

APLICAÇÃO DO SISTEMA RMR DE CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA EM MINA SUBTERRÂNEA, UTILIZANDO TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

Aarão de Andrade Lima¹; Gerlane Cavalcante Messias²

RESUMO - A metodologia apresentada por Lima e Schuster (2011) para classificação geomecânica de maciços rochosos por meio de testemunhos de sondagem, utilizando o sistema RMR (Bieniawski, 1989) é aplicada a um caso prático de uma mina subterrânea em fase de implantação no Estado do Mato Grosso. Com base na descrição detalhada dos resultados obtidos, fica demonstrada a utilidade prática da metodologia anteriormente proposta para a descrição geomecânica de testemunhos de sondagem. As representações dos resultados por meio de gráficos de linha e gráficos de distribuição bi-dimensional dos valores de RMR se mostram muito úteis para a localização de zonas de fraqueza nos maciços rochosos.

Palavras-chave: Maciços rochosos; descrição geotécnica; classificação geomecânica; RMR

APPLICATION OF RMR ROCK MASS CLASSIFICATION SYSTEM TO UNDERGROUND MINE, USING DRILL CORES LOGGING

ABSTRACT - The methodology presented by Lima & Schuster (2011) for geomechanics classification of rock masses through drill cores, using the RMR system (Bieniawski, 1989) is applied to a case study of an underground mine under implementation in the State of Mato Grosso. Based on the detailed description of the results, it is demonstrated the practical utility of the methodology previously proposed for the geomechanical description of drill cores. The representations of the results through line graphs and through two-dimensional distribution of RMR values has proved to be very useful for locating zones of weakness in rock masses.

Keywords: Rock mass; geotechnical logging; rock mass geomechanical classification; RMR

¹Professor Associado III, PhD. Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Rua Aprígio Veloso, 882, Campina Grande – PB, CEP 58109-970. E-mail: aaraolima@uol.com.br

²Aluna de graduação. Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande UFCG. E-mail: gerlanec@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A metodologia apresentada por Lima e Schuster (2011) para classificação geomecânica de maciços rochosos por meio de testemunhos de sondagem, utilizando o sistema RMR (Bieniawski, 1989) é aplicada a um caso prático de uma mina subterrânea em fase de implantação no Estado do Mato Grosso.

Neste trabalho são descritos os passos utilizados para a classificação geomecânica dos maciços rochosos, e para a subdivisão do mesmo em domínios geomecânicos.

Os resultados da classificação geomecânica são tratados estatisticamente para a obtenção de valores médios agrupados por furos, por seções, e por domínios geomecânicos e operacionais. São mostradas representações dos valores de RMR em forma de gráficos de linhas e de distribuição bi-dimensional em seção vertical.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MACIÇOS ROCHOSOS

Foi realizada a análise geotécnica das fotos de testemunhos de 21 furos de sondagem que cruzam os níveis superiores da mina em estudo, com o objetivo de verificar as condições para lavra subterrânea nos dois primeiros níveis. Por limitação de tempo foram analisados apenas os trechos dos furos em uma faixa limitada a 15 m de distância de cada um dos contatos do minério com a capa e com a lapa.

Na avaliação dos maciços foram considerados os seguintes domínios geotécnicos/operacionais:

- Zona de lavra, ou zona mineralizada, compreendendo rochas miloníticas, contendo sericita xisto, veios de quartzo auríferos, e zonas de falha com rochas decompostas e trituradas. Nessa zona serão desenvolvidas as galerias de lavra e serão deixados os pilares para estabilização dos realces.
- Capa, ou *hangingwall* (HW), próximas da zona de lavra, compreendendo rochas localizadas a menos de 15 m de distância do contato com a zona mineralizada, sendo constituídas principalmente por tonalitos, os quais são afetados por cisalhamento, variando de intenso a moderado. A estabilidade da capa é importante para o controle da diluição na lavra e para a estabilidade de longo prazo dos realces após a lavra.
- Capa, ou *hangingwall* (HW), distantes da zona lavra, compreendendo rochas localizadas a mais de 15 m de distância do contato com a zona mineralizada, constituídas principalmente por tonalitos, os quais são pouco afetados por cisalhamento. Essa zona é importante para a estabilidade regional da capa e para controle da subsidência, com implicações no montante de infiltração de água para o interior da mina.
- Lapa, ou *footwall* (FW), próximas da zona de lavra, compreendendo rochas localizadas a menos de 15 m de distância do contato com a zona mineralizada, sendo constituídas principalmente por metaconglomerados, os quais são afetados por cisalhamento, variando de intenso a moderado. A estabilidade da capa é importante para as galerias de transporte e de acesso, e subsidiariamente para o controle da diluição na lavra e para a estabilidade de longo prazo dos realces após a lavra.
- Lapa, ou *footwall* (FW), distantes da zona de lavra, compreendendo rochas localizadas a mais de 15 m de distância do contato com a zona mineralizada, constituídas principalmente por metaconglomerados pouco afetados por cisalhamento. Essa zona é importante para a estabilidade regional da mina, especialmente para estabilidade da infra-estrutura permanente (rampa principal e chaminés de ventilação). Na grande maioria das vezes a infra-estruturas de minas subterrâneas é posicionada na capa, mas podem ocorrer exceções a essa regra geral.

FUROS SELECIONADOS PARA DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA

Para a análise geomecânica foram escolhidas quatro seções verticais passando no depósito mineral, conforme indicado na Figura 1.

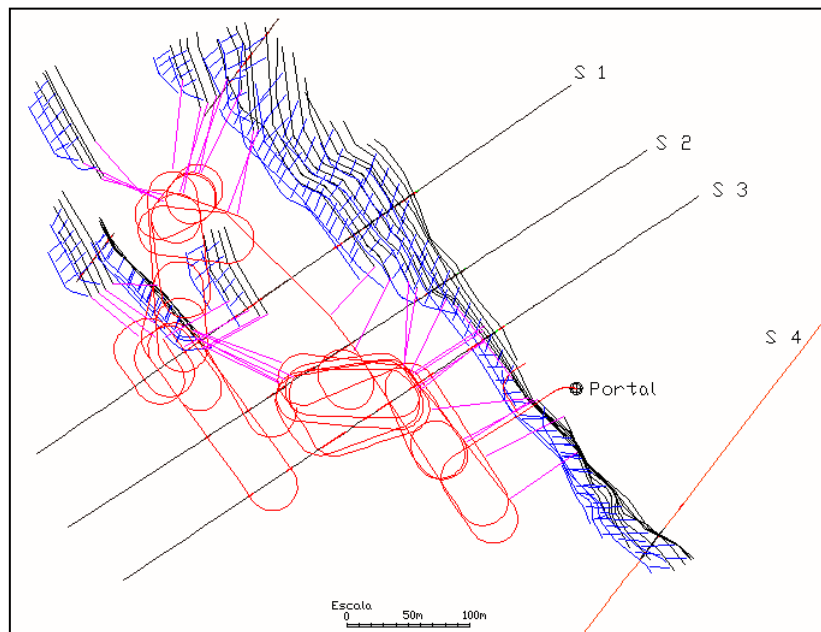


Figura 1 - Planta com indicação das seções utilizadas para a análise geomecânica, juntamente com as aberturas planejadas para o desenvolvimento da mina.

Foram selecionados furos de sondagem que cruzam o corpo de minério nos dois níveis de lavra superiores, e localizados a uma distância menor que 50 m das seções. Nas Figuras 2 e 3 são indicadas, em planta e em corte respectivamente, as posições dos furos selecionados para as quatro seções de estudo.

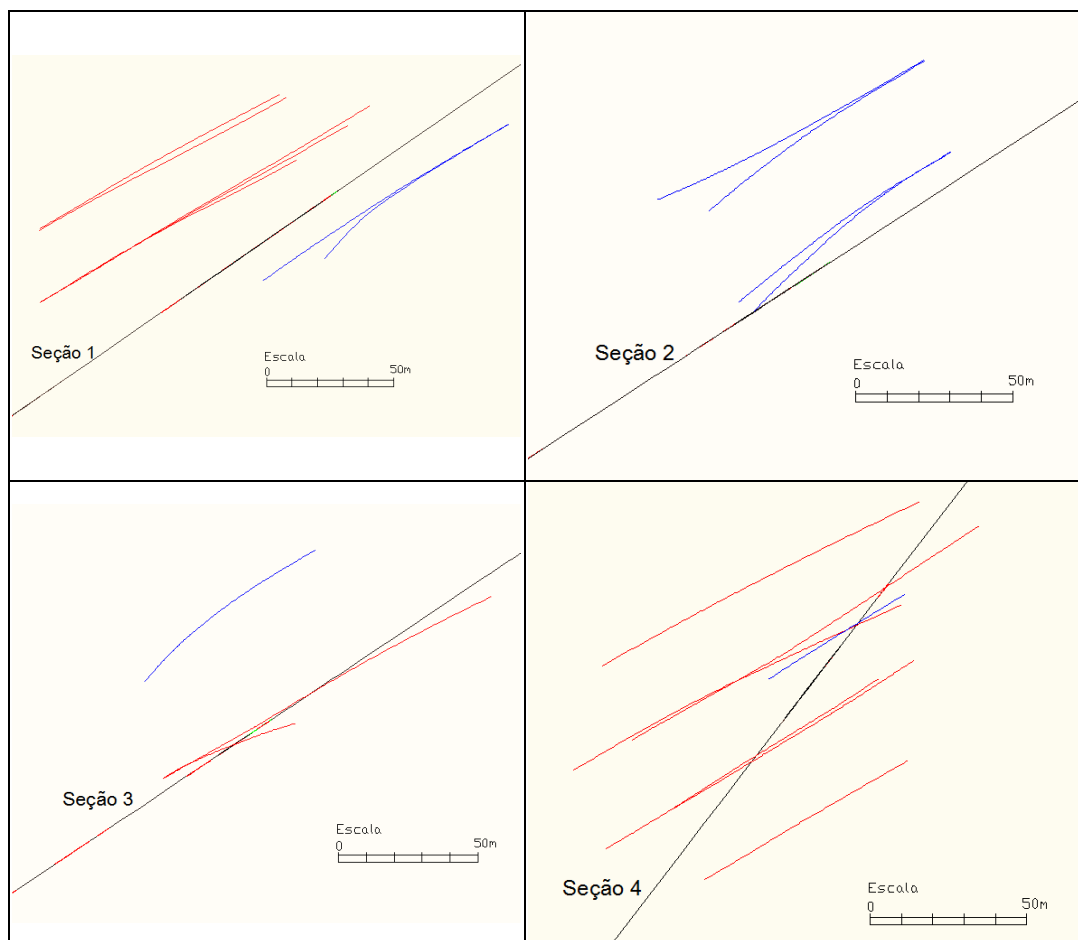


Figura 2 - Posição em planta dos furos em relação às quatro seções de estudo.

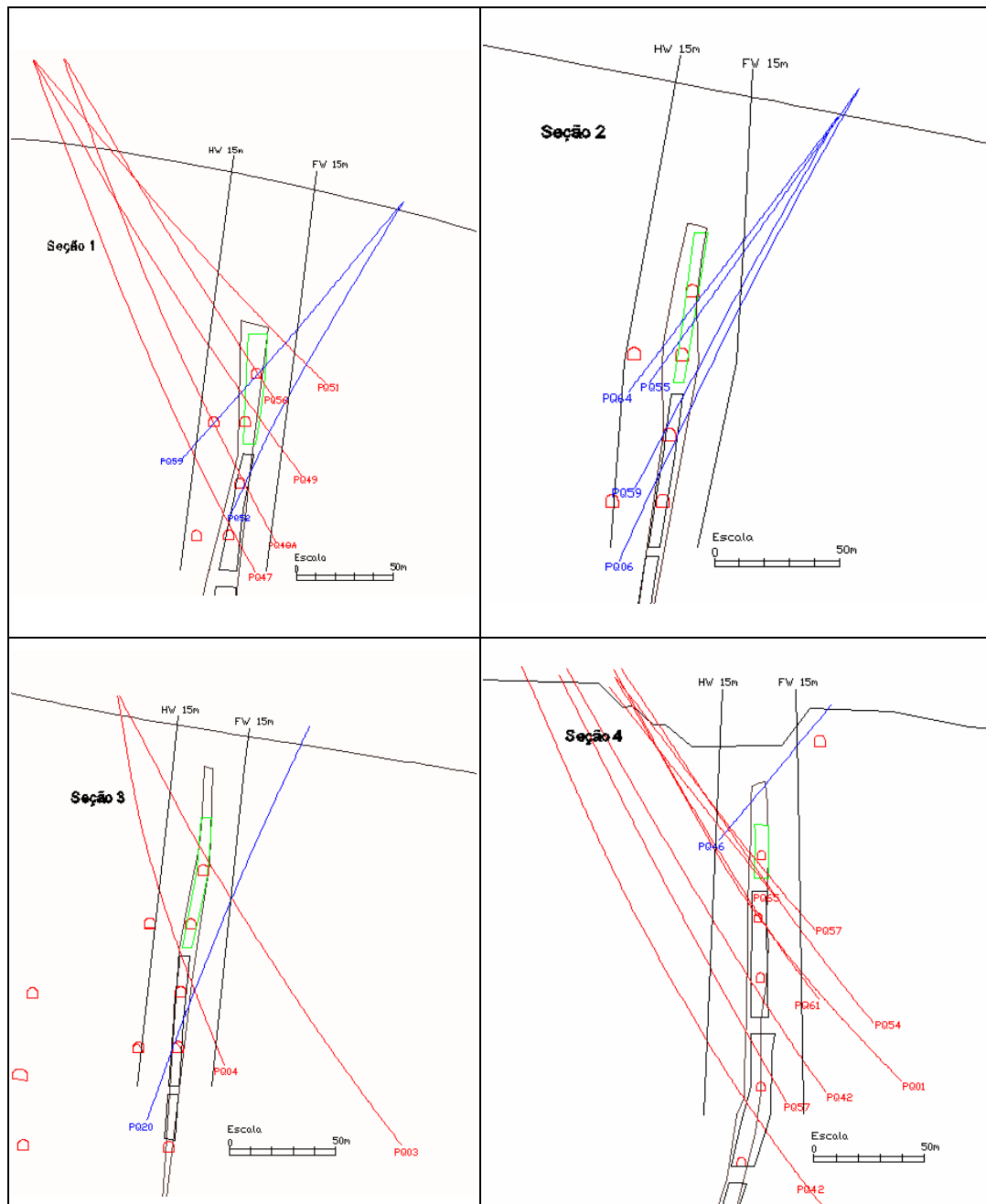


Figura 3 - Posição em corte vertical dos furos em relação às quatro seções de estudo.

Para simplificar o estudo, apenas os trechos dos furos próximos da zona de lavra tiveram os testemunhos analisados. Foi estabelecida uma faixa com uma distância de 15 m dos contatos da capa e da lapa para descrição dos testemunhos dos 21 furos de sondagem selecionados.

As posições dos trechos descritos nas quatro seções de estudo encontram-se indicadas na Figura 4.

Na Tabela 1 estão listados os furos com respectivos comprimentos totais e descritos, observando-se que foram descritos testemunhos recuperados em 1.384,08 m de perfuração.

DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

Para descrição geotécnica dos testemunhos de sondagem foi utilizado o sistema RMR (Bieniawski, 1989), o qual tem aceitação ampla e pode ser correlacionado com o sistema Q (Barton *et al.*, 1974; Barton, 2002). Na descrição dos testemunhos utilizando o sistema RMR foi adotada a metodologia descrita por Lima e Schuster (2011), adotando-se a de condição de água maciço “molhado”, ou “*damp*”, o que corresponde a uma pontuação constante igual a 7.

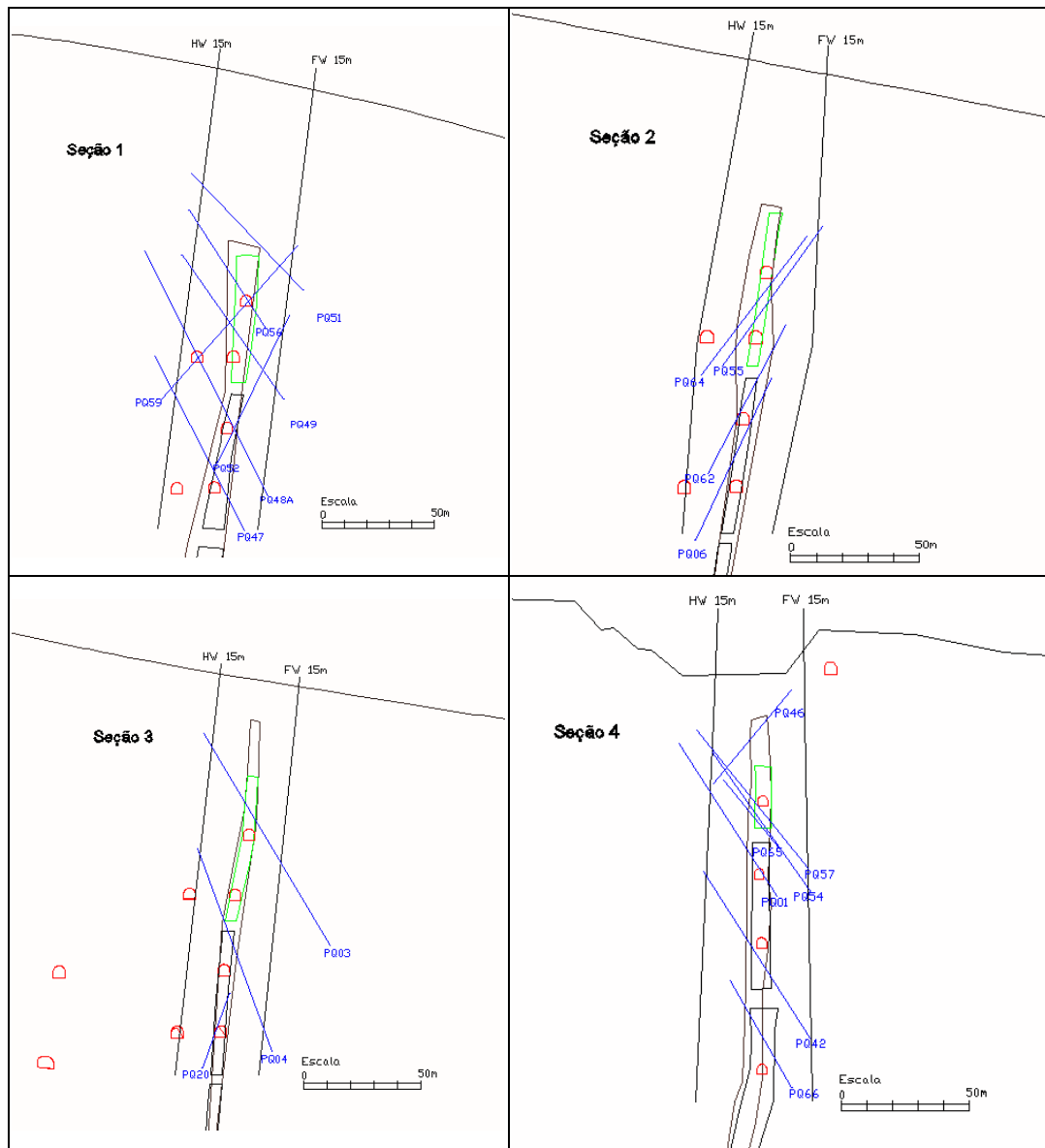


Figura 4 - Intervalos de perfuração utilizados na descrição geotécnica de testemunhos.

Para a medição do RQD e do espaçamento entre descontinuidades foram utilizadas as fotos dos testemunhos de sondagem. As avaliações de resistência compressiva e condições também foram feitas com base nas fotos, e na experiência obtida através do contato com os testemunhos e com a visita ao subsolo da mina em estudo.

Os RMR médios para os trechos descritos dos furos encontram-se na Tabela 2. Observa-se um valor médio geral igual 46,7 e desvio padrão dos RMR médios dos furos é igual a 7,1.

Esses valores médios englobam os maciços correspondentes à zona mineralizada e às rochas encaixantes próximas dos contatos da capa e da lapa. Na próxima seção são apresentados os valores de RMR e resistência compressiva com separação entre os domínios zona mineralizada, capa próxima do minério e lapa próxima do minério.

RMR REFERENTES AOS DOMÍNIOS GEOTÉCNICOS

Conforme anteriormente mencionado, a descrição geotécnica dos trechos dos furos selecionados priorizou as regiões dos maciços correspondentes à zona de lavra e às zonas próximas aos contatos da capa e da lapa que de acordo com a denominação aqui adotada são os seguintes:

- Zona de lavra, ou zona mineralizada
- Capa, ou *hangingwall* (HW), próximas da zona de lavra, menos de 15 m
- Lapa, ou *footwall* (FW), próximas da zona de lavra, menos de 15 m.

Tabela 1 - Listagem dos furos com respectivos comprimentos totais e descritos.

Seção	Furo	Comprimento do furo (m)	Início da descrição (m)	Término da descrição (m)	Comprimento descrito (m)
1	PQ 47	287,80	200	287,80	87,80
	PQ 48A	272,65	178,25	272,65	94,40
	PQ 49	255,35	170	238,7	68,70
	PQ 51	223,89	140	208,7	68,70
	PQ52	184,85	110,9	183,75	72,85
	PQ 56	204,99	141,63	205,06	63,43
	PQ 59	175,05	83,5	175,05	91,55
2	PQ 06	211,06	140,12	190,1	49,98
	PQ 55	144,05	76,8	144,05	67,25
	PQ 62	168,60	103,6	168,60	65,00
	PQ 64	137,05	68,85	137,05	68,20
3	PQ 03	250,75	44,25	104,9	60,65
	PQ 04	182,10	93,25	173,45	80,20
	PQ 20	200,83	147	180,89	33,89
4	PQ 01	227,15	70,1	140,3	70,20
	PQ 42	223,80	128,85	206,45	77,60
	PQ 46	79,35	30,6	79,35	48,75
	PQ 54	196,25	78,7	145,2	66,50
	PQ 57	144,40	67,2	135,95	68,75
	PQ 65	120,14	85,67	119,4	33,73
	PQ 66	217,84	171,82	217,77	45,95
	Total (m)	4.107,95		Total (m)	1.384,08

Por outro lado, os trechos distantes de mais de 15 m dos contatos tiveram seus parâmetros geomecânicos apenas estimados.

As posições dos três domínios geotécnicos foram definidas considerando conjuntamente as posições das manobras em relação ao desenho das seções (Figura 3). As distribuições de RMR ao longo dos furos são mostradas graficamente apenas para a seção 1 (Figura 5), por limitação de espaço.

Na Figura 5 são indicadas as marcações da capa (*hangingwall* – HW) e lapa (*footwall* – FW). Em geral, observam-se diminuições bruscas dos valores de RMR nos contatos da capa e da lapa. No interior da zona mineralizada observam-se oscilações, correspondendo a intercalações de lentes de rochas muito fraturadas e alteradas.

A partir da delimitação dos três domínios geotécnicos foi possível calcular médias ponderadas dos valores de RMR para os trechos de furos descritos, as quais se encontram na Tabela 3. Finalmente, na Tabela 4 estão os valores médios de RMR dos três domínios para as quatro seções analisadas, juntamente com as médias globais e os desvios padrão por domínio geotécnico.

Na Figura 6 é mostrada a distribuição bi-dimensional de RMR na seção 1, obtida através de interpolação utilizando técnicas de geoestatística (krigagem), onde se observa claramente a qualidade geotécnica inferior do maciço na zona de lavra.

Observa-se que os valores de RMR para capa (HW) e lapa (FW) são bastante próximos entre si, 50 e 51,2, respectivamente. Observa-se também que os desvios padrão para os RMR médios das seções são baixos, indicando baixa variação espacial nas características geotécnicas dos três domínios analisados. A média de RMR ponderada para capa e lapa é de 50,5.

Tabela 2 - RMR médios dos trechos descritos dos furos.

Seção	Furo	Comprimento descrito (m)	RMR médio*	RMR médio por Seção
1	PQ 47	87,80	56,9	46,7
	PQ 48A	94,40	53,3	
	PQ 49	68,70	45,7	
	PQ 51	68,70	38,2	
	PQ52	72,85	54,0	
	PQ 56	63,43	39,7	
	PQ 59	91,55	39,3	
2	PQ 06	49,98	48,3	44,2
	PQ 55	67,25	48,4	
	PQ 62	65,00	37,7	
	PQ 64	68,20	42,4	
3	PQ 03	60,65	50,2	48,2
	PQ 04	80,20	53,7	
	PQ 20	33,89	40,7	
4	PQ 01	70,20	49,4	47,2
	PQ 42	77,60	46,4	
	PQ 46	48,75	45,0	
	PQ 54	66,50	49,9	
	PQ 57	68,75	38,0	
	PQ 65	33,73	63,0	
	PQ 66	45,95	38,3	
	Total (m)	1.384,08		
Média *			46,7	
Desvio padrão			7,1	

* Médias ponderadas com base nos comprimentos descritos

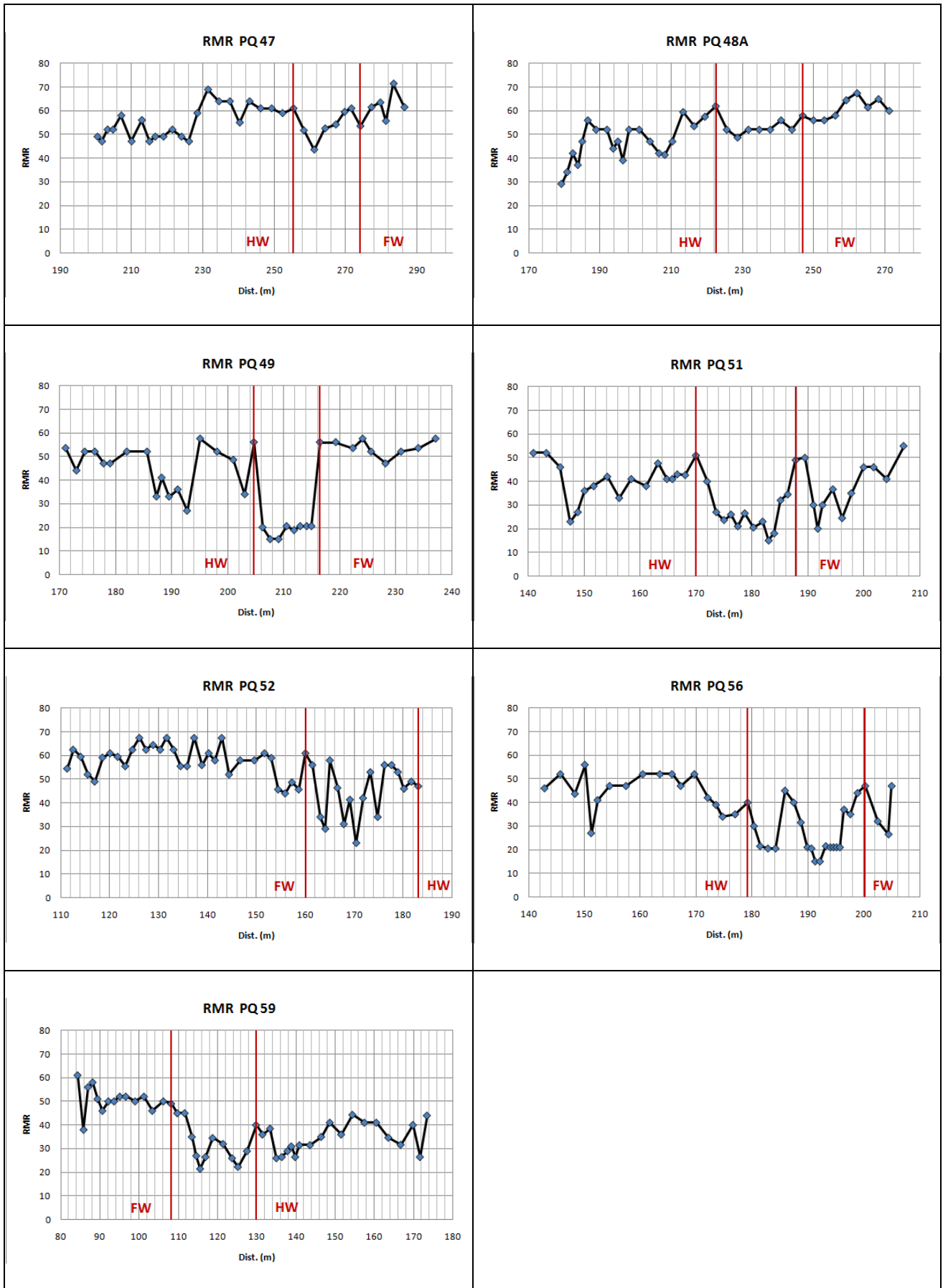


Figura 5 - Distribuição de valores de RMR ao longo dos furos, seção 1.

Tabela 3 - Valores de médios de RMR por furos para os três domínios geotécnicos.

Seção	Furo	<i>Hangingwall</i> - HW		Minério/Milonito		<i>Footwall</i> – FW	
		Comprimento (m)	RMR	Comprimento (m)	RMR	Comprimento (m)	RMR
1	PQ 47	56,90	56,7	18,75	52,9	12,25	63,7
	PQ 48A	45,80	49,5	21,35	52,1	27,25	60,7
	PQ 49	35,67	47,7	9,48	18,5	23,55	53,6
	PQ 51	31,00	42,0	16,16	26,3	21,54	39,5
	PQ52			21,50	44,6	51,35	58,0
	PQ 56	38,20	46,0	19,63	28,5	5,60	35,8
	PQ 59	45,95	36,5	20,25	32,1	25,35	50,3
	Médias*		47,1		38,3		53,9
2	PQ 06	11,45	45,8	17,84	44,3	20,69	53,1
	PQ 55	12,45	53,4	17,90	39,1	36,90	51,3
	PQ 62	24,95	49,2	29,55	23,8	10,50	49,3
	PQ 64	33,15	44,9	11,20	32,7	23,85	43,4
	Médias*		47,6		33,5		49,4
3	PQ 03	32,90	53,8	12,60	33,5	15,15	56,1
	PQ 04	36,15	58,5	9,25	37,8	34,80	53,0
	PQ 20	14,99	54,0	18,90	30,2		
	Médias*		56,2		32,9		53,9
4	PQ 01	50,45	56,0	11,65	24,0	8,00	44,7
	PQ 42	20,75	60,1	12,00	29,5	44,85	44,6
	PQ 46	30,95	46,8	7,90	39,0	9,90	44,3
	PQ 54	10,65	41,9	12,55	28,6	43,30	58,1
	PQ 57	30,70	49,5	14,30	25,8	23,75	30,4
	PQ 65	13,18	61,3	12,15	66,0	8,40	61,5
	PQ 66	10,53	53,1	22,60	21,9	12,82	55,0
	Médias*		52,9		31,9		48,1

Tabela 4 - Valores de médios de RMR seções para os três domínios geotécnicos.

Seção	<i>Hanging wall</i> - HW		Minério/Milonito		<i>Footwall</i> – FW	
	Comprimento (m)	RMR	Comprimento (m)	RMR	Comprimento (m)	RMR
1	253,52	47,1	127,12	38,3	166,89	53,9
2	82,00	47,6	76,49	33,5	91,94	49,4
3	69,05	56,2	40,75	32,9	64,94	53,9
4	167,21	52,9	93,15	31,9	151,02	48,1
Somas	571,78		337,51		474,79	
Médias ponderadas		50,0		34,8		51,2
Desvios padrão		4,4		2,9		3,0

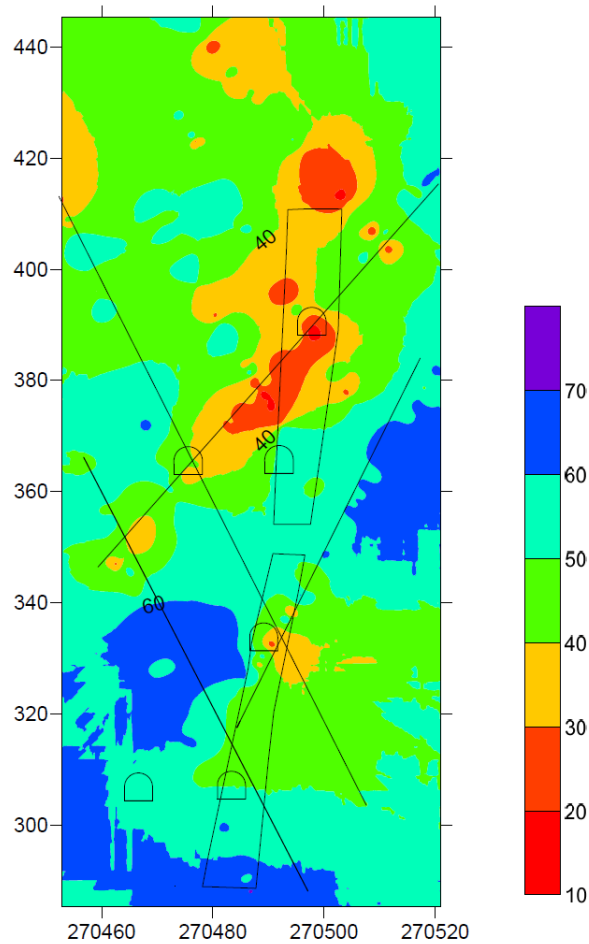


Figura 6 - Distribuição de valores de RMR na seção 1.

CONCLUSÃO

Com base na descrição detalhada dos resultados obtidos, fica demonstrada a utilidade prática da metodologia proposta por Lima e Schuster (2011) para a descrição geomecânica de testemunhos de sondagem, com uso do sistema RMR. As representações dos resultados por meio de gráficos de linha e gráficos de distribuição bi-dimensional dos valores de RMR se mostram muito úteis para a localização de zonas de fraqueza nos maciços rochosos, o que facilita sobremaneira o planejamento da lavra subterrânea.

REFERÊNCIAS

- Barton, N. R.; Lien, R. e Lunde, J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.
- Barton, N. (2002). Some New Q-value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design. *Int. J Rock Mech. Min. Sci.*, 39, 185–216.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*, Wiley, New York, 251 p.
- Lima, A. A. e Schuster, H. D. M. (2011). Descrição Geotécnica de Testemunhos de Sondagem Usando o Sistema RMR de Classificação Geomecânica. *Ambiente Mineral – Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente*, Volume 2, Nº 1, 2011 – ISSN 2179-6203, 1-9.