| CONTROLE PRODUTIVIDADE - VCA PEAD | | | | | | | | | | | Data de atualização: | |
|--------------------------------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------|
| | | | | | | | | | | | 08/07/2025 | |
| BACIA: SES PRAZERES | | | | | | | | | | | | |
| ENDEREÇO: JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE | | | | | | | | | | | | |
| Data | Período | Pluviometria (mm) | Frentes de Serviço | Escavação (m) | Assentamento de tubo (m) | Reaterro (m) | Recomposição 1ª Camada (m) | Ligação domiciliar (und) | Assentamento de PV's (und.) | Média Assentamento por frente | Média Assentam | Prof. Média |
| 12/03/2025 | MARÇO | 1,5 | 1 | 45 | 36 | 24 | - | - | - | 36,00 | 44,33 | 1,45 |
| 13/03/2025 | MARÇO | 0 | 1 | 72 | 60 | 48 | - | - | - | 60,00 | | 1,45 |
| 14/03/2025 | MARÇO | 0 | 1 | 55 | 48 | 36 | - | - | - | 48,00 | | 1,45 |
| 17/03/2025 | MARÇO | 9,9 | 1 | 60 | 38 | 26 | 72 | - | - | 38,00 | | 1,45 |
| 18/03/2025 | MARÇO | 47 | 1 | 50 | 24 | 12 | - | - | - | 24,00 | | 1,45 |
| 19/03/2025 | MARÇO | 0 | 1 | 73 | 60 | 48 | - | - | - | 60,00 | | 1,45 |

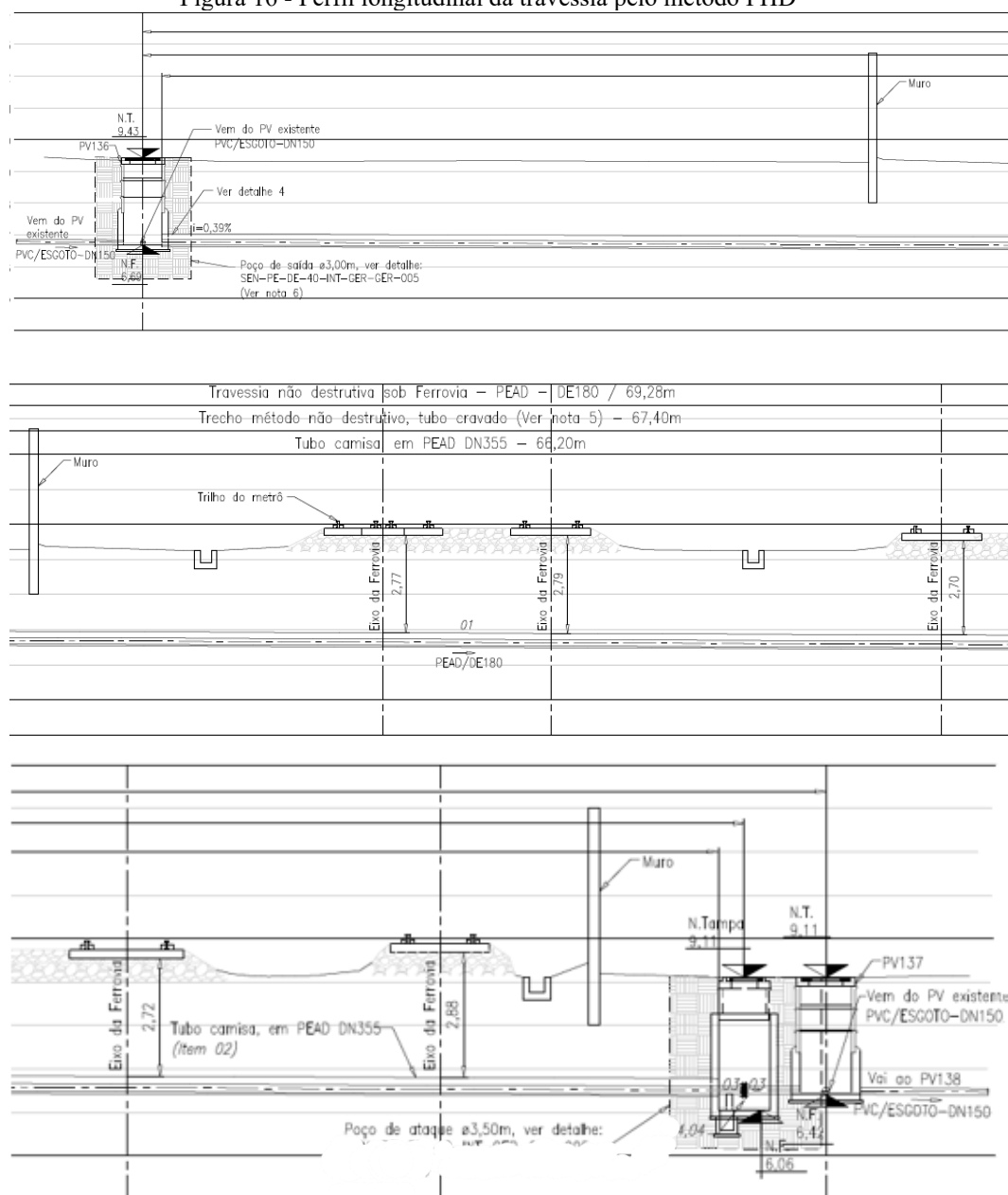
Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

Dessa forma, estimou-se que a execução de uma linha de recalque com extensão de 1.300 metros demandaria aproximadamente 30 dias de trabalho. Somando-se, para a implantação de uma estação elevatória de esgoto (EEE) compacta, com base nos cronogramas adotados em projetos executados na mesma região, o prazo médio estimado é de 58 dias, englobando tanto a escavação e parte civil, quanto a montagem hidráulica dos equipamentos. Essa estimativa buscou garantir parâmetros realistas de planejamento e cronograma físico, essenciais para avaliação da viabilidade operacional da obra.

Diante de tudo que foi exposto, considerando as dificuldades técnicas, operacionais e legais enfrentadas, como a necessidade de longas interdições de vias públicas devido o longo traçado, ocasionando diminuição de rotatividade nos comércios locais ao longo do trecho analisado, bem como as restrições de prazo, alto custo para a execução da obra, a adoção da metodologia PHD revelou-se como uma alternativa de grande potencial.

Com a forte tendência da adoção do PHD, foram revisados os dados técnicos preliminares e elaborado o projeto executivo, conforme representado na planta de locação (ver Figura 15) e no perfil longitudinal (ver figura 16). O projeto contempla a execução da travessia com extensão de 69,28 metros, significativamente menor — cerca de 18 vezes — que o trajeto previsto para o método VCA que é de aproximadamente 1300 metros. Com a utilização desse método, eliminou-se a necessidade de escavações abertas, reduzindo substancialmente os impactos na superfície, implicando em quase zero movimentações de terra — reduzindo o custo — como também na obstrução de vias, interferências no tráfego urbano e no transporte público.

Figura 16 - Perfil longitudinal da travessia pelo método PHD



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

No caso da execução da travessia utilizando a PHD, a produtividade foi novamente definida com base em cronogramas e registros de obras semelhantes, desses dados, observou-se um prazo médio de 12 dias para a conclusão dos serviços. Essa estimativa contempla todas as etapas operacionais envolvidas no processo, incluindo mobilização dos equipamentos específicos, como a perfuratriz, execução do furo piloto, alargamento do furo, passagem do tubo camisa e posteriormente passagem do tubo que irá conduzir o efluente e a realização dos entroncamentos com as esperas de redes existentes.

Segundo Sanz (2017), “os MND’s possuem maior produtividade e menor desperdício, normalmente duram menos tempo para serem executados do que os métodos tradicionais.” Logo, o curto prazo de execução, quando comparado ao método VCA, destacou-se como um dos principais diferenciais da técnica não destrutiva, contribuindo para a maior eficiência no cumprimento do cronograma físico-financeiro da obra e no menor transtorno nas proximidades da obra. Além do PHD proporcionar maior agilidade na execução, maior segurança operacional — ao reduzir os riscos associados à escavação profunda — do ponto de vista técnico e ambiental, essa alternativa se apresentou como a mais eficiente e sustentável, isto porque consegue preservar recursos naturais, promover um ambiente social mais favorável, com menor impacto ao redor da obra e ser uma metodologia mais econômica para o caso em questão.

Considerando os aspectos financeiros entre os métodos construtivos avaliados, no caso da execução pelo método PHD, o custo médio estimado por metro linear apenas da rede de esgoto foi de aproximadamente R\$ 4.800,00, resultando em um valor total da obra na ordem de R\$ 427 mil, incluindo os serviços com escavação, movimento de terra, escoramento e recomposição (Apêndice A). Já na alternativa que prevê a execução da rede por meio do método VCA, associada à instalação de uma EEE compacta, o custo por metro da linha de recalque foi estimado em R\$ 193,00, entretanto, o que onerou o orçamento nesta alternativa não é a implantação da rede em si, mas os custos associados aos serviços preliminares, movimentação de terra e principalmente a parte de pavimentação asfáltica. Isto porque, dos 1.300m de extensão do traçado, aproximadamente 1.150m encontram-se em área asfaltada, o que projeta o custo total da obra para cerca de R\$ 3 milhões (Apêndice B). Além da rede, o valor para construção da EEE de rua, baseado em dados do mercado, obteve-se um valor da ordem de R\$ 780 mil (Apêndice C). Neste trabalho, foi contemplado apenas os valores de Capital Expenditure (CAPEX), que pode ser definida como “despesas de capitais”, destinadas a manter ou ampliar sua produção ou bens, logo, não foi considerado o custo de operação e manutenção da elevatória, o que aumentaria ainda mais o valor no comparativo financeiro.

Conclui-se desse modo, que o PHD se configurou como a solução técnica mais adequada para a travessia da linha férrea no município de Jabotão dos Guararapes. A escolha fundamenta-se na sua elevada eficiência executiva, destacando-se pela expressiva redução no tempo de obra, menor custo global, maior segurança operacional e, sobretudo, pela minimização dos impactos socioambientais e das interferências à população local.

Tratando-se, portanto, de uma metodologia compatível com as exigências técnicas, econômicas e urbanas do contexto analisado, sendo resumido na figura 17 a seguir.

Figura 17 - Resumo comparativo entre PHD e VCA

| Critério | PHD (Perfuração Horizontal Direcional) | VCA (Vala a Céu Aberto) |
|---------------------------------------|---|---|
| Tipo de Método | Não destrutivo | Convencional (destrutivo) |
| Intervenção na superfície | Mínima (não requer abertura contínua da superfície) | Alta (necessita escavação contínua e remoção do pavimento) |
| Impacto urbano | Reduzido (menor transtorno ao tráfego e à população) | Elevado (interdição de vias, ruído, poeira) |
| Segurança da execução | Maior (risco reduzido de soterramento e acidentes) | Menor (maior exposição dos trabalhadores a escavações profundas) |
| Agilidade da obra | Alta (execução mais rápida em trechos longos) | Média a baixa (depende da extensão e profundidade) |
| Requisitos técnicos | Exige equipe especializada e equipamentos específicos | Técnica tradicional, de domínio amplo |
| Custo inicial | Maior (investimento em equipamentos e tecnologia) | Menor (uso de maquinário comum) |
| Custo global | Potencialmente menor (reduz custos indiretos e tempo de execução) | Potencialmente maior (mais tempo, logística, recomposição de vias) |
| Indicado para travessias | Sim (ferrovias, rodovias, rios, áreas densamente urbanizadas) | Não indicado (restrições técnicas e legais em áreas sensíveis) |
| Interferência com outras redes | Baixa (trajeto pode ser ajustado em profundidade e direção) | Alta (necessita afastamentos mínimos e pode interferir em outras redes) |
| Adequação a terrenos instáveis | Alta (dispensa escoramento e rebaixamento do lençol freático) | Baixa (exige escoramento e tratamento do solo) |

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

Ainda assim, de acordo com Sanz (2017), os métodos não destrutivos mostram-se especialmente atrativos, isso porque, além de reduzirem significativamente os impactos ambientais, esses métodos interferem pouco nas atividades do entorno e contribuem para preservar tanto o pavimento quanto as demais infraestruturas subterrâneas já existentes. Apesar de o método tradicional apresentar custos iniciais mais baixos, sua aplicação em muitos casos torna-se inviável, seja pela localização das obras em rodovias federais, em áreas de proteção ambiental ou pela necessidade de contornar obstáculos como linhas férreas como o estudo de caso localizado no bairro de Cajueiro Seco, que teve sua execução realizada pela metodologia PHD.

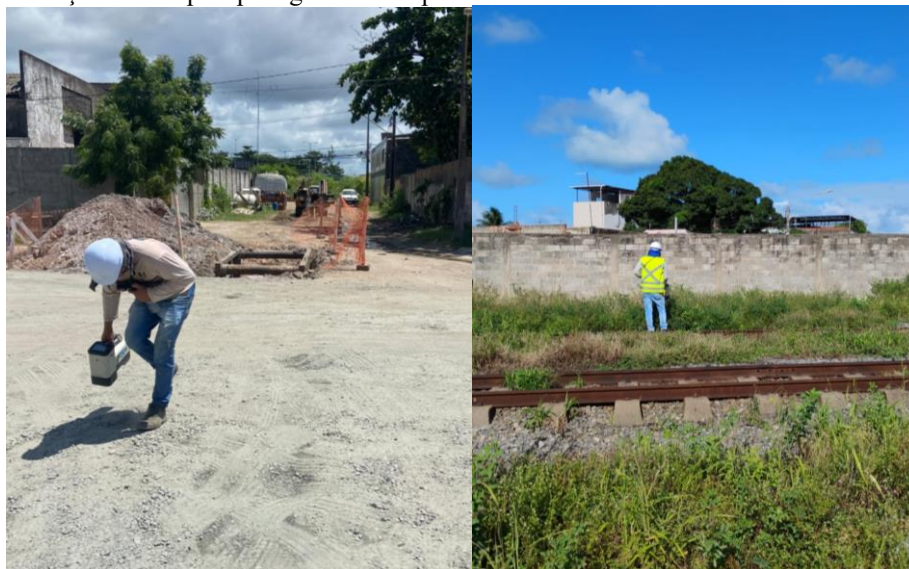
Durante a execução da travessia na Av. Dr. Gonzaga Maranhão pelo método PHD (ver Figuras 18, 19, 20 e 21), em função de algumas adversidades, o prazo total da obra foi finalizado com 21 dias, ultrapassando a média inicialmente prevista de 12 dias. Ainda assim, o custo final da intervenção permaneceu inferior às demais alternativas de traçado e/ou metodologias construtivas consideradas para a solução do problema em questão.

Figura 18 - Furo piloto para realização da travessia na linha férrea do metrô na Av. Dr. Julio Maranhão, Cajueiro Seco, Jaboatão dos Guararapes, PE



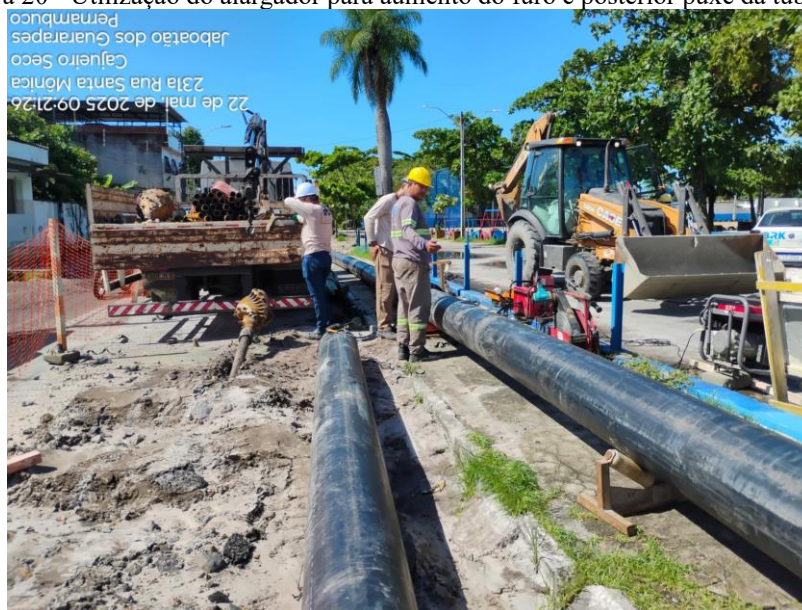
Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

Figura 19 - Utilização do receptor para guiar o furo piloto dentro e fora da faixa de domínio da linha férrea



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

Figura 20 - Utilização do alargador para aumento do furo e posterior puxe da tubulação



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

Figura 21 - Entroncamentos das redes existentes tanto do lado de Prazeres quanto de Cajueiro Seco e elevação dos poços de visita



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2025

6 CONCLUSÃO

Com base nas análises dos dados obtidos ao longo do estudo, podemos afirmar que os objetivos propostos foram integralmente atendidos, onde foi possível avaliar, de forma técnica e comparativa, os impactos decorrentes da não execução do trecho pelo método PHD. A investigação permitiu mensurar as diferenças de produtividade entre o método PHD e o sistema convencional VCA, além de agregar soluções técnicas e construtivas para transpor a barreira da linha férrea. Adicionalmente, foi possível viabilizar uma análise financeira entre ambas as técnicas construtivas, destacando suas vantagens e limitações no contexto da implantação de redes de esgotamento sanitário.

A execução da obra por meio do método VCA foi inicialmente considerada, em razão de sua ampla aplicação em projetos de infraestrutura sanitária. No entanto, a inviabilidade técnica decorrente da profundidade excessiva das escavações, os elevados custos operacionais, os impactos negativos à mobilidade urbana e a negativa da concessionária ferroviária inviabilizaram a adoção dessa alternativa. Diante desse contexto, foram analisadas soluções técnicas viáveis, entre elas a implantação de uma EEE compacta associada a uma linha de recalque. Embora tecnicamente possível, essa solução implicaria um aumento expressivo no custo total da obra, em virtude da ampliação do traçado, que demandaria grandes volumes de movimentação de terra, recomposição de pavimento e execução de serviços auxiliares complexos.

Considerando os entraves identificados, a metodologia PHD apresentou-se como a alternativa mais eficiente e racional, ao possibilitar a redução do traçado da rede de aproximadamente 1.300 metros para 69,28 metros, eliminando a necessidade de escavações profundas e minimizando os impactos sobre a infraestrutura urbana e a população do entorno. A metodologia também demonstrou elevada produtividade, maior segurança operacional e total compatibilidade com os requisitos ambientais, institucionais e urbanos. Apesar de apresentar, inicialmente, um custo por metro linear superior ao método convencional, a solução por PHD resultou em um custo global cerca de nove vezes inferior ao da alternativa com EEE e rede por VCA, evidenciando, sob a perspectiva financeira, sua maior viabilidade.

Assim, a metodologia pelo método de PHD foi adotada para o estudo de caso, resultando em uma redução de 36 dias no prazo total de execução da obra, em comparação à alternativa com EEE e vala convencional. Mesmo considerando os atrasos ocorridos durante a execução

da travessia, o custo final da intervenção ainda permaneceu significativamente menor, reafirmando a superioridade técnica, econômica e operacional da solução escolhida.

Os resultados obtidos neste estudo de caso evidenciam contribuições relevantes para o planejamento e a execução de futuros projetos de redes coletoras de esgoto e demais infraestruturas subterrâneas, sobretudo em áreas urbanas com restrições operacionais. A experiência prática reforça a viabilidade técnica e normativa da adoção de métodos não destrutivos, como o PHD, conforme já existem orientações de órgãos reguladores como a ANTT e o DNIT. Além disso, destacou-se a necessidade de investimento contínuo na capacitação das equipes e na incorporação de tecnologias atualizadas, considerando que os benefícios proporcionados pela metodologia PHD superam os custos iniciais mais elevados. Recomenda-se, portanto, o aprofundamento de estudos de viabilidade técnica e econômica, com foco na promoção da inovação, sustentabilidade e eficiência das intervenções em saneamento básico.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, J; ZUFFO, A. **Ciências exatas e da Terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2019. p. 133. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/ciencias-exatas-e-da-terra-e-a-dimensao-adquirida-atraves-da-evolucao-tecnologica>. Acesso em: 27 jun. 2025
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/aplicacao/usuario/asp/main.asp>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17004**: Método não destrutivo (MND) de perfuração direcional horizontal (mini-HDD) — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/13607/abnt-nbr17004-metodo-nao-destrutivo-mnd-de-perfuracao-direcional-horizontal-minihdd-requisitos>. Acesso em: 12 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17167**: Intervenções próximas a infraestruturas subterrâneas - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/13860/abnt-nbr17167-intervencoes-proximas-a-infraestruturas-subterraneas-requisitos>. Acesso em: 12 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484**: solo - sondagem de simples reconhecimento com SPT - método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/2743/abnt-nbr6484-solo-sondagem-de-simples-reconhecimento-com-spt-metodo-de-ensaio>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9061**: Segurança de escavação a céu aberto. Rio de Janeiro, ABNT: 1985. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5906/abnt-nbr9061-seguranca-de-escavacao-a-ceu-aberto>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIAS NÃO DESTRUTIVAS (ABRATT). **Perfuração direcional (HDD) ou guiada (unidirecional)**. São Paulo: Abratt, 2023. Disponível em: <https://www.abratt.org.br/institucional/>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Distrito Federal). Minuta da Norma de Referência, de 08 de maio de 2024. Diretrizes para metas progressivas de universalização. **Diário Oficial da União**: Edição 90: seção 1: página 133, 08 maio 2024. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Minuta_da_NR_Diretrizes_para_metas_progressivas_de_universalizacao_v5-1692042264559.pdf. Acesso em: 28 jun. 2025.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento pluviométrico**. Recife: APAC, 2025. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BRASIL. Casa Civil. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Brasília, DF: Casa Civil, 8 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 15 jun. 2025.

BRASIL. Casa Civil. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, DF: Casa Civil, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 26 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 33**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho, 15 jun. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-33-nr-33>. Acesso em: 15 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 01**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho, 09 mar. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego>. Acesso em: 28 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 18**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho, 22 out. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego>. Acesso em: 28 jun. 2025.

BUENO, S. **Trenchless Pioneers**: Martin Cherrington. Trenchless Technology, 18 mai. 2023. Disponível em: https://digital.trenchlesstechnology.com/articles/trenchless-pioneers?article_id=4825194&i=827513. Acesso em: 15 jun. 2025.

DIAS, Leandro Alves. **A sondagem SPT na construção civil: procedimentos e importância**. 2022. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/47121/1/Leandro_Dias_DefesaFinal.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao-mas-desigualdades-regionais-e-por-cor-e-raca-persistem>. Acesso em: 15 jun. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Guia do saneamento**: 2023. São Paulo: ITB, 2023. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Guia-do-Saneamento-2023_V20_12.11_Digital.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Guia do Saneamento**: 2024. São Paulo: ITB, 2024. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Guia-do-Saneamento-2023_V20_12.11_Digital.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Manual do saneamento básico**: entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica. São Paulo: ITB, 2012. 68 p.

Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/manual-imprensa.pdf> .
Acesso em: 26 jul. 2025.

PINTO, M. G. L. **Produtividade da mão de obra no serviço de assentamento de uma rede de distribuição de água**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em:
file:///C:/Users/Admin/Downloads/TCC_Marcel_Final_ECV.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

SANZ, M. A. **Comparativo de custos diretos entre perfuração direcional horizontal e abertura de vala para instalação de dutos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/83be46a5-f12e-45a4-a67f-ff50365f3c54/content>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SANTOS, A. C. O. **Gestão de redes subterrâneas de infraestrutura urbana na cidade de Curitiba/PR: diagnóstico e sugestões de melhorias**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em:
https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8117/1/CT_EC_2015_2_01.pdf. Acesso em: 20 jun. 2025.

APÊNDICE A

Planilha Orçamentária Sintética com Base na Metodologia PHD.

| PLANILHA ORÇAMENTÁRIA SINTÉTICA - PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRECIONAL | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------|---|---|---------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| OBRA: TRAVESSIA - LINHA FÉRREA - JABOATÃO DOS GUARARAPES | | | | | | BDI SERVIÇO (%): | 26,44% | |
| LOCAL: CAJUEIRO SECO | | | | | | ONERADA | | |
| | | | | | | DATA BASE / JUL/25 | | |
| ITEM | TABELA | CÓDIGO | DESCRIÇÃO | PREMISSAS | UND | QUANT. | PREÇO UNIT. (R\$) | PREÇO TOTAL (R\$) |
| | | | | | | | PREÇO TOTAL = R\$ | 427.933,72 |
| 1 | | | GERAL | | | | | |
| 1.1 | | | Serviços preliminares | | | | | R\$ 11.428,41 |
| 1.1.1 | COMPESA 2024.2 | 01.02.01U | Sondagem à trado. | 1 sondagem no incício e 1 no final da rede, medido em metro por profundidade. | M | 18,00 | R\$ 141,76 | R\$ 2.551,77 |
| 1.1.2 | COMPESA 2024.2 | 01.05.08U | Locação e nivelamento de redes de esgoto com auxílio de equipamento topográfico. | 1 metro de locação para cada 1 metro de rede coletora de esgoto. | M | 69,28 | R\$ 3,36 | R\$ 233,01 |
| 1.1.3 | COMPOSIÇÃO | COMP_01 | Sinalização noturna com iluminação e cavaletes em polietileno. | 2 metros de sinalização a cada 60 metros de rede coletora de esgoto. | M | 2,00 | R\$ 15,19 | R\$ 30,38 |
| 1.1.4 | COMPESA 2024.2 | 01.03.08U | Sinalização diurna com cavaletes em polietileno | 2 metros de sinalização a cada 30 metros de rede. | M | 2,00 | R\$ 11,92 | R\$ 23,85 |
| 1.1.5 | SINAPI JUN/2025 | 34723 | Placa de sinalização de trânsito. | 6,44m ² de placa de trânsito a cada 12m de rede coletora de esgoto, com reaproveitamento em 28x. | M2 | 5,52 | R\$ 1.168,31 | R\$ 6.449,05 |
| 1.1.6 | COMPESA 2024.2 | 01.03.12U | Proteção de valas com tela em PVC laranja e suporte. | 2 metros de proteção de vala por metro de rede coletora de esgoto, com reaproveitamento de 2x. | M | 36,00 | R\$ 3,93 | R\$ 141,57 |
| 1.1.7 | COMPOSIÇÃO | COMP_25 | Limpeza de Obra. | Considerado (Largura da vala + 1m) x Extensão do Trecho. | M2 | 192,00 | R\$ 7,34 | R\$ 1.408,45 |
| 1.1.8 | COMPESA 2024.2 | 01.03.07U | Placa de obra em chapa de aço galvanizado. | Considerado dimensões de 1,50m x 1,125m. | M2 | 1,69 | R\$ 349,82 | R\$ 590,33 |
| 1.3 | | | Movimento de terra | | | | | R\$ 3.046,07 |
| 1.3.1 | COMPOSIÇÃO | COMP_10.5 | Demolição de pavimento asfáltica com espessura de 5cm inclusive carga, descarga e transporte com destinação final para bota fora credenciado. | Área do blindado mais 1m de cada lado. | M2 | 7,00 | R\$ 31,93 | R\$ 223,53 |
| 1.3.2 | COMPOSIÇÃO | COMP_22 | Escavação mecanizada de valas em material de 1ª e/ou 2ª categorias até 2,00 m de profundidade com presença de água. | Extensão do Trecho x Largura da Vala (NBR 9814) x Profundidade da Vala até 2,0 metros de solo úmido x % mecanizada. | M3 | 9,60 | R\$ 19,76 | R\$ 189,71 |
| 1.3.3 | COMPOSIÇÃO | COMP_23 | Escavação mecanizada de valas em material de 1ª e/ou 2ª categorias acima de 2,00 m e até 4,00 m de profundidade com presença de água. | Extensão do Trecho x Largura da Vala (NBR 9814) x Profundidade da Vala de 2,0 a 4,0 metros de solo úmido x % mecanizada. | M3 | 3,55 | R\$ 29,64 | R\$ 105,29 |
| 1.3.4 | COMPESA 2024.2 | 02.01.06U | Escavação manual de valas em mat. de 1. ou 2. cat. até 2,00m. | Extensão do Trecho x Largura da Vala (NBR 9814) x Profundidade da Vala até 2,0 metros x % manual. | M3 | 2,40 | R\$ 82,38 | R\$ 197,71 |
| 1.3.5 | COMPESA 2024.2 | 02.01.07U | Escavação manual de valas em mat. de 1. ou 2. cat. acima de 2,00 m até 4,00 m. | Extensão do Trecho x Largura da Vala (NBR 9814) x Profundidade da Vala de 2,0 a 4,0 metros x % manual. | M3 | 3,55 | R\$ 94,86 | R\$ 336,93 |
| 1.3.6 | COMPOSIÇÃO | COMP_03 | Destinação de material escavado para bota- fora credenciado (volume medido no corte) | Considerado de acordo com tipo do material escavado. | M3 | 5,73 | R\$ 62,59 | R\$ 358,71 |
| 1.3.7 | SINAPI JUN/2025 | 100977 | Carga e descarga de material de 1a, 2a ou 3a. Categoria. | Considerado a carga do volume do material escavado para os trajetos: obra-bota fora, obra-bota espera, bota espera-obra e jazida-obra. | M3 | 5,73 | R\$ 9,76 | R\$ 55,95 |
| 1.3.8 | SINAPI JUN/2025 | 95875 | Transporte de material de 1a, 2a ou 3a. Categoria. | Considerado o transporte do volume do material escavado para os trajetos: obra-bota fora, obra-bota espera, bota espera-obra e jazida- obra, com as respectivos distancias médias de transporte - DMT (km). | M3 x Km | 60,18 | R\$ 3,14 | R\$ 188,70 |

| PLANILHA ORÇAMENTÁRIA SINTÉTICA - PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRECIONAL | | | | | | | | | |
|--|-------------------|----------------|--|---|----------|--------------------|------------------------------|-------------------|------------------|
| OBRA: TRAVESSIA - LINHA FÉRREA - JABOATÃO DOS GUARARAPES | | | | | | BDI SERVIÇO (%): | | 26,44% | |
| LOCAL: CAJUEIRO SECO | | | | | | ONERADA | | | |
| | | | | | | DATA BASE / JUL/25 | | | |
| ITEM | TABELA | CÓDIGO | DESCRIÇÃO | PREMISSAS | UND | QUANT. | PREÇO UNIT. (R\$) | PREÇO TOTAL (R\$) | |
| | | | | | | | PREÇO TOTAL = R\$ 427.933,72 | | |
| 1.3.9 | SINAPI JUN/2025 | 93369 | Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica com solo (sem substituição) de 1ª Categoria, com compactador de solos de percussão. | Considerado volume de acordo com tipo do material e aproveitamento. | M3 | 13,37 | R\$ 70,95 | R\$ | 948,77 |
| 1.3.10 | SINAPI JUN/2026 | 101849 | Recomposição de base e ou sub-base para fechamento de vala de brita graduada simples - incluso retirada e colocação do material. | Área da vala x espessura de 20cm. | M3 | 1,2 | R\$ 367,31 | R\$ | 440,77 |
| 1.4 | | | Serviço de escoramento e esgotamento de vala | | | | | R\$ | 11.253,26 |
| 1.4.1 | COMPOSIÇÃO | COMP_16 | Escoramento contínuo de valas com blindado (Exclusive fornecimento do escoramento). | Considerado escoramento contínuo para valas com profundidades maiores que 1,25 metros. | M2 | 24,00 | R\$ 24,94 | R\$ | 598,46 |
| 1.4.2 | COMPESA 2024.2 | 60.01.07U | Esgotamento com bomba. | Considerado o esgotamento com bomba para valas em Solo com profundidade de escavação maiores que o N.A. do trecho. | H | 100,00 | R\$ 59,24 | R\$ | 5.923,72 |
| 1.4.3 | COMPOSIÇÃO | COMP_18 | Operação de conjunto com até 50 ponteiros filtrantes e bombas de sucção para rebaixamento de lençol freático até 5 m de profundidade. | Considerado rebaixamento de lençol freático para valas em Areia com profundidade de escavação maiores que o N.A. do trecho. Para profundidades até 3m: Premissa de 2 unidades de ponteiros a cada 1 metros de rede coletora de esgoto durante 2 dias de operação. | PT x DI | 30,00 | R\$ 42,99 | R\$ | 1.289,60 |
| 1.4.5 | COMPESA 2023.1 | - | Mobilização, desmobilização e instalação de conjunto com até 60 ponteiros filtrantes e bombas de sucção para rebaixamento de lençol freático até 5,00 m de profundidade. | - | CJ | 1,00 | R\$ 2.359,30 | R\$ | 2.359,31 |
| 1.4.6 | COMPESA 2023.1 | - | Deslocamento e reinstalação de conjunto com até 60 ponteiros filtrantes e bombas de sucção para rebaixamento de lençol freático até 5 m de profundidade. | Considerado um deslocamento a cada 25m de trecho. | UND | 1,00 | R\$ 1.082,17 | R\$ | 1.082,17 |
| 1.5 | | | Poço de Visita | | | | | R\$ | 4.573,09 |
| 1.5.1 | COMPOSIÇÃO | COMP_36 | Construção de poço de visita em concreto (inclusive fornecimento do material) e assentamento de tampão com DN 1.00m profundidade de 2,00m até 3,00m. | Condiderado o assentamento de poço de visita de DN 1000 mm em concreto com profundidade de valas entre 2,00 e 3,00 metros. | UND | 2,00 | R\$ 2.286,54 | R\$ | 4.573,09 |
| 1.6 | | | Recomposição de pavimentos | | | | | R\$ | 63.497,60 |
| 1.6.1 | SINAPI JUN/2025 | 0,20 x 96396 | Execução de base em BGS - Base de Brita Graduada (inclusive compactação). | Extensão do Trecho x Largura da Vala + 1,0m de cada lado. Profundidade da camada = 20 cm. | M2 | 7,00 | R\$ 43,59 | R\$ | 305,16 |
| 1.6.2 | COMPESA 2024.2 | 08.01.14U | Pintura de ligação para pavimento asfáltico com emulsão RR-1C. | Largura da vala + 15cm de cada lado da vala (NBR 9814) x Extensão do Trecho com revestimento em pavimento asfáltico. | M2 | 27,60 | R\$ 8,37 | R\$ | 231,03 |
| 1.6.3 | COMPESA 2023.1 | 05 x 08.01.2 | Concreto betuminoso usinado a quente para pavimentação asfáltica, faixa C, com CAP 30/45, inclusive aplicação e compactação (Espessura de 5 cm). | Largura da vala + 15cm de cada lado da vala (NBR 9814) x Extensão do Trecho com revestimento em pavimento asfáltico. | M2 | 27,60 | R\$ 2.281,21 | R\$ | 62.961,41 |
| 1.7 | COMPOSIÇÃO | COMP_28 | Interferências (Redes de água, gás, elétrica e similares) | | M | 69,28 | R\$ 7,14 | R\$ | 494,57 |

| PLANILHA ORÇAMENTÁRIA SINTÉTICA - PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRECIONAL | | | | | | | | |
|--|---------|--------|---|-----------|-----|--------------------|-------------------|-----------------------|
| OBRA: TRAVESSIA - LINHA FÉRREA - JABOATÃO DOS GUARARAPES | | | | | | BDI SERVIÇO (%): | 26,44% | |
| LOCAL: CAJUEIRO SECO | | | | | | ONERADA | | |
| | | | | | | DATA BASE / JUL/25 | | |
| ITEM | TABELA | CÓDIGO | DESCRIÇÃO | PREMISSAS | UND | QUANT. | PREÇO UNIT. (R\$) | PREÇO TOTAL (R\$) |
| | | | | | | | PREÇO TOTAL = | R\$ 427.933,72 |
| 1.8 | | | Perfuração Horizontal Direcional | | | | | R\$ 333.640,72 |
| 1.8.1 | MERCADO | - | Travessia em método não destrutivo sob via federal com tubo camisa DE 355mm PEAD Liso PE100, incluso solda por termofusão. (Excluso tubulação). | - | M | 69,28 | R\$ 3.540,00 | R\$ 245.251,20 |
| 1.8.2 | MERCADO | - | Tubo PEAD PE100 DE 355mm p/ água ou esgoto. | - | M | 69,28 | R\$ 458,18 | R\$ 31.742,72 |
| 1.8.3 | MERCADO | - | Assentamento de tubos PEAD, pelo método não destrutivo, com solda por termofusão, diâmetro 180mm,incluso solda por termofusão. (Excluso tubulação). | - | M | 69,28 | R\$ 638,65 | R\$ 44.245,68 |
| 1.8.4 | MERCADO | - | Tubo PEAD liso DE 180mm p/ água ou esgoto. | - | M | 69,28 | R\$ 179,00 | R\$ 12.401,12 |

APÊNDICE B

Planilha Orçamentária Sintética com Base na Metodologia VCA – Com premissa da EEE de Rua.

| PLANILHA ORÇAMENTÁRIA SINTÉTICA - VALA À CÉU ABERTO (COM PREMISSA DA EEE DE RUA) | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------|---|---|---------|--------------------|-------------------|----------------------|
| OBRA: TRAVESSIA - LINHA FÉRREA - JABOATÃO DOS GUARARAPES | | | | | | BDI SERVIÇO (%): | | 26,44% |
| LOCAL: CAJUEIRO SECO | | | | | | ONERADA | | |
| | | | | | | DATA BASE / JUL/25 | | |
| ITEM | TABELA | CÓDIGO | DESCRIÇÃO | PREMISSAS | UND | QUANT. | PREÇO UNIT. (R\$) | PREÇO TOTAL (R\$) |
| | | | | | | | PREÇO TOTAL = | R\$ 3.138.417,72 |
| 1 | | | GERAL | | | | | |
| 1.1 | | | Serviços preliminares | | | | | R\$ 58.156,69 |
| 1.1.1 | COMPESA 2024.2 | 01.02.01U | Sondagem à trado. | 1 metro de sondagem a cada 100 metros de rede coletora de esgoto. | M | 13,00 | R\$ 141,76 | R\$ 1.842,94 |
| 1.1.2 | COMPESA 2024.2 | 01.05.08U | Locação e nivelamento de redes de esgoto com auxílio de equipamento topográfico. | 1 metro de locação para cada 1 metro de rede coletora de esgoto. | M | 1.300,00 | R\$ 3,36 | R\$ 4.372,30 |
| 1.1.3 | COMPOSIÇÃO | COMP_01 | Sinalização noturna com iluminação e cavaletes em polietileno. | 2 metros de sinalização a cada 60 metros de rede coletora de esgoto. | M | 43,33 | R\$ 15,19 | R\$ 658,04 |
| 1.1.4 | COMPESA 2024.2 | 01.03.08U | Sinalização diurna com cavaletes em polietileno. | 2 metros de sinalização a cada 30 metros de rede. | UND | 87 | R\$ 11,92 | R\$ 1.033,36 |
| 1.1.5 | SINAPI JUN/2025 | 34723 | Placa de sinalização de trânsito. | 6,44m ² de placa de trânsito a cada 12m de rede coletora de esgoto, com reaproveitamento em 28x. | M2 | 24,92 | R\$ 1.168,31 | R\$ 29.110,29 |
| 1.1.6 | COMPESA 2024.2 | 01.03.12U | Proteção de valas com tela em PVC laranja e suporte. | 2 metros de proteção de vala por metro de rede coletora de esgoto, com reaproveitamento de 2x. | M | 1.300,00 | R\$ 3,93 | R\$ 5.111,97 |
| 1.1.7 | COMPOSIÇÃO | COMP_25 | Limpeza de Obra. | (Largura da vala + 1m) x Extensão do Trecho | M2 | 2.080,00 | R\$ 7,34 | R\$ 15.258,18 |
| 1.1.8 | SINAPI JUN/2025 | 01.03.07U | Placa de obra em chapa de aço galvanizado. | Considerado dimensões de 1,50m x 1,125m. | M2 | 2,20 | R\$ 349,82 | R\$ 769,61 |
| 1.2 | | | Demolições | | | | | R\$ 11.035,74 |
| 1.2.1 | COMPOSIÇÃO | COMP_10.5 | Demolição de pavimento asfáltica com espessura de 5cm inclusive carga, descarga e transporte com destinação final para bota fora credenciado. | Largura da vala + 15cm de cada lado da vala (NBR 9814) x Extensão do Trecho. | M2 | 345,60 | R\$ 31,93 | R\$ 11.035,74 |
| 1.3 | | | Movimento de terra | | | | | R\$ 66.442,56 |
| 1.3.1 | SINAPI JUN/2025 | 90100 | Escavação mecanizada de valas em mat. de 1. ou 2. cat. até 2,00 m. | Extensão do Trecho x Largura da Vala (NBR 9814) x Profundidade da Vala até 2,0 metros. | M3 | 936,00 | R\$ 16,23 | R\$ 15.195,87 |
| 1.3.2 | COMPESA 2024.2 | 02.01.06U | Escavação manual de valas em mat. de 1. Ou 2. cat. até 2,00 m. | Extensão do Trecho x Largura da Vala (NBR 9814) x Profundidade da Vala até 2,0 metros x % manual. | M3 | 234,00 | R\$ 82,38 | R\$ 19.275,91 |
| 1.3.3 | COMPOSIÇÃO | COMP_03 | Destinação de material escavado para bota-fora credenciado (volume medido no corte). | Considerado de acordo com tipo do material escavado. | M3 | 351,00 | R\$ 62,59 | R\$ 150,00 |
| 1.3.4 | SINAPI JUN/2025 | 100977 | Carga e descarga de material de 1a, 2a ou 3a. Categoria. | Considerado a carga do volume do material escavado para os trajetos: obra-bota fora, obra-bota espera, bota espera-obra e jazida- obra. | M3 | 351,00 | R\$ 9,76 | R\$ 3.426,17 |
| 1.3.5 | SINAPI JUN/2025 | 95875 | Transporte de material de 1a, 2a ou 3a. Categoria. | Considerado o transporte do volume do material escavado para os trajetos. (km). | M3 x Km | 3.685,50 | R\$ 3,14 | R\$ 11.556,67 |
| 1.3.6 | SINAPI JUN/2025 | 93369 | Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica com solo (sem substituição) de 1ª Categoria, com compactador de solos de percussão. | Considerado volume de acordo com tipo do material e aproveitamento. | M3 | 819,00 | R\$ 20,56 | R\$ 16.837,94 |

| PLANILHA ORÇAMENTÁRIA SINTÉTICA - VALA À CÉU ABERTO (COM PREMISSA DA EEE DE RUA) | | | | | | | | |
|--|-------------------|----------------|--|---|----------|--------------------|-------------------|-------------------------|
| OBRA: TRAVESSIA - LINHA FÉRREA - JABOATÃO DOS GUARARAPES | | | | | | BDI SERVIÇO (%): | | 26,44% |
| LOCAL: CAJUEIRO SECO | | | | | | ONERADA | | |
| | | | | | | DATA BASE / JUL/25 | | |
| ITEM | TABELA | CÓDIGO | DESCRIÇÃO | PREMISSAS | UND | QUANT. | PREÇO UNIT. (R\$) | PREÇO TOTAL (R\$) |
| 1.4 | | | Serviço de escoramento e esgotamento de vala | | | | | R\$ 357.794,36 |
| 1.4.1 | COMPESA 2024.2 | 60.01.07U | Esgotamento com bomba. | Considerado o esgotamento com bomba para valas em Solo com profundidade de escavação maiores que o N.A. do trecho. | H | 150,00 | RS 59,24 | RS 8.885,58 |
| 1.4.2 | COMPOSIÇÃO | COMP_18 | Operação de conjunto com até 50 ponteiros filtrantes e bombas de sucção para rebaixamento de lençol freático até 5 m de profundidade. | Considerado rebaixamento de lençol freático para valas em Areia com profundidade de escavação maiores que o N.A. do trecho. Para profundidades até 3m: Premissa de 2 unidades de ponteiros a cada 1 metros de rede coletora de esgoto durante 2 dias de operação. | PT x DIA | 7.800,00 | RS 42,99 | RS 335.294,92 |
| 1.4.3 | COMPESA 2023.1 | - | Mobilização, desmobilização e instalação de conjunto com até 60 ponteiros filtrantes e bombas de sucção para rebaixamento de lençol freático até 5,00 m de profundidade. | Considerado mobilização de acordo com a necessidade da obra, conforme quantidades de frentes de serviço. | CJ | 1,00 | RS 2.359,30 | RS 2.359,31 |
| 1.4.4 | COMPESA 2023.1 | - | Deslocamento e reinstalação de conjunto com até 60 ponteiros filtrantes e bombas de sucção para rebaixamento de lençol freático até 5 m de profundidade. | Considerado um deslocamento a cada 25m de trecho. | UND | 10,40 | RS 1.082,17 | RS 11.254,55 |
| 1.5 | | | Linha de recalque (Rede) | | | | | R\$ 250.926,00 |
| 1.5.1 | MERCADO | - | Assentamento de tubos PEAD, com solda por termofusão, diâmetro 180mm, incluso solda por termofusão. (exclusive tubulação). | Extensão do trecho. | M | 1.300,00 | RS 14,02 | RS 18.226,00 |
| 1.5.1 | MERCADO | - | Tubo PEAD liso DE 180mm p/ água ou esgoto. | Extensão do trecho. | M | 1.300,00 | RS 179,00 | RS 232.700,00 |
| 1.6 | | | Recomposição de pavimentos | | | | | R\$ 2.384.782,05 |
| 1.6.1 | SINAPI JUN/2025 | 0,20 x 96396 | Execução de base em BGS - Base de Brita Graduada (inclusive compactação). | Extensão do Trecho x Largura da Vala + 1,0m de cada lado. Profundidade da camada = 20 cm. | M2 | 345,60 | RS 43,59 | RS 15.066,09 |
| 1.6.2 | COMPESA 2024.2 | 08.01.14U | Pintura de ligação para pavimento asfáltico com emulsão RR-1C. | Largura da vala + 15cm de cada lado da vala (NBR 9814) x Extensão do Trecho com revestimento em pavimento asfáltico. | M2 | 1.035,00 | RS 8,37 | RS 8.663,29 |
| 1.6.3 | COMPESA 2023.1 | ,05 x 08.01.25 | Concreto betuminoso usinado a quente para pavimentação asfáltica, faixa C, com CAP 30/45, inclusive aplicação e compactação (Espessura de 5 cm) | Largura da vala + 15cm de cada lado da vala (NBR 9814) x Extensão do Trecho com revestimento em pavimento asfáltico. | M2 | 1.035,00 | RS 2.281,21 | RS 2.361.052,67 |
| 1.7 | COMPOSIÇÃO | COMP_28 | INTERFERÊNCIAS (Redes de água, gás, elétricas e similares) | | M | 1.300,00 | R\$ 7,14 | R\$ 9.280,32 |

APÊNDICE C

Planilha Orçamentária da Execução da EEE de Rua Compacta.

| PLANILHA ORÇAMENTÁRIA SINTÉTICA - EEE DE RUA - COMPACTA | | | | | | |
|--|---------|---|----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| OBRA: TRAVESSIA - LINHA FÉRREA - JABOATÃO DOS GUARARAPES | | | | BDI SERVIÇO (%): | 26,44% | |
| LOCAL: CAJUEIRO SECO | | | | ONERADA | | |
| | | | | DATA BASE: JUL/25 | | |
| ITEM | TABELA | DESCRIÇÃO | UND | QUANT. | PREÇO UNITÁRIO (R\$) | PREÇO TOTAL (R\$) |
| | | | | | PREÇO TOTAL = | R\$ 788.126,05 |
| 1.0 | | EEE COMPACTA DE RUA | | | | R\$ 661.871,73 |
| 1.1 | | Serviços preliminares | | | | |
| 1.1.1 | MERCADO | Locação da obra (Com uso de gabarito de madeira com reaproveitamento de 3x). | M2 | 12,51 | R\$ 15,01 | R\$ 187,79 |
| 1.1.2 | MERCADO | Fechamento de construção temporária em chapa de madeira compensada E=10mm, com reaproveitamento de 2x. | M2 | 89,60 | R\$ 119,26 | R\$ 10.685,54 |
| 1.1.3 | MERCADO | Placa de obra em chapa de aço galvanizado | M2 | 23,00 | R\$ 1,69 | R\$ 38,87 |
| 1.2 | | Demolições, limpeza, retiradas e serviços preliminares | | | | |
| 1.2.1 | MERCADO | Limpeza mecanizada do terreno | M2 | 27,59 | R\$ 1,34 | R\$ 36,98 |
| 1.2.2 | MERCADO | Transporte com caminhão basculante de 10m ³ , em via urbana pavimentada, DMT até 30 km. | M3XKM | 672,00 | R\$ 3,17 | R\$ 2.132,69 |
| 1.2.3 | MERCADO | Espalhamento de material com trator de esteiras. | M3 | 3,97 | R\$ 3,11 | R\$ 12,35 |
| 1.3 | | Regularização do terreno | | | | |
| 1.3.1 | MERCADO | Fornecimento de material (não comercial) para aterro, inclusive carga, descarga, transporte com dmt de 1,0 km e indenização de jazida. | M3 | 3,45 | R\$ 100,84 | R\$ 347,88 |
| 1.3.2 | MERCADO | Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ , em via urbana pavimentada, dmt até 30 km. | M3XKM | 65,53 | R\$ 3,17 | R\$ 207,97 |
| 1.3.3 | MERCADO | Transporte com caminhão basculante de 6 m ³ , em via urbana em revestimento primário. | M3XKM | 3,45 | R\$ 6,32 | R\$ 21,81 |
| 1.3.4 | MERCADO | Ccompactação mecânica pesada de aterro a 100 por cento do próctor normal, medido na seção, inclusive espalhamento, umedecimento e homogeneização. | M3 | 3,45 | R\$ 9,74 | R\$ 33,59 |
| 1.4 | | Rebaixamento do lençol freático | | | | |
| 1.4.1 | MERCADO | Mobilização, desmobilização e instalação de conjunto com até 60 ponteiros filtrantes e bombas de sucção para rebaixamento de lençol freático até 5,00 m de profundidade. | CJ | 1,00 | R\$ 2.615,18 | R\$ 2.615,18 |
| 1.4.2 | MERCADO | Operação de conjunto com até 50 ponteiros filtrantes e bombas de sucção para rebaixamento de lençol freático até 5 m de profundidade. | PT x DIA | 348,00 | R\$ 1.199,54 | R\$ 417.438,63 |
| 1.5 | | Escoramento | | | | |
| 1.5.1 | MERCADO | Escoramento de valas com pranchões metálicos - Área Crvada. | M2 | 213,31 | R\$ 111,81 | R\$ 23.850,38 |
| 1.6 | | Movimento de terra e rocha | | | | |
| 1.6.1 | MERCADO | Escavação vertical para infraestrutura, com carga, descarga e transporte de solo de 1ª categoria, com escavadeira hidráulica (caçamba: 0,8 m ³ / 111 hp), frota de 8 caminhões basculantes de 14 m ³ , dmt de 6 km e velocidade média de 22 km/h. | M3 | 53,93 | R\$ 54,84 | R\$ 2.957,36 |

| PLANILHA ORÇAMENTÁRIA SINTÉTICA - EEE DE RUA - COMPACTA | | | | | | |
|--|---------|--|-------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| OBRA: TRAVESSIA - LINHA FÉRREA - JABOATÃO DOS GUARARAPES | | | | BDI SERVIÇO (%): | | 26,44% |
| LOCAL: CAJUEIRO SECO | | | | ONERADA | | |
| | | | | DATA BASE: JUL/25 | | |
| ITEM | TABELA | DESCRIÇÃO | UND | QUANT. | PREÇO UNITÁRIO (R\$) | PREÇO TOTAL (R\$) |
| 1.7 | | Estrutura em concreto armado | | | | |
| 1.7.1 | MERCADO | Reaterro mecanizado com material compactado a CBR \geq 20% e expansão \leq 1%. | M3 | 53,93 | R\$ 24,50 | R\$ 1.321,50 |
| 1.7.2 | MERCADO | Fôrmas de compensado resinado 12 mm - uso geral - utilização de 3 vezes - confecção, instalação, escoramento com madeira e retirada. | M2 | 173,00 | R\$ 287,45 | R\$ 49.728,62 |
| 1.7.3 | MERCADO | Concreto simples fck = 15 mpa, dosado conforme a condição "a" da norma nbr 12655 e com consumo mínimo de cimento de 267 kg/m ³ , para lançamento convencional. | M3 | 0,60 | R\$ 634,50 | R\$ 380,70 |
| 1.7.4 | MERCADO | Concreto simples fck = 40 mpa, dosado conforme a condição "a" da norma nbr 12655 e com consumo mínimo de cimento de 495 kg/m ³ , para lançamento convencional; preparo. | M3 | 20,65 | R\$ 826,12 | R\$ 17.059,40 |
| 1.7.5 | MERCADO | Concreto magro para lastro, traço 1:4,5:4,5 (em massa seca de cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 l. | M3 | 0,63 | R\$ 611,05 | R\$ 384,96 |
| 1.7.6 | MERCADO | Sílica ativa para adição em concreto e argamassa. | KG | 594,72 | R\$ 125,76 | R\$ 74.790,34 |
| 1.7.7 | MERCADO | Fita hidroexpansiva para junta de concretagem, penebar sw- 55 tipo a (e=19 mm) ou similar. | M | 78,59 | R\$ 137,39 | R\$ 10.797,46 |
| 1.7.8 | MERCADO | Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 16,0 mm. | KG | 56,00 | R\$ 10,39 | R\$ 582,03 |
| 1.7.9 | MERCADO | Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 10,0 mm. | KG | 1.893,00 | R\$ 12,85 | R\$ 24.318,05 |
| 1.7.10 | MERCADO | Lançamento com uso de bomba, adensamento e acabamento de concreto em estruturas. | M3 | 21,25 | R\$ 142,93 | R\$ 3.037,22 |
| 1.7.11 | MERCADO | Poço de visita em anel de concreto - Prof. Acima de 3,50m. | UN | 1,00 | R\$ 9.462,78 | R\$ 9.462,78 |
| 1.8 | | Transporte de solo, rocha e agregados | | | | |
| 1.8.1 | MERCADO | Remoção do material escavado em caminhão basculante, até 1,0 km, inclusive carga mecânica e descarga (medido no corte). | M3 | 67,41 | R\$ 9,47 | R\$ 638,40 |
| 1.8.2 | MERCADO | Momento de transporte, por volume, em material de 1ª, 2ª ou 3ª categoria, com caminhão basculante, em estrada pavimentada. | M3XKM | 1.280,79 | R\$ 4,72 | R\$ 6.040,48 |
| 1.8.3 | MERCADO | Momento de transporte, por volume, em material de 1ª, 2ª ou 3ª categoria, com caminhão basculante, em estrada não pavimentada (leito natural). | M3XKM | 67,41 | R\$ 5,98 | R\$ 403,15 |
| 1.8.4 | MERCADO | Espalhamento manual de material para simples regularização do terreno. | M3 | 67,41 | R\$ 5,23 | R\$ 352,87 |
| 1.9 | | Combate a Incêndio | | | | |
| 1.9.1 | MERCADO | Placa de sinalização de segurança contra incêndio, fotoluminescente, quadrada, 20 x 20 cm, em pvc 2 mm anti- chamas (símbolos, cores e pictogramas conforme nbr 16820). | UN | 1,00 | R\$ 82,65 | R\$ 82,65 |
| 1.9.2 | MERCADO | Extintor de incêndio portátil com carga de pqs de 12 kg, classe bc - fornecimento e instalação. | UN | 1,00 | R\$ 602,60 | R\$ 602,60 |
| 2.0 | | INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTOS | | | | R\$ 126.254,32 |
| 2.1 | MERCADO | Equipe de montagem hidráulica | MÊS | 1,00 | R\$ 64.874,21 | R\$ 64.874,21 |
| 2.2 | MERCADO | Materiais diversos | VB | 1,00 | R\$ 61.380,11 | R\$ 61.380,11 |