

## PERFURAÇÃO EM ROCHA EM PEQUENOS DIÂMETROS: DESAFIOS E SOLUÇÕES

### Edson Peev

Formação em Engenharia Mecânica pela FEI – Faculdade de Engenharia Industrial. Engenheiro Sênior na Herrenknecht AG, Alemanha

**Endereço:** Rua Américo Brasiliense, 1923 – sala 1209 – Chácara Santo Antônio – São Paulo – SP - CEP: 04715-005 - Brasil - Tel: +55 (11) 98431-4039 - e-mail: Peev.Edson@herrenknecht.com.br / e.peev@uol.com.br

### RESUMO

Um dos maiores desafios na ampliação de sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto é a instalação de tubulações em solo rochoso em pequenos diâmetros. O microtúnel com máquinas tipo *slurry* que é um método não-destrutivo (MND), tem sido utilizado com sucesso tanto na instalação de redes coletoras de esgoto como na passagem de adutoras de abastecimento de água, porém com limitações na sua aplicação em rocha com alta dureza e/ou abrasividade em diâmetros não acessíveis. Mais recentemente, um novo conceito de máquina tuneladora foi desenvolvido com mancal principal mais reforçado e novo projeto de roda de corte usando cortadores tipo TCI (*Tungsten Carbide Inserts*) com alta resistência ao desgaste possibilitando atingir trechos únicos de até 200 metros sem intervenção, abrindo um novo campo de aplicação desta tecnologia nesses diâmetros não acessíveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Método Não-destrutivo, Perfuração em rocha, Microtúnel *slurry*.

### INTRODUÇÃO

O *pipe jacking*, que é um método não-destrutivo, foi introduzido no Brasil na década de 1990. Seu uso na instalação de coletores de esgoto tem sido cada vez mais utilizado, sendo aplicado em diâmetros desde 300 mm até 2000 mm. A utilização dessas máquinas em rocha era limitada até recentemente ao diâmetro mínimo de 1200 mm, o qual permite o acesso à frente de escavação para inspeção e troca dos cortadores de rocha, condição necessária em função do desgaste sofrido pelos cortadores nessas condições. A solução para instalação de tubos menores que 1200 mm em rocha normalmente era a escavação de um túnel em diâmetro mínimo de 1800 mm usando explosivos e posteriormente o tubo final é instalado dentro deste túnel, fazendo-se ainda o preenchimento do espaço vazio entre o tubo e o túnel escavado.

Um novo modelo de máquina tipo *slurry* denominada AVN 800 HR para rocha sã foi desenvolvida pela empresa alemã Herrenknecht AG, com maior potência, torque, força de cravação e penetração com capacidade para escavar rochas mais duras. O projeto da roda de corte e ferramentas tiveram alterações fundamentais com base em experiências advindas das áreas de mineração e dutos. A nova ferramenta de corte possui anéis múltiplos e formato cônico com insertos de Carbetto de Tungstênio (TCI – *Tungsten Carbide Inserts*) com alta resistência ao desgaste. Seu desempenho já foi comprovado em projetos ao redor do mundo, como em Hong Kong, bem como em São Paulo.

### PROJETO DA MÁQUINA PARA APLICAÇÃO EM ROCHA SÃ

Na perfuração em rocha, os principais fatores a serem observados são o projeto da roda de corte e seus cortadores e a capacidade da máquina em aplicar a força necessária para romper a rocha. O desafio é maior quanto menor é o diâmetro da máquina e sua acessibilidade.

#### Projeto da roda de corte

A composição e disposição dos cortadores na roda de corte são o ponto mais crítico na sua utilização em rocha. O tamanho e disposição dos cortadores são baseados nas propriedades da rocha. O espaçamento adequado deve possibilitar a fragmentação e formação de lascas de tamanho adequado para serem transportadas pelo sistema de retirada do material escavado. A proteção da estrutura da roda de corte deve ser levada em consideração para evitar desgaste excessivo, o que é normalmente feito com uso de chapas de

proteção e aplicação de material duro. As rodas de corte desenvolvidas para as microtuneladoras têm evoluído para fornecer maior proteção ao desgaste, cortadores com maior resistência ao desgaste como os cortadores TCI, cortadores com rolamentos de alta performance para permitir maiores cargas, e estruturas sólidas com maior capacidade de absorver as cargas mais altas aplicadas aos cortadores. A Figura 1 mostra exemplos de projetos de rodas de corte para diversos diâmetros.

**Figura 1 - Exemplos de projetos de roda de corte para máquinas DN 400 mm até DN 2500 mm**



Fonte: ©Herrenknecht AG.

### Ferramentas de corte para rocha

Há três tipos principais de cortadores de rocha que podem ser usados em uma microtuneladora, conforme mostradas na Figura 2. O cortador mais comum é o disco de corte, usado nas tuneladoras de rocha de grande diâmetro. Devido à restrição de espaço nos diâmetros menores, comumente são usados discos de corte duplos ou triplos, o que reduz o espaçamento e favorece o lascamento mais rápido da rocha. Porém, o maior número de discos nos cortadores também diminui a força permitida por disco e assim diminui a capacidade de criar rachaduras por tração que formam as lascas.

Em diâmetros menores, não sendo possível adequar os discos de corte para as condições de dureza e abrasividade da rocha, os cortadores TCI são indicados. Este tipo de cortador possui bits de carbeto de tungstênio com alta resistência ao desgaste, o que favorece sua utilização em diâmetros não acessíveis nos quais uma intervenção para inspeção e troca dos cortadores não é possível, possibilitando executar trechos mais longos. Os bits exercem uma força pontual na rocha, resultando em várias lascas pequenas da rocha.

Em rochas de baixa dureza e comportamento dúctil, os discos de corte e os cortadores tipo TCI podem apresentar baixa performance. Estas rochas são difíceis de lascar e esses cortadores tendem a criar ranhuras na face da rocha, porém não criam as rachaduras de tração que formam as lascas. Neste caso, os cortadores de dentes fresados podem ser uma alternativa em pequenos diâmetros. Seus dentes penetram fundo na rocha fazendo uma alavanca para soltar os pedaços de rocha já soltos do maciço. Em rochas brandas o uso de ferramentas de corte típicas de solo como facas, *rippers*, raspadores podem ainda contribuir de forma muito positiva.

**Figura 2 - Tipos de ferramentas de corte para rocha aplicadas em microtuneladoras: disco de corte, cortador tipo TCI, cortador de dente fresado**



Fonte: ©Herrenknecht AG.

### **Rolamento principal e acionamento principal**

O rolamento principal é o ponto crítico entre a roda de corte e o sistema de cravação da microtuneladora. Além de transferir as cargas de cravação à roda de corte e à face do túnel, ele também precisa lidar com o torque gerado pelo acionamento principal e a velocidade de rotação da roda de corte para lascas a rocha. Ao mesmo tempo, o rolamento principal forma a vedação entre a câmara de escavação e a pressão atmosférica do túnel. Por isso, o projeto do rolamento principal é crucial para a capacidade de escavação em rocha de uma microtuneladora.

### **Desenvolvimento da máquina AVN 800 HR para aplicação em rocha**

Para aplicação da microtuneladora em rocha em pequenos diâmetros, a Herrenknecht desenvolveu uma nova máquina denominada AVN 800 HR, para instalação de tubos DN 800 mm. Esta máquina é equipada com um rolamento principal que permite perfurar a rocha com uma força três vezes maior sobre a roda de corte em comparação com a máquina tradicional de mesmo diâmetro. A máquina foi também dotada de um anel de lavagem na sua parte inferior com válvula esfera controlada remotamente que previne o acúmulo de partículas finas no espaço anular, reduzindo assim as forças de cravação.

Para permitir executar trechos mais longos sem necessidade de intervenção na roda de corte, cortadores tipo TCI são usados. Com insertos de carbetto de tungstênio, estes cortadores servem para rocha dura e possuem alta resistência ao desgaste. Estes cortadores já haviam demonstrado sua performance em aplicações em equipamentos de Raise Boring da empresa bem como em alargadores para rocha usados em perfuratrizes direcionais HDD.

### **Melhorias técnicas incorporadas na nova máquina AVN 800 HR**

- Capacidade de aplicação em rochas de durezas de até 200 MPa
- Cortadores tipo TCI de alta resistência ao desgaste
- Capacidade para executar trechos em rocha sã de até 200 m sem necessidade de intervenção
- Torque de 55 kNm
- Maior velocidade de rotação da roda de corte de até 26 rpm
- Rolamento principal mais robusto: 89 ton.
- Cravador compacto possibilitando operação a partir de um poço de apenas  $\varnothing$  3,2 m
- Operação a partir de container de operação padrão
- Anel de lavagem para impedir acúmulo de partículas finas no espaço anular

**Figura 3 – Máquina AVN 800 HR e cravador compacto**



Fonte: ©Herrenknecht AG.

## PROJETO DE REFERÊNCIA EM HONG KONG, MELHORIA EM SISTEMA ADUTOR

### Descrição do projeto

O projeto em tubo cravado é parte do projeto maior de melhoria no sistema adutor de água doce e salgada com uma extensão total de 56 km. Inclui a instalação e comissionamento de novos dutos e reabilitação e levantamento de dutos existentes com diâmetros de até DN 1400 mm. O projeto está localizado em Hong Kong e pertence ao Departamento de Abastecimento de Água. O tubo cravado foi selecionado como o método preferido para a instalação do trecho em Wood Road na área de Wan Chai. A construtora de Hong Kong VTEC (Victory Trenchless Eng. Co. Ltd.) foi adjudicada para instalar o trecho com 107 metros de extensão, com um raio constante de 153 metros. Todo o túnel atravessa uma rocha granítica (grau II) com UCS máximo de 200 MPa.

**Figura 4 – Lascas da rocha retiradas do sistema de separação**



Fonte: ©Herrenknecht AG.

### Tubo para cravação

Foi selecionado um tubo de aço de 3 m de comprimento para a instalação. Este mostrou-se benéfico para fornecer suporte suficiente para as cargas de cravação mais altas nesta aplicação em rocha dura. Um benefício adicional dos tubos de aço soldados é a capacidade de contrabalancear o efeito de giro gerado pelo maior torque da roda de corte necessário para romper a rocha.

### Microtuneladora selecionada

Devido à alta dureza de até 200 MPa da rocha e o pequeno diâmetro de apenas DE 960 mm, foi selecionada uma máquina AVN 800 HR. Cortadores cônicos de 317 mm com insertos TCI foram usados, conforme mostrado na Figura 5. Devido à alta abrasividade da rocha, a roda de corte foi blindada com chapas adicionais de proteção especialmente na região periférica, além de aplicação de metal duro em todas as zonas críticas. A AVN 800 HR possui uma potência instalada de 90 kW, permitindo uma rotação máxima de 26 rpm @ 260 L/min e torque máximo de 55 kNm.

### Performance

A obra foi concluída dentro de um prazo total de 60 dias, incluindo vários dias ociosos. A performance diária média foi de 4 m/dia. A roda de corte foi ajustada para maximizar a performance durante um trecho de aprendizado no início do trecho. Os ajustes incluíram a substituição da bomba hidráulica no container de controle para facilitar a roda de corte atingir a velocidade de até 26 rpm.

### Canteiro de obras

O espaço para montagem e operação do equipamento era muito limitado. Isto resultou em desafios adicionais não apenas para a montagem da máquina, mas também para o acoplamento e soldagem dos tubos com tempo médio de soldagem de 2-3 horas. Foi dimensionado um poço de emboque extremamente compacto medindo aproximadamente 3,5 m de largura e 6,5 m de comprimento. Considerando a abrasividade da rocha, houve apenas desgaste moderado dos cortadores, como pode ser visto na Figura 6.

**Figura 5 – AVN 800 HR projetada para operação em rocha dura**



Fonte: ©Herrenknecht AG.

**Figura 6 – Canteiro de obras, poço de emboque e AVN 800 HR após conclusão do trecho**



Fonte: ©VTEC - Victory Trenchless Engineering Company Limited.

## **PROJETO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

### **Descrição do projeto**

O projeto é parte das Obras do Sistema de Afastamento de Esgoto do Município de Itaquaquecetuba com aproximadamente 1260 m de extensão instalados com DN 800 mm em trecho em solo rochoso. Foram executados 15 trechos com extensões individuais variando entre 70.00 m e 99.66 m e profundidades variando entre 7.00 m e 16.00 m. A empresa Enotec Engenharia Obras e Tecnologia Ltda. foi vencedora da licitação da Sabesp.

A geologia é de granito quartzítico com dureza de até 62 MPa, intercalado com solo de alteração de rocha, e presença de água com até 12.00 m acima do nível da tubulação.

**Figura 7 – Amostra da rocha escavada retirada do sistema de separação**



Fonte: ©Herrenknecht AG.

#### **Microtuneladora selecionada**

O projeto original previa a construção de um túnel com diâmetro de 1800 mm usando explosivos e posterior instalação do tubo no diâmetro final de projeto. Ao final, ainda seria necessário preencher o espaço vazio entre o tubo e o túnel escavado com concreto projetado. Por permitir a instalação do tubo final DN 800 mm em passagem única eliminando o uso de explosivos que, além dos riscos inerentes ao seu uso, requer licenças e controle especiais para sua utilização, a empresa selecionou a máquina AVN 800 HR com cortadores tipo TCI. A bomba hidráulica do container de controle existente foi substituída para permitir atingir rotações de até 26 rpm.

#### **Performance**

Os 15 trechos do projeto foram executados em solos mistos e em rocha sã, com performance variando de 2,5 m/dia até 15 m/dia, com média diária global de 5 m/dia. Graças à inspeção e manutenção do rolamento dos cortadores executado após cada trecho, a empresa conseguiu otimizar o uso dos mesmos atingindo uma durabilidade por jogo superior a 300 m.

**Figura 8 – AVN 800 HR após conclusão de um dos trechos**



Fonte: ©Herrenknecht AG.

## **CONCLUSÃO**

O uso de *pipe jacking* (tubo cravado) vem sendo cada vez mais utilizado no mundo e no Brasil principalmente para a ampliação dos sistemas de coleta de esgoto devido às vantagens que este método apresenta. Um dos grandes desafios até recentemente era a aplicação deste método para cravação de tubos de pequeno diâmetro não acessíveis em rocha. Novos projetos de roda de corte e principalmente de ferramentas de corte têm sido desenvolvidos para atender a esses desafios, especialmente para rochas duras e condições de solo misto. Com base nas investigações geológicas, que devem ser o mais detalhadas possível, a microtuneladora pode ser configurada incorporando as mais recentes soluções tecnológicas.

Vários projetos, além daqueles indicados neste trabalho, já foram executados com sucesso utilizando este novo desenvolvimento comprovando sua aplicabilidade e competitividade em relação ao método convencional, eliminando a necessidade de uso de explosivos e seus inconvenientes. Os novos projetos de rodas de corte possibilitam ainda, com limitação da dureza UCS máxima, sua aplicação em rocha em diâmetros de até DN 400 mm. Estes desenvolvimentos ampliam assim a possibilidade de aplicação da tecnologia de MND em praticamente qualquer geologia, mesmo em diâmetros não acessíveis.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. SCHMÄH, P., LÜBBERS, M., FLUCK, A. *Progress in small-diameter tunnelling, Tunnel et Espace Souterrain no. 277*, pp. 16-36, 2021.
2. LANG, G., LEHMANN, G. *Rock tunnelling in small diameters: latest trends and technologies. Proceedings of NASTT No-Dig Show 2022*, Minneapolis, Minnesota, Abril de 2022.