



# Influência de Fatores Geológicos e Geomecânicos no Desgaste de Coroas em Sondagens Rotativas do Quadrilátero Ferrífero (MG)

Arthur Hideo Pereira Toyoshima

Geólogo, Chammas Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, [arthur.toyoshima@chammasengenharia.com.br](mailto:arthur.toyoshima@chammasengenharia.com.br)

Caroline Campos Soares

Geóloga, Chammas Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, [caroline.soares@chammasengenharia.com.br](mailto:caroline.soares@chammasengenharia.com.br)

Giovani Cecatto Lopes Ribeiro da Costa

Engenheiro Civil, Chammas Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, [giovani.costa@chammasengenharia.com.br](mailto:giovani.costa@chammasengenharia.com.br)

Sabrina Rodrigues Alves Xavier Pinto

Engenheira Civil, Chammas Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, [sabrina.pinto@chammasengenharia.com.br](mailto:sabrina.pinto@chammasengenharia.com.br)

**RESUMO:** O processo de sondagem rotativa e seus resultados são afetados diretamente por uma série de parâmetros geológico-geotécnicos dos maciços rochosos e das rochas que os constituem. A fim de reduzir o desgaste dos ferramentais de corte e otimizar os processos de perfuração e amostragem, o conhecimento dessas características geológico-geotécnicas é desejável. Desse modo, o presente trabalho possui como objetivo investigar a relação existente entre o desgaste de ferramentais de corte utilizados nas sondagens rotativas e as características geológicas e geotécnicas dos maciços rochosos. Para tanto, a região do Quadrilátero Ferrífero (MG) foi escolhida como área de estudo e os seguintes parâmetros foram avaliados: grau de alteração, resistência à compressão uniaxial, RQD (*Rock Quality Designation*) e caracterização das descontinuidades (orientação, preenchimento, abertura, grau de alteração e rugosidade). Com base nos resultados obtidos, os maciços rochosos serão classificados de acordo com a classificação proposta inicialmente por Bieniawski (1973) (RMR – *Rock Mass Index*).

**PALAVRAS-CHAVE:** Sondagem Rotativa, Ferramental de Corte, Desgaste de Ferramental, RMR, RQD.

**ABSTRACT:** The rotary drilling process and its results are directly affected by a series of geological-geotechnical parameters of the rock mass and the rocks that constitute them. In order to reduce the drilling bits wear and optimize the drilling process and sampling, knowing those geological-geotechnical characteristics is desirable. The present paper intends to investigate the relationship between the drilling bits wear on diamond drillings and the rock mass geological and geotechnical properties. Therefore, the Quadrilátero Ferrífero (MG) mineral province was chosen as the study area and the following parameters were evaluated: altered state, uniaxial compressive strength, RQD (*Rock Quality Designation*), and the discontinuity characterization (orientation, filling, separation, altered state and roughness). Based on the obtained results, the rock masses are classified according to the classification method initially proposed by Bieniawski (1973) (RMR – *Rock Mass Index*).

**KEYWORDS:** Rotary Drilling, Diamond Drill, Drill Bits, Tools Wear, RMR, RQD.

## 1 Introdução

Para compreender o comportamento dos maciços naturais, é necessário aplicar métodos de investigação que permitam realizar a coleta de amostras em profundidade. Dentre os métodos de investigação que permitem conhecer os materiais em profundidade e suas características geológico-geotécnicas, as sondagens merecem destaque. Elas fornecem os dados básicos que irão alimentar concepções de obras, definição de fundações e de escavações subterrâneas e a céu aberto, ângulo de corte de taludes, custos de obras em diferentes etapas do projeto, cálculo de estabilidade, dimensionamentos de recuperação e remediação de terrenos contaminados, dentre outros (ABGE, 2013).



Tendo em vista que é de suma importância a elaboração de estudos que permitam o desenvolvimento de técnicas e métodos de sondagem específicos para o respectivo contexto geológico, o presente trabalho se propõe a focar na análise do desgaste de coroas diamantadas em furos de sondagem executados no Quadrilátero Ferrífero, correlacionando o desgaste do ferramental de corte com os parâmetros geológicos e geomecânicos dos maciços rochosos.

## 2 Metas e Objetivos

O presente estudo tem como objetivo estabelecer correlações entre o tipo de ferramental de corte utilizado na perfuração e os parâmetros geomecânicos dos maciços rochosos, a fim de aprofundar no conhecimento sobre a dureza dos materiais e, a partir disso, definir o ferramental de corte mais adequado para cada classe de maciço. Dessa forma, busca-se maior assertividade na escolha da coroa, objetivando-se ganho de produtividade, redução de custos com o maior aproveitamento do ferramental e consequente redução em seu desgaste excessivo em campanhas de sondagens rotativas/diamantadas. Dentre as metas definidas para este projeto, detalham-se as seguintes:

1. Coletar dados em praças de sondagens rotativas/diamantadas, quais sejam: série do ferramental de corte utilizado, registro fotográfico do ferramental exaurido e os boletins de sondagem de campo;
2. Descrever a geologia dos testemunhos e a classificação dos litotipos presentes nos testemunhos de sondagem, de modo a obter os seguintes parâmetros: grau de alteração, resistência à compressão uniaxial, *Rock Quality Designation* (RQD) e caracterização das descontinuidades (orientação, preenchimento, abertura, grau de alteração e rugosidade);
3. Valendo-se dos parâmetros obtidos, caracterizar os maciços rochosos de acordo com a classificação geomecânica *Rock Mass Rating* (RMR), proposta por Bieniawski (1973;1989).

## 3 Materiais e Métodos

Foram avaliados 9 furos de sondagens rotativas diamantadas executados na região do Quadrilátero Ferrífero, totalizando 972,21 metros perfurados (435,26 metros em rocha). Os materiais utilizados foram:

1. Sondas Hidráulicas modelos: LX6 (DB 525), SSH-10, CZM MC150S;
2. Coroas de mesmo fabricante (séries 07, 09-11, 10 e 14);
3. Boletim de Sondagem;
4. Caixas de Testemunho;
5. Ferramentas de Apoio (martelo geológico, lupa de bolso com aumento de 30x, canivete, água oxigenada, caneta magnética e placa de porcelana).

As amostras provenientes dos furos de sondagem foram submetidas ao processo de descrição tátil-visual a fim de se obter os parâmetros necessários para a classificação geomecânica do maciço (RMR). A metodologia detalhada encontra-se apresentada nos itens a seguir.

### 3.3 Descrição geológico-geotécnica

#### 3.3.1 Classificação de Bieniawski

O sistema RMR (*Rock Mass Rating*), conhecido como classificação geomecânica, foi previamente desenvolvido por Bieniawski em 1973, sendo modificado pela última vez em 1989. Para aplicá-lo, é necessário dividir o maciço rochoso em regiões estruturais que possuam características semelhantes. Em seguida, aplica-se a classificação considerando as características médias de cada região.

A classificação utiliza seis parâmetros do maciço rochoso, sendo eles a resistência à compressão uniaxial da rocha, RQD (*Rock Quality Drilling*), espaçamento entre as fraturas, condição das descontinuidades (grau de alteração, rugosidade e preenchimento) e orientação das descontinuidades. Há um sétimo parâmetro composto por um valor de ajuste aplicado sobre a orientação das descontinuidades com relação ao tipo de obra. Para cada um desses parâmetros, aplica-se um peso relativo. A nota final do maciço é obtida através da soma dos pesos dos parâmetros, e esse valor serve de base para definir a classe a qual o maciço pertence.

No presente estudo foram feitas adequações na forma de aplicação desse sistema de classificação, sem a pré-divisão do maciço em zonas homogêneas e sem a aplicação do valor de ajuste sobre a orientação das descontinuidades com relação ao tipo de obra. A persistência das descontinuidades também não foi usada



devido a indisponibilidade de levantar essa informação em campo. Dessa forma, foi realizado um recálculo de RMR sem esse parâmetro. Ademais, a resistência à compressão uniaxial foi obtida de modo indireto através do emprego da classificação proposta pela ISRM (1983). A Tabela 1 a seguir apresenta os pesos aplicados a cada um dos parâmetros citados.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na classificação RMR e pesos atribuídos. Adaptado de Bieniawski (1989).

PARÂMETROS		FAIXA DE VALORES						
	Grau de Resistência	Extrem. Resistente (R <sub>1</sub> )	Muito Resistente (R <sub>2</sub> )	Resistente (R <sub>3</sub> )	Median. Resistente (R <sub>4</sub> )	Rocha Branda (R <sub>5</sub> )	Muito Branda (R <sub>6</sub> )	Extrem. Branda (R <sub>0</sub> )
1	Resistência à compressão uniaxial							
	Compressão simples (Mpa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	<1
	<b>Peso relativo</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
2	RQD	90 a 100	75 a 90	50 a 75	25 a 50	< 25		
	<b>Peso relativo</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
3	Espaçamento das fraturas	> 2 m	0,6 - 2 m	20 - 60 cm	6 - 20 cm	< 6 cm		
	<b>Peso relativo</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
4	Condição das fraturas	Superfícies muito rugosas; não contínuas; fechadas; paredes duras	Superfícies pouco rugosas; abertura <1mm; paredes duras	Superfícies pouco rugosas; abertura <1mm; paredes moles	Superfícies estriadas ou preenchimento <5mm ou abertura 1-5mm; contínuas	Preenchimento mole >5mm; contínuas		
	<b>Peso relativo</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>0</b>		
5	Água subterrânea	Seco	Umedecido	Úmido	Gotejando	Com fluxo		
	<b>Peso relativo</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		
6	Persistência da descontinuidade	< 1 m	1- 3 m	3 – 10 m	10 - 20 m	> 20		
		<b>Peso relativo</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
	Abertura	Nenhuma	<0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		<b>Peso relativo</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
	Rugosidade	Muito rugosa	Rugosa	Levemente Rugosa	Lisa	Espelho de falha		
		<b>Peso relativo</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
Preenchimento	Preenchimento duro			Preenchimento mole				
	Nenhum	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm			
<b>Peso relativo</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>			
Alteração	Nenhuma	Leve	Moderada	Alta	Decomposta			
	<b>Peso relativo</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
<b>CLASSES DO MACIÇO DETERMINADA PELA SOMA TOTAL DOS PESOS</b>								
Descrição		Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Muito Pobre		
Somadas dos Pesos		100 a 81	80 a 61	60 a 41	40 a 21	> 20		



#### 4 Tratamento dos Dados

A classificação das amostras no sistema RMR (Bieniawski, 1973;1989) foi feita em 4 etapas, listadas a seguir:

1. Em todos os furos de sondagem aplicou-se a classificação RMR nas amostras de rocha. Ressalta-se que a classificação foi feita para cada intervalo de manobra e não se baseou nos intervalos geológicos da descrição tátil-visual;
2. Os litotipos presentes em cada furo e suas respectivas metragens foram correlacionados às coroas empregadas em suas amostragens;
3. Para todas as coroas empregadas em um mesmo furo, foi feita a média ponderada entre os pesos de RMR obtidos para uma mesma classe de maciço e a metragem, para cada litotipo perfurado pela respectiva coroa;
4. Por último, os dados provenientes de furos de sondagem distintos foram correlacionados entre si, verificando-se se uma mesma coroa foi empregada em mais de um furo de sondagem. Nestes casos, para um mesmo litotipo, foi feita uma média aritmética simples entre os pesos de RMR obtidos para uma mesma classe de maciço, a fim de integrar os dados.

Os resultados obtidos com essa correlação encontram-se apresentados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Classificação RMR dos maciços rochosos, para cada coroa.

Coroa	Nº série	Φ	Furo	Vida útil (m)²	Solo (m)	Litotipo	Rocha (m)	RMR médio	RMR									
									Muito pobre		Pobre		Razoável		Bom		Muito Bom	
									Nota	Metro	Nota	Metro	Nota	Metro	Nota	Metro	Nota	Metro
304621	09-11	HQ	SM-14B SM-12A SM-12B SM-12	206,08	101,08	Itabirito	60,00	32,37	18,00	3,00	32,89	55,50	42,00	1,50	-	-	-	-
						Metapelito	13,50	38,22	-	-	29,50	6,00	45,20	7,50	-	-	-	-
						Xisto	21,00	39,07	-	-	33,75	12,00	46,17	9,00	-	-	-	-
						Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						Quartzito	10,50	41,29	-	-	34,67	4,50	46,25	6,00	-	-	-	-
Total	105,00	35,36	18,00	3,00	130,81	78,00	179,62	24,00	-	-	-	-						
32642	07	NQ	SM-12B	18,00	10,50	Itabirito	7,50	27,60	-	-	27,60	7,50	-	-	-	-	-	
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total	7,50	27,60	-	-	27,60	7,50	-	-	-	-	-							
50744	7	NQ	INA-01 INA-02 INC-01 INC-02	21,48	-	Itabirito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaisse	15,56	64,86	-	-	-	-	53,17	5,90	69,66	7,66	81,00	2,00
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Metadiabásio	5,92	49,30	-	-	39,00	1,92	51,67	3,00	62,00	1,00	-	-						
Total	21,48	60,58	-	-	39,00	1,92	104,84	8,90	131,66	8,66	81,00	2,00						
29693	7	HQ	SM-12	35,89	12,39	Itabirito	23,50	34,17	-	-	34,17	23,50	-	-	-	-	-	
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total	23,50	34,17	-	-	34,17	23,50	-	-	-	-	-							
30356	7	NQ	SM-12	34,50	-	Itabirito	34,50	37,01	-	-	37,01	34,50	-	-	-	-	-	
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total	34,50	37,01	-	-	37,01	34,50	-	-	-	-	-							
39449	09-11	NQ	SM-12B	21,50	14,00	Itabirito	2,00	31,50	-	-	31,50	2,00	-	-	-	-	-	
						Metapelito	5,50	46,55	-	-	-	-	46,55	5,50	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total	7,50	42,53	-	-	31,50	2,00	46,55	5,50	-	-	-							
27107	09-11	NQ	SM-12	18,50	8,50	Itabirito	2,00	37,00	-	-	37,00	2,00	-	-	-	-	-	
						Metapelito	8,00	46,00	-	-	-	-	46,00	8,00	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total	10,00	44,20	-	-	37,00	2,00	46,00	8,00	-	-	-							
30330	10	NQ	SM-12A	25,50	15,00	Itabirito	10,50	30,29	-	-	30,29	10,50	-	-	-	-	-	
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total	10,50	30,29	-	-	30,29	10,50	-	-	-	-	-							
30820	10	NQ	SM-12A	72,49	27,00	Itabirito	1,50	29,00	-	-	29,00	1,50	-	-	-	-	-	
						Metapelito	43,99	48,09	-	-	39,00	3,00	48,75	40,99	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



Coroa	Nº série	Φ	Furo	Vida útil (m) <sup>2</sup>	Solo (m)	Litotipo	Rocha (m)	RMR médio	RMR										
									Muito pobre		Pobre		Razoável		Bom		Muito Bom		
									Nota	Metro	Nota	Metro	Nota	Metro	Nota	Metro	Nota	Metro	
29663	10	HQ	SM-12	22,70	-	Total	45,49	47,46	-	-	68,00	4,50	48,75	40,99	-	-	-	-	
						Itabirito	22,70	37,09	-	-	37,09	22,70	-	-	-	-	-	-	-
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						Gnaiss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29813	14	NQ	SM-12A SM-14B SM-14C	73,12	3,00	Total	22,70	37,09	18,00	9,00	37,09	22,70	-	-	-	-	-	-	
						Itabirito	40,50	34,07	18,00	9,00	22,72	15,00	50,93	13,94	65,17	2,56	-	-	
						Metapelito	13,50	27,38	-	-	27,38	13,50	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	1,50	28,00	-	-	28,00	1,50	-	-	-	-	-	-	
						Gnaiss	14,62	74,29	-	-	-	-	45,00	1,50	72,27	7,12	84,00	6,00	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29814	14	NQ	SM-12B	15,00	6,00	Total	9,00	28,20	-	-	28,20	9,00	-	-	-	-	-	-	
						Itabirito	9,00	28,20	-	-	28,20	9,00	-	-	-	-	-	-	
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaiss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26030	14	NQ	SM-14B	30,12	-	Total	9,00	28,20	-	-	28,20	9,00	-	-	-	-	-	-	
						Itabirito	9,00	28,20	-	-	28,20	9,00	-	-	-	-	-	-	
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaiss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31090	14	NQ	SM-12B	16,98	-	Total	16,98	28,42	-	4,50	38,67	12,48	44,38	-	-	-	-	-	
						Itabirito	16,98	28,42	-	4,50	38,67	12,48	44,38	-	-	-	-	-	
						Metapelito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Xisto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Gnaiss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Quartzito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Com base nos resultados apresentados pela Tabela 2, foram estabelecidas algumas correlações entre coroas da mesma série e a sua vida útil. A Figura 1 abaixo apresenta a vida útil e o RMR médio obtido para as coroas analisadas. A análise dos dados foi organizada entre coroas de mesma série e será detalhado a seguir.

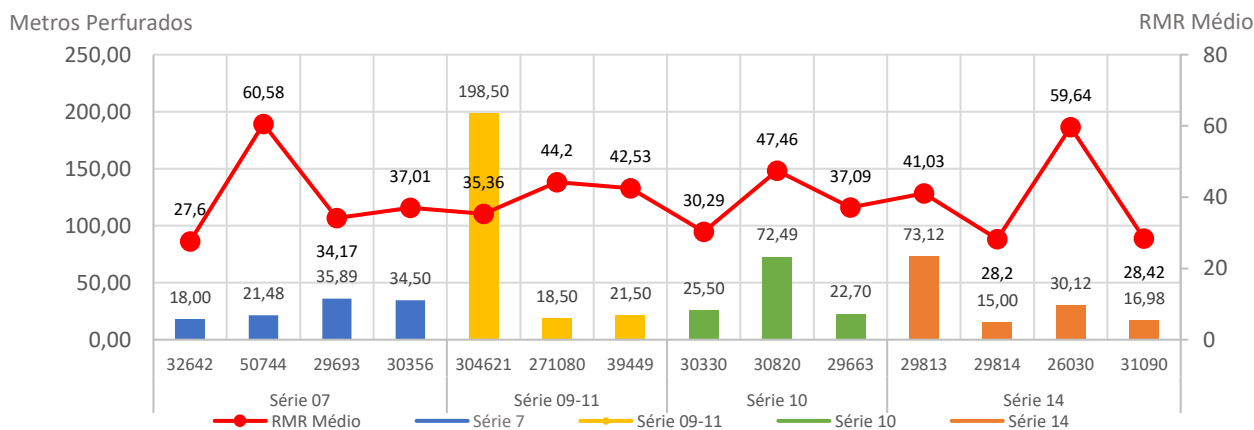


Figura 1 – RMR médio e vida útil das coroas.

#### 4.1 Série 07

De acordo com as recomendações da fabricante, o uso de coroas da série 07 é recomendado essencialmente para rochas de dureza média (quartzito xisto, serpentinito e dolomito), podendo ser empregada ainda em rochas macias (como calcário, arenito, xisto verde). Essa série pode ser utilizada em rochas duras (como gnaiss, rocha máfica e granito), mas a fabricante recomenda o uso de outras séries superiores.

Com base na análise dos dados obtidos, a coroa 50744 perfurou 21,48 m em maciços de RMR médio e peso 60,57, compostos por gnaiss e metadiabásio. Sua vida útil não se exauriu completamente, podendo ser utilizada em novos furos de sondagem. Este fato pode ser atribuído ao seu correto emprego pela equipe de campo, que seguiu as recomendações da fabricante.

Já as coroas 30356 e 32642 tiveram vida útil relativamente baixa, sendo 7,50 m e 34,50 m, respectivamente. Ambas perfuraram itabiritos de RMR pobre, sendo que a classificação se deu especialmente





em função do grau de faturamento elevado do litotipo em questão, que apresentou resistência à compressão uniaxial mediana ( $R_3$  - 25 a 50 Mpa).

A Figura 2 mostra a coroa 30356 no fim de sua vida útil. Observa-se que o tipo de desgaste presente na face envolve a perda de calibre externo, o que pode estar relacionado aos seguintes fatores de acordo com a fabricante: circulação insuficiente de fluido, vibração e velocidade de rotação excessivas. Ademais, observa-se ainda a erosão da matriz, que pode ocorrer tanto pela velocidade excessiva de perfuração, quando pela dureza relativa da coroa ser menor do que à da rocha perfurada.

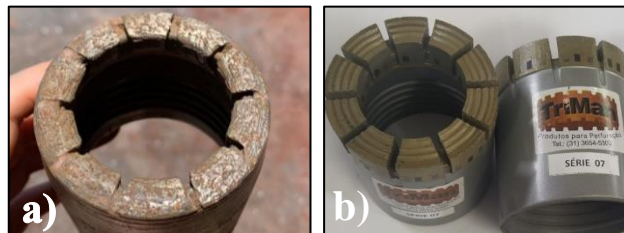


Figura 2 – A) 30356 série 07 usada. B) Coroa idêntica a 30356, sem uso.

## 4.2 Série 09-11

De acordo com as orientações da fabricante, o uso de coroas da série 09-11 é recomendado essencialmente para rochas duras (gnaisses, rochas máficas sãs e granitos), sendo empregada em rochas de dureza média (dolomitos, serpentinitos e quartzo xistos). A série 09-11 pode ser empregada em rochas muito duras (como granitos e itabiritos), porém a fabricante recomenda o uso de outras séries superiores nestes casos.

Com base na análise dos dados obtidos, a coroa 304621 obteve a melhor performance em relação as demais, com vida útil de aproximadamente 206 m durante o período de desenvolvimento do presente estudo. Destes, 101 m corresponderam às perfurações em solo e 105 m em rochas. Ressalta-se que sua vida útil não se exauriu completamente, podendo ser utilizada em novos furos de sondagem.

A coroa perfurou principalmente itabiritos pobres (60 m no total) com RMR médio de 32,37, tendo sido empregada na perfuração de xistos pobres (21 m), metapelitos muito pobres (13,50 m) e quartzitos razoáveis (10,50 m). Portanto, a coroa perfurou em maciços de RMR razoável a pobre, com peso médio de 35.

A Figura 3 mostra a face da coroa 304621. Observa-se que o tipo de desgaste presente na face envolve a perda de calibre externo, o que pode estar relacionado aos seguintes fatores: vibração excessiva, circulação insuficiente de fluidos e recorte do furo pela coroa. Portanto, a face da coroa não apresentou o desgaste ideal, podendo esse fator estar relacionado tanto aos procedimentos operacionais de campo quanto ao grau de fraturamento dos maciços, que dificulta a atuação dos fluidos de percolação no resfriamento da coroa e impacta o resultado do RMR dos maciços.

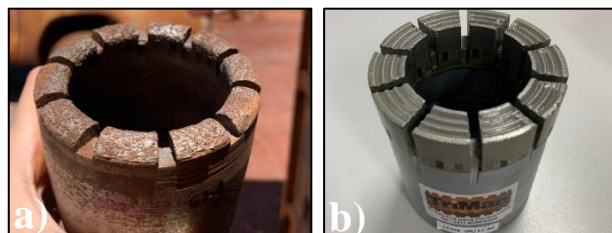


Figura 3 – A) Coroa 304621 série 09-11 usada. B) Coroa idêntica à 304621, sem uso.

Já as coroas 27107 e 39449 tiveram vida útil relativamente baixa, abaixo de 15,00 m, sendo que ambas perfuraram essencialmente metapelitos com RMR razoável (pesos médios de 44,20 e 42,53m respectivamente). Observa-se, portanto, que as coroas 09-11 não obtiveram um bom desempenho na perfuração de maciços compostos por metapelitos de RMR razoável.

Se comparadas com as coroas da série 07, conclui-se que a série 09-11 pode apresentar melhor desempenho em perfurações de itabiritos pobres, visto que a coroa 304621 apresentou maior vida útil após perfurá-los quando comparadas com àquelas da série 07, apresentadas anteriormente.



### 4.3 Série 10

O uso das coroas da série 10 é indicado pela fabricante essencialmente nas rochas duras (como os gnaisses, rochas máficas sãs, granitos), podendo ser usada em rochas médias. Sua aplicação em rochas muito duras pode ocorrer, mas a fabricante recomenda o uso de séries superiores nestes casos.

Com base nos dados coletados, a coroa 30820 obteve melhor desempenho se comparada com outras coroas da mesma série, obtendo vida útil de 72,49 m, sendo 27 m perfurados em solo/saprolito e 45,49 m perfurados em rocha. Ressalta-se ainda que a vida útil dessa coroa se exauriu completamente.

A coroa perfurou principalmente metapelito razoável (44 m aproximadamente), com peso médio de 48,09, tendo perfurado 1,50 m em itabirito pobre e peso médio de 29. Portanto, a coroa perfurou principalmente maciços de RMR razoável, obtendo um peso médio de 47,46, estando conforme a recomendação da fabricante.

As demais coroas da série 10 (30330 e 29663) obtiveram vidas úteis de 25,50 m e 22,70 m, respectivamente, tendo perfurado principalmente itabiritos de RMR pobre (10,50 m e 22,70 m perfurados no total, respectivamente). Ressalta-se que a vida útil da coroa 29663 não se exauriu completamente, podendo ser empregado em novos furos de sondagem.

### 4.4 Série 14

De acordo com as recomendações da fabricante, as coroas da série 14 são recomendadas para rochas muito duras, como os quartzitos, riolitos e itabiritos.

Com base na análise dos dados coletados, a coroa 29813 obteve melhor desempenho se comparada com as demais, tendo obtido vida útil de 73,12 m. Destes, 3,00 m foram perfurados em solo/saprolito e o restante foi perfurado em rocha. A coroa perfurou principalmente itabiritos pobres, obtendo peso médio de 34,07, tendo perfurado outros litotipos (14,62 m em gnaisses de RMR bom e peso médio 74,29, 13,50 m em metapelitos de RMR pobre e peso médio 27,38 e 1,50 m em xisto de RMR pobre e peso médio 28).

As demais coroas (26030 e 31090) apresentaram vida útil de 30,12 m, 16,98 m e 15 m, respectivamente. A coroa 26030 perfurou 30,12 m em gnaissado razoável a bom, sendo que essa rocha possui dureza alta (a resistência à compressão uniaxial foi resistente a muito resistente (entre 250 – 100 Mpa – R<sub>5</sub> a R<sub>4</sub>) e apresentou baixo grau de fraturamento. Se comparada com a coroa 50744 da série 07, que perfurou 15,56 m em gnaissado razoável a bom, apresentou desempenho inferior.

Já a coroa 31090 perfurou 16,98 m em metapelito razoável, rocha de dureza média, não estando em conformidade com a orientação da fabricante. Se comparada à coroa 30820 série 10, que perfurou 43,99 m em metapelito de RMR razoável, seu desempenho pode ser considerado baixo. Quanto ao tipo de desgaste observado (Figura 6), essa coroa apresentou perda do calibre externo após esse emprego e erosão da matriz. De acordo com a fabricante, esse tipo de desgaste pode estar relacionado com os seguintes fatores: vibração excessiva da sonda, recorte do furo pela coroa e circulação insuficiente de fluidos.



Figura 4: Face da coroa 31090 – série 14.

## 5 Conclusões

O presente trabalho permitiu correlacionar as classes dos maciços de acordo com Bieniawski (1973;1989) e o desgaste do ferramental de corte utilizado nas sondagens rotativas. A classificação se mostrou, portanto, eficiente, resumindo os parâmetros geomecânicos das rochas em um único valor, tornando a análise



mais prática. Entretanto, não dispensa uma análise detalhada dos pesos que resultaram no cálculo da nota final, sendo importante compreender qual parâmetro exerceu maior peso no resultado final do RMR.

Ademais, observa-se que nos casos em que a nota do RMR for baixa devido ao elevado grau de alteração da rocha, a vida útil da coroa também será baixa. Essas condições são favoráveis para que ocorra infiltração do fluido usado na perfuração para o interior do maciço, prejudicando o resfriamento da coroa. Com isso, a taxa de desgaste da coroa aumenta, fazendo com que seu processo de desgaste seja intensificado.

Foi possível observar algumas diferenças no que tange às recomendações do fabricante e os resultados obtidos, sendo que na série 07 as coroas 30356 e 32642 tiveram vida útil curta, embora sua utilização tenha sido feita em conformidade com as recomendações da fabricante. Neste caso, o grau de alteração do maciço exerceu importante papel no resultado obtido, resultado em má circulação do fluido de perfuração e, conseqüentemente, no mal resfriamento da coroa.

Nas coroas da série 09-11, o desempenho da coroa 304621 pode ser considerado satisfatório, tendo em vista que os maciços pobres a razoáveis perfurados são compostos por rochas que apresentaram, em média, resistência à compressão uniaxial em  $R_3$  - 25 a 50 Mpa. Portanto, seu emprego foi feito em conformidade com a orientação da fabricante. Outro fator que pode ter sido responsável pelo prolongamento da vida útil da coroa é a metragem total da perfuração em solo, que aparenta ter impactado positivamente o resultado obtido.

As demais coroas da mesma série não obtiveram um bom desempenho e perfuraram essencialmente maciços compostos por metapelitos de RMR razoável. De modo geral, os maciços apresentaram resistência à compressão uniaxial média, em conformidade com a recomendação do fabricante.

Sobre as coroas da série 10, conclui-se que as coroas da série 10 mostram-se mais eficientes para perfuração de metapelitos razoáveis do que as da série 9-11, visto que a coroa 30820 obteve maior vida útil para o mesmo tipo de material, (metapelito). Com relação ao seu emprego na perfuração de itabiritos de RMR pobres, a série 10 se mostrou menos eficiente do que as coroas da série 07.

No que diz respeito às coroas da série 14, conclui-se que seu desempenho foi afetado pelo seu emprego em rochas menos resistentes. A coroa 29813 apresentou melhor desempenho dentre as demais, visto que perfurou 55 metros em rochas resistentes de RMR pobre. Os fatores que influenciaram a classificação do RMR ser baixa nessas rochas estão relacionados ao grau de fraturamento dos maciços, embora apresentem resistência à compressão uniaxial entre 100 – 25 Mpa –  $R_3$  a  $R_4$ .

As demais coroas da série 14 foram empregadas em rochas de dureza menor, com destaque para a coroa 26030. Ela perfurou 30,12 m em gnaiss e extremamente resistente a resistente. Quando comparado ao desempenho da coroa de série 07, seu desempenho foi inferior. Entretanto, os resultados obtidos no estudo mostraram que as coroas da série 14 não performam bem nesse litotipo.

A coroa 31090 perfurou 16,98 m em metapelito razoável, tendo apresentado um desgaste do calibre externo que impossibilita seu emprego em novos furos. Atribui-se o fim da vida útil ao emprego incorreto da coroa em um litotipo de dureza inferior. Se comparada à coroa 30820 da série 10, que perfurou 43,99 m em metapelito de RMR razoável, conclui-se que a série 14 não é recomendada para metapelitos, sendo a performance das coroas de série 10 superior nesse mesmo litotipo.

Para obter uma correlação melhor entre o RMR e o desgaste do ferramental de corte é necessário prosseguir com os estudos para aprofundar no entendimento dos diversos parâmetros que impactam o desgaste e a vida útil das coroas diamantadas, por exemplo: a dureza de Mohs e a textura do maciço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (2013) *Manual de Sondagens*, 2ª ed., ABGE, São Paulo, SP, Brasil, 203 p.
- Bieniawski, Z.T. (1973) Engineering Classification of Jointed Rock Masses. *The Civil Engineer in South Africa*, 15, p.335-343.
- Bieniawski, Z.T. (1989) *Engineering Rock Mass Classifications: a Complete Manual*, 1st ed., John Wiley and Sons, New York, NY, USA, 251p.