

GEOLOGIA DO TÚNEL GASTAU E SUA INFLUÊNCIA NA ESCAVAÇÃO POR TBM.

Milton A. Kanji¹; Rodrigo B. Teixeira¹; Marcela R. Cezar¹; Philipp Elsner²;

Resumo – O Túnel GASTAU trata-se do primeiro túnel no Brasil escavado pelo Método TBM - Tunnelling Boring Machine, sendo o primeiro trecho de 282,35 m escavado pelo Método NATM. Em termos gerais considera-se que foram encontrados na seção total do túnel, cinco litotipos: Granitos, Gnaisses, Diabásio, e Quartzitos. Os principais parâmetros que intervêm com a operação do TBM, são o Teor de Quartzo, o Índice de Abrasividade CERCHAR, o Ensaio de Compressão Puntiforme (PLT - Point Load Test), e a Resistência à Compressão Uniaxial obtida da relação feita com o ensaio puntiforme. Essas propriedades foram determinadas para as amostras colhidas durante a escavação e que foram ensaiadas em laboratório. Esses parâmetros são então correlacionados ao número de cortadores trocados e a velocidade de escavação do TBM.

Palavras-Chave – TBM, Túnel, Abrasividade.

INTRODUÇÃO

O Túnel GASTAU objetiva permitir a transferência do gás do Campo de Mexilhão para o Município de Taubaté, após a Unidade de Tratamento de Gás de Caraguatatuba, UTGCA, em Caraguatatuba, vencendo a barreira da Serra do Mar até o planalto. O túnel tem extensão de 5.198 m e diâmetro de 6,2 m. Trata-se do primeiro túnel no Brasil com escavação mecanizada por TBM, sendo que o primeiro trecho de 282,35 m foi escavado pelo método NATM – New Austrian Tunnelling Method, por apresentar solo residual e rocha muito alterada. O túnel termina ligado a uma série de shafts verticais, para a passagem dos vários dutos a serem instalados nos mesmos.

Neste trabalho pretende-se descrever e analisar os dados geológicos obtidos na obra do Túnel do GASTAU. Neste contexto será descrita a geologia cujas observações são feitas com base no mapeamento da frente de escavação executado diariamente, complementadas pelas análises feitas em amostras do material escavado, obtidas nos vagões e no bota-espera. Essas amostras foram separadas, armazenadas e enviadas para laboratórios certificados, onde foram submetidas aos seguintes ensaios: Abrasividade pelo Método CERCHAR, Lâmina Petrográfica, Teor de Quartzo e Ensaio de Compressão Puntiforme (PLT – Point Load Test).

DESCRIÇÃO DA GEOLOGIA DO TÚNEL

Geologia do Trecho escavado em NATM

O trecho inicial do túnel foi realizado pelo Método NATM e consistiu na sua escavação parcial com imediata instalação do suporte (Cambotas e Concreto Projetado, em parte com arco invertido). Este trecho foi atravessado em solo, classe V, que correspondeu a um saprólito (até a progressiva 195 m), passando a rocha alterada mole (até a progressiva 260 m) e daí, até a progressiva 282 m, em rocha medianamente alterada e muito fraturada, de classe IV.

Geologia do Trecho escavado com TBM

Em termos gerais considera-se que na escavação foram encontrados cinco litotipos:

Granitos, que se diferenciam quanto sua granulação (de fino a médio) e cor (muito em função de seu maior ou menor teor de feldspato potássico), além da presença ocasional de pequenos cristais de granada entre as progressivas 3000 m e 3090 m (aproximadamente). Associados aos granitos aparecem comumente os veios de quartzitos e pegmatitos de composição granítica.

Gnaisses, cujas principais características são os planos de foliação bem marcados por bandamentos composicionais claros (quartzo-feldspático) e escuros (biotitas) com bandeamentos de biotitas/máficos e quartzo/feldspato; Entre as progressivas 3935 m e 3950 m o gnaiss apresentou-se milonitizado. A mineralogia nessa zona milonitizada não apresentou alteração em relação ao gnaiss, sendo a zona caracterizada por maior intensidade no bandamento dos minerais dela constituintes.

Diabásios, rochas de cor cinza escuro microgranular com textura porfirítica, com fenocristais de plagioclásio, que variam de cores mais esbranquiçadas a avermelhadas, que aparecem em corpos centimétricos a métricos, encaixados na foliação dos outros litotipos, apresentando ligeira alteração hidrotermal.

Diabásios Microgranular, rochas de cor escura, com granulometria finíssima, sem orientação preferencial dos minerais, sendo que a rocha encontrada na progressiva 4480,3 m apresentou vesículas de 0,7 mm a 1,5 mm preenchidas com carbonatos, apresentando ligeira alteração hidrotermal.

¹ Shaft Consultoria Ltda, Av. das Américas 3333, Rio de Janeiro, RJ, (21) 24391565, shaft@shaftconsultoria.com.br

² Babendererde Engineers GmbH, Markt 2, 23611 Bad Schwartau Germany, (49-451)3009390, pe@babeng.com

Quartzitos, de granulometria fina, apresentando pouco fraturamento de uma forma geral e muscovita em alguns casos. A ocorrência desses quartzitos é muito rara e eles se apresentaram em toda a frente de escavação, entre as progressivas 4399 m a 4430 m e na progressiva 4822 m.

Estruturalmente, as principais zonas de fraturamento têm direções de mergulho variando de N a NW e com grau de mergulho acima de 60°.

Ocorrem também zonas de intenso tectonismo associados a estruturas miloníticas denotada pelo alinhamento dos planos de biotita e deformação dos minerais quartzo e feldspato.

A essas zonas de tectonismo também estão associados diques de diabásios geralmente concordantes com os principais sets de fraturas, cujas espessuras variam de métricas a decamétricas. Nas bordas desses corpos intrusivos ocorreram zonas de intenso fluxo d'água com vazões próximas de 20 l/s, sendo os fluxos mais intensos entre as progressivas 4460 m e 4520 m com 6 m³/min de vazão em média, com um pico de 12 m³/min na progressiva 4480 m.

A geologia encontrada ao longo do túnel está representada na seção geológica da Figura 1.

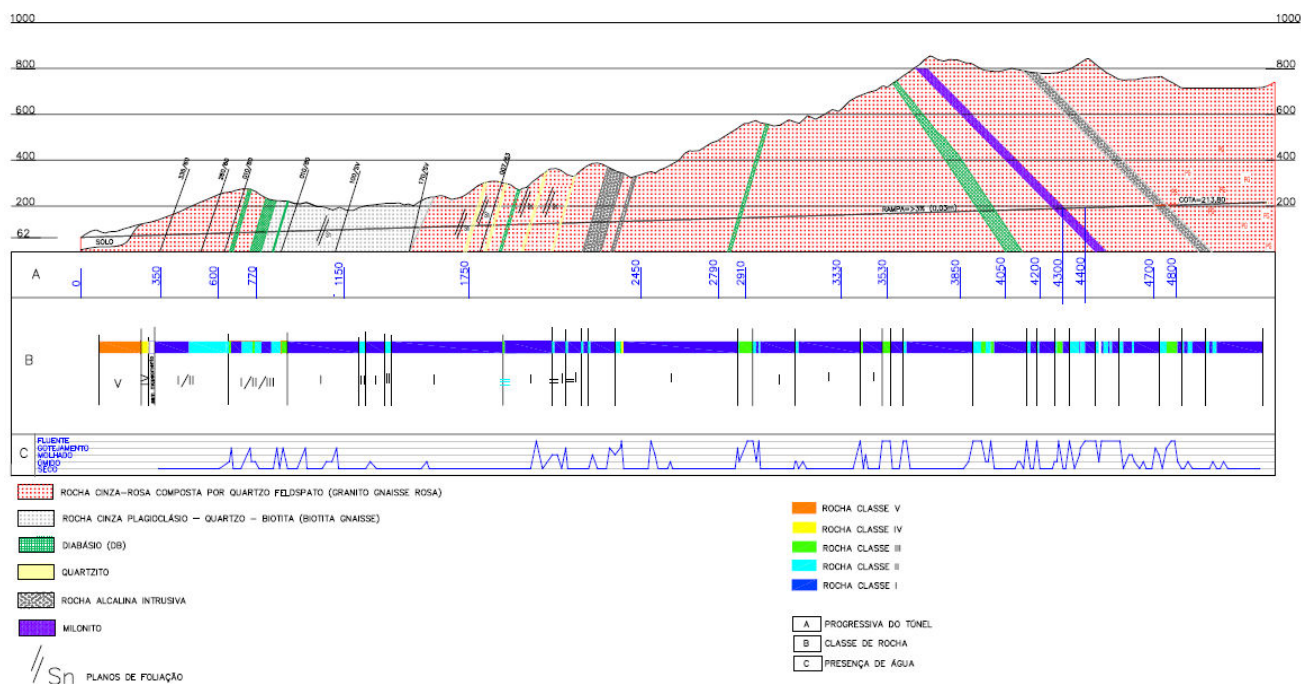


Figura 1 - Seção geológica ao longo do Túnel GASTAU.

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA

Com o acompanhamento diário da escavação, observações pertinentes ao litotipo e suas estruturas, além do que é descrito nos mapeamentos da frente de escavação, foi possível fazer tabelas com os principais parâmetros geomecânicos que pesam na classificação do maciço, nela constam também parâmetros do TBM que estão diretamente associados à rocha analisada.

O progresso da escavação do túnel pode ser dividido em intervalos com litotipos característicos que interferem de forma direta na classificação e nos parâmetros do TBM. A classificação geomecânica utilizada foi a do Sistema RMR – Rock Mass Rating de Bieniawski.

As amostras de campos indicaram que o biotita gnaiss apresenta boa qualidade geomecânica frequentemente classificado com RMR acima de 80, ou seja, classe I, principalmente entre os trechos das progressivas 2106 m e 2223 m, exceto pequenos trechos onde o grau de fraturamento foi maior.

O granito gnaiss descrito a partir da progressiva 2368 m diz respeito à rocha de composição granítica, que ora apresenta granulação média a grossa, porfirítica com fenocristais tabulares de k-feldspato com tamanho entre 2 e 4 cm, e ora apresenta granulação fina a média, equigranular cuja assembléia mineralógica é composta por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita. As lâminas petrográficas produzidas para esse litologia mostraram que a foliação é pouco evidente e sem sinais de bandeamentos. Em termos geomecânicos, esse litotipo é o mais coeso e o que apresenta menor grau de fraturamento. Os trechos em que ocorreram esse tipo de maciço apresentaram Índice RMR altos e classificados em sua maioria como classe I (maciço de boa a excelente qualidade geomecânica).

Os diques de rocha intrusiva de coloração cinza escuro a preta e microgranular a afanítica (variando conforme espessura e proximidade da borda), correspondem a diabásios, bastante descritos na literatura da geologia regional. Em termos de geomecânica, é o litotipo que apresenta os piores trechos de classificação (predomina classe III), pois tais corpos apresentam-se fraturados a muito fraturados, principalmente quando associados a zonas de borda e o contato

com a rocha encaixante que apresenta zonas de cloritização tanto nas fraturas (preenchimento e borda) como na rocha encaixante (intemperismo), muito em função da percolação de água entre as fraturas.

Outros diques de rocha intrusiva foram descritos como diabásio microgranular com tendência alcalina. Trata-se de rocha de cor cinza escura, de granulação fina, sem orientação preferencial dos minerais. A rocha é microporfírica, sendo os microfenocristais constituídos provavelmente por albita ripiforme fortemente carbonatizados. A massa fundamental, que constitui cerca de 90% dessa rocha é finíssima. Ocorrem também vesículas preenchidas por carbonatos. As características mineralógicas indicam tendência alcalina do magma basáltico gerador dessa rocha. Considerando-se a geologia da região, trata-se de provável dique ou borda de dique face à granulação muito fina. A rocha não exhibe sinais de alteração intempérica, somente ação hidrotermal.

ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOMECÂNICOS ASSOCIADOS A PARÂMETROS DE ESCAVAÇÃO

Os principais parâmetros que intervêm com a operação do TBM, são o Teor de Quartzo, o Índice de Abrasividade CERCHAR, o Ensaio de Compressão Puntiforme (PLT - Point Load Test) e a Resistência à Compressão Uniaxial obtida da relação feita com o ensaio puntiforme (conforme mencionado por Kanji, Teixeira e Cezar em outro artigo apresentado a este mesmo Congresso). Essas propriedades foram determinadas para as amostras colhidas durante a escavação e que foram ensaiadas em laboratório. Esses parâmetros são então correlacionados ao número de cortadores trocados e a velocidade de escavação do TBM, conforme se apresenta a seguir:

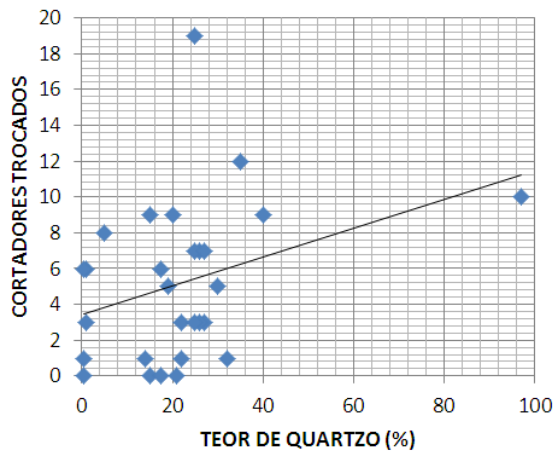


Figura 2. Correlação entre o teor de quartzo e o número de cortadores trocados.

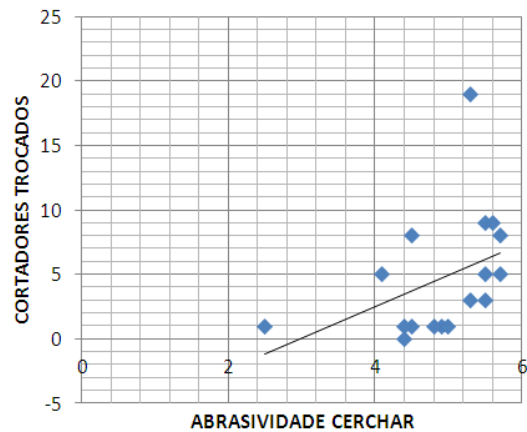


Figura 3. Correlação entre abrasividade CERCHAR e número de cortadores trocados.

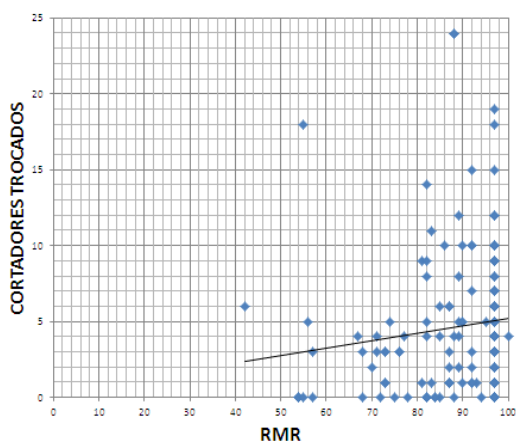


Figura 4. Correlação entre classificação RMR e número de cortadores trocados.

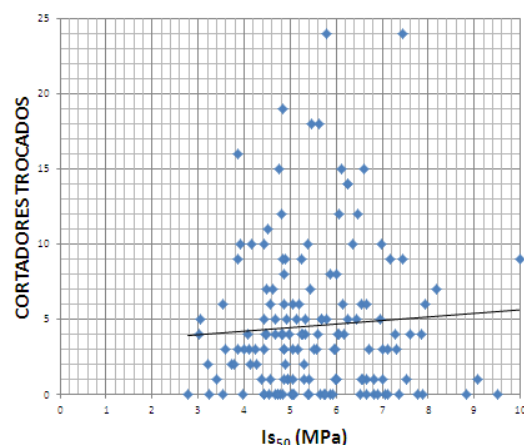


Figura 5. Correlação entre PLT (Is50) e número de cortadores trocados.

Pelas Figuras 2 a 5 se observa que apenas o teor de quartzo não reflete a abrasividade sobre os cortadores, sendo que o Índice CERCHAR é mais representativo. A classificação RMR por ser pontual a cada interrupção do TBM,

não é um bom índice para correlação com a troca de cortadores. Igualmente, a resistência da rocha intacta, representada pelo Índice PLT não apresenta correlação com o desgaste de cortadores.

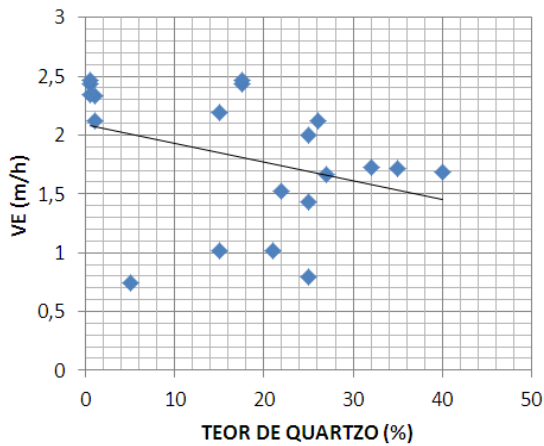


Figura 6. Correlação entre teor de quartzo e velocidade de escavação (VE).

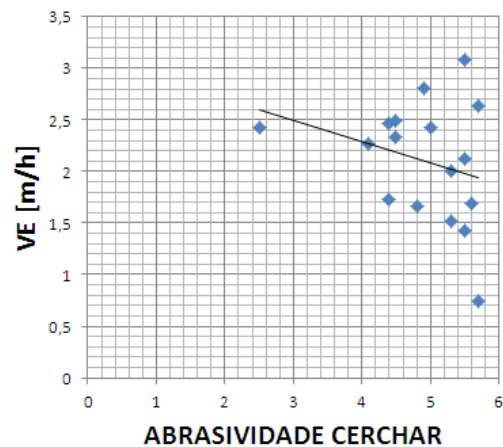


Figura 7. Correlação entre abrasividade CERCHAR e velocidade de escavação.

As Figuras 6 e 7 mostram que a velocidade de escavação (essa é a velocidade real com a qual a cabeça de escavação está se movendo para dentro da rocha, no tempo de escavação real do TBM) apresenta uma boa correlação com o teor de quartzo, mas não com o índice de abrasividade CERCHAR.

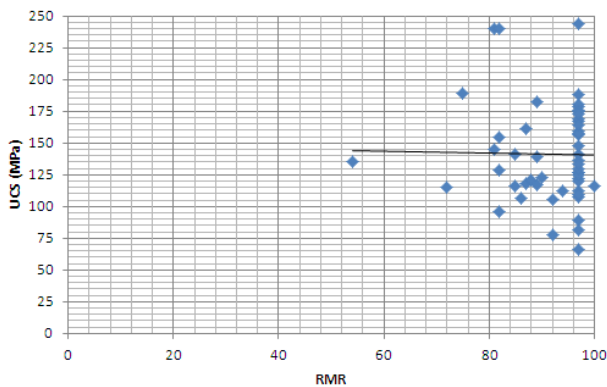


Figura 8. Correlação entre classificação RMR e resistência da rocha intacta (UCS).

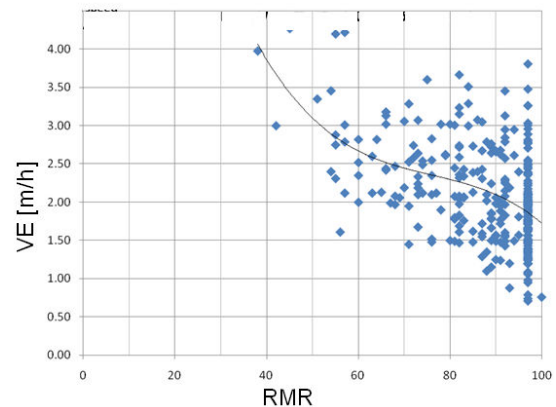


Figura 9. Correlação entre classificação RMR e velocidade de escavação.

Pela Figura 8 se observa que a resistência da rocha intacta não se correlaciona bem com a classificação RMR dos maciços a que pertencem. A correlação da Figura 9 mostra que apesar da forte dispersão, há uma correlação da classificação geomecânica representada pelo índice RMR com a velocidade de escavação. A elevada dispersão indica que outros fatores também influenciam na velocidade de avanço da escavação, como os aspectos logísticos e operacionais refletidos no fator de utilização (U), correspondente à porcentagem do tempo efetivo de escavação.

CONCLUSÕES.

Os valores percentuais de quartzo, na maior parte das amostras, variaram entre 14% e 30%, com valor médio de 22,5%. O Índice de Abrasividade CERCHAR apresenta valores próximos para as amostras analisadas variando entre 4,1 e 5,7, com valor médio de 4,9. Observando os valores desse índice nota-se que não há uma relação direta da abrasividade com a quantidade de quartzo, mas sim quando se considera a mineralogia como um todo, levando em conta as quantidades de feldspatos que tem dureza próxima do quartzo.

O número de cortadores trocados e a velocidade de escavação, quando analisados individualmente têm relação direta com os litotipos encontrados na escavação porém, quando se observa como um todo conclui-se que seria necessário incluir outros parâmetros adicionais os quais, entretanto, corresponderiam a aspectos de operação do TBM, e fugiriam ao âmbito estritamente geológico.

A rocha que apresenta piores parâmetros para escavação em TBM isto é, menor velocidade de escavação, correspondeu a um trecho compreendido entre as progressivas 2368 m e 2866 m cuja litologia descrita é um do granito quartzo feldspático de boa qualidade geomecânica e com RMR alto. Pode ser citado o exemplo do diabásio que apesar de apresentar maior valor de resistência, tem boa velocidade de escavação devido ao seu maior fraturamento, que é uma característica desse litotipo.

RECONHECIMENTO

Os autores participaram da Supervisão Técnica da construção do Túnel GASTAU como membros do Consórcio CM, formado entre Shaft Consultoria Ltda. e Babendererde Engineers.