

Análise das Propriedades Geotécnicas do Uso Alternativo do Agregado Fino Derivado de Rejeitos de Minerações de Quartzito do Sudoeste Mineiro com o Solo Argiloso Laterítico para Pavimentação Rodoviária

Mariele Corrêa dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais, Passos, Brasil, mariele_bjp@hotmail.com

Fernanda Medeiros Dutra Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais, Passos, Brasil, fernandamdreis@hotmail.com

Ana Carina Zanollo Biazotti Collares

Universidade do Estado de Minas Gerais, Passos, Brasil, ana.collares@fespmg.edu.br

RESUMO: O município de Passos situa-se no Estado de Minas Gerais, região conhecida pela produção de quartzitos, a chamada "Pedra Mineira", comumente utilizada em revestimentos na construção civil. Durante a exploração deste material rochoso gera-se grande volume de rejeitos, que pode ultrapassar 90% do material extraído. Isto ocorre porque o quartzito é utilizado, como pedra de revestimento e seu uso seguem padrões para comercialização. Tal volume de rejeitos transforma-se em problema, produzindo passivos ambientais para as minerações e impactos negativos, tais como: desfiguração da paisagem; alterações do relevo natural; assoreamento dos corpos d'água; suprimimento da vegetação nativa; problemas de estabilização de taludes; dentre outros. Com o intuito de minimizar estes impactos, esta pesquisa visa determinar as propriedades geotécnicas e avaliar a viabilidade de uso da mistura agregado fino obtido dos rejeitos das minerações de quartzito do Sudoeste Mineiro com o solo argiloso laterítico para possível aplicação na pavimentação rodoviária. Realizou-se um levantamento das minerações de quartzito em atividade no Sudoeste do Estado de Minas Gerais, através de dados cadastrais da FEAM, do DNPM e de foto-interpretação, tomando-se por base imagens de satélite. Neste levantamento optou-se por uma pedreira para coleta da amostra de quartzito, localizada no município de Alpinópolis, a qual foi preparada para os ensaios de caracterização geotécnica. Coletaram-se dois solos tropicais no município de Passos, comumente encontrados na região. Iniciaram-se os ensaios com solos naturais, em seguida formaram-se três misturas solo-quartzito com porções diferentes de resíduos, com o intuito de verificar a melhoria das características físicas de compactação e capacidade de suporte do solo. Na caracterização do rejeito fino de quartzito, este se comportou como um agregado arenoso fino. Através dos ensaios observou-se que ocorreu uma mudança granulométrica das amostras e também dos índices obtidos com o ensaio de Proctor Normal; as misturas apresentaram um aumento do peso específico seco máximo (ρ_{dmax}) e em relação à umidade ótima ($W_{ótima}$) houve um decréscimo no valor desse parâmetro quando comparado às misturas com solo natural. Os solos e as misturas apresentaram-se arenosos lateríticos (LA'), classificação de solo muito utilizado em pavimentação rodoviária. De uma maneira geral ocorreu um aumento de resistência das amostras com a adição do rejeito.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeitos quartzito, Solo laterítico, Classificação MCT.

1 INTRODUÇÃO

A região Sudoeste do Estado de Minas Gerais é conhecida pela produção de quartzitos utilizados em revestimentos na construção civil, a chamada “pedra mineira”. A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2003) e o Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental (CODEMA, 2003) que trata dos municípios do estado de Minas Gerais, revelam que durante a exploração deste material rochoso gera-se grande volume de rejeito, que pode ultrapassar 90% do material extraído. Isto ocorre porque o quartzito é utilizado, como pedra de revestimento e seu uso segue padrões para comercialização.

O rejeito da “pedra mineira” transforma-se em um grande problema, produzindo passivos ambientais para as minerações e impactos ambientais negativos, tais como: desfiguração da paisagem; alterações do relevo natural; assoreamento dos corpos d’água; suprimimento da vegetação nativa; problemas de estabilização de taludes; dentre outros (ALECRIM, 2009).

Por outro lado, este rejeito, caso obedeça aos padrões normativos estabelecidos para o uso de materiais rochosos nas diferentes possibilidades de uso na construção civil, pode configurar-se como material viável para outros fins, oferecendo alternativas ao seu uso exclusivo, até então, como pedra de revestimento (COLLARES; FRANCKLIN JÚNIOR, 2010). Uma destas alternativas, que já está sendo pesquisada na Fundação de Ensino Superior de Passos, é o uso do agregado grosseiro como brita na composição do concreto.

Estimativas apontam que a cidade de Alpinópolis, lidera a produção em Minas Gerais com aproximadamente 50%; a cidade que detém o segundo lugar é Guapé, com aproximadamente 20% e os demais 30% são divididos entre as cidades de São José da Barra, Capitólio e São João Batista do Glória (ALECRIM, 2009).

Uma das alternativas sustentáveis aplicadas para fins de pavimentação pode ser o uso dos rejeitos de quartzitos como agregado fino em misturas com solos lateríticos argilosos, derivados de xistos e gnaisses do Grupo Araxá, que são comumente encontrados no sudoeste

mineiro. A mistura tem por objetivo melhorar as propriedades de resistência do solo laterítico. Nogami e Villibor (1995) preconizam o uso de solo tropical laterítico arenoso fino para fins de uso como base e sub-base de rodovias e propõem o uso da Classificação MCT de Solos Tropicais para fins de avaliação.

Devido ao clima tropical do Brasil, tem-se a formação de um tipo de solo com peculiaridades próprias, distintas de outros países. Fato este que gerou muitos problemas nas técnicas de pavimentação vindas de países como Estados Unidos, França e Alemanha, onde os agregados e os solos pertencem a outra formação geológica e passam por processos de intemperismo diferentes dos encontrados no Brasil, originando desta forma, solos com propriedades e características diferentes dos nossos.

A conscientização das peculiaridades dos solos tropicais como material de construção rodoviária brasileira ocorreu a partir de 1930, quando foi criada a Seção de Solos de Fundação no IPT/SP. Ao longo dos anos, a experiência mostrou que o estudo tradicional de solos, baseado no Limite de Liquidez, índice de Plasticidade, Granulometria por Peneiramento e outros índices não caracterizavam o real desempenho dos solos tropicais. Houve, portanto a necessidade de se criar uma nova classificação, a denominada Classificação MCT (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

No Brasil, o histórico do uso de resíduo de quartzito na pavimentação rodoviária iniciou-se com Silva (2000) que propôs elaborar misturas para o uso na estabilização de solos para sub-bases ou bases de pavimentos flexíveis. Mais tarde, Deschamps (2002), no estudo denominado “Minas Ambiente”, avaliaram as diversas possibilidades de uso do resíduo do quartzito, sendo utilizado como agregado para capa asfáltica ou na estabilização do solo na pavimentação. Alecrim e Fabbri (2004) apresentam uma proposta efetiva de aproveitamento do quartzito na estabilização de solos. As misturas projetadas apresentaram resultados acima dos preconizados nas normas de estabilização de solos.

Dado a todas estas características, esta pesquisa visa estudar o agregado miúdo

derivado do rejeito da “pedra mineira”, buscando alternativas para o seu uso na construção civil. Uma destas alternativas, para fins de pavimentação, pode ser o uso do agregado fino em mistura com solos lateríticos argilosos, derivados de xistos e gnaisses do Grupo Araxá, que são encontrados na região. A mistura tem por objetivo melhorar as propriedades de resistência e capacidade de suporte do solo laterítico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição da Área de Pesquisa

O estudo foi realizado em quartzitos dos Grupos Canastra e Araxá que afloram em algumas localidades da região Sudoeste do estado de Minas Gerais. Quanto às características do meio físico desses grupos, apresentam-se sobre as unidades geomorfológicas (CETEC, 1983): Planalto Dissecado do Sul de Minas; Serra da Canastra e Depressão do Rio Grande. A geologia está representada por rochas metamórficas (xistos, gnaisses e quartzitos) dos Grupos Canastra e Araxá (COMIG, 1994). Os solos são constituídos, predominantemente, por latossolos amarelo, vermelho-amarelo e vermelho escuro. Localmente ocorrem cambissolos e solos podzólicos. Nas regiões das minerações predominam solos litólicos e areia quartzosa.

2.2 Definição dos Locais de Coleta de Amostras de Quartzito

As minerações para coleta de amostras foram definidas por um levantamento, tendo por princípio as que estão em exercício no estado de Minas Gerais, através de dados cadastrais da FEAM e do DNPM e de foto-interpretação, tomando-se por base imagens de satélite.

2.3 Amostragem, Análise Granulométrica e Mineralógica das Amostras de Solo Laterítico

Foram selecionados solos lateríticos argilosos, muito comumente encontrados na região e escolhida duas áreas de empréstimo. Após a

coleta, foi realizada a análise granulométrica e mineralógica das amostras de solo natural.

2.4 Produção de Misturas Rejeito Fino de Quartzito/Solo Laterítico Argiloso e Caracterização Geotécnica

Foram produzidas misturas com o rejeito fino de quartzito e solo laterítico argiloso inicialmente em três proporções diferentes: 50/50; 30/70 e 70/30. Após a preparação das misturas, elas foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos, posteriormente realizou-se a caracterização geotécnica das misturas conforme descrito nos itens abaixo.

2.4.1 Massa Específica dos Sólidos

A massa específica dos sólidos é resultante do material constituinte e da porcentagem de ocorrência de cada um deles no solo, segundo Nogueira (1995). Este ensaio foi realizado de acordo com a NBR 6508/1984: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica.

2.4.2 Limites de Consistência

Os limites de consistência são utilizados para separar os estados de consistência de um solo fino ou da fração fina de um solo grosso, através de um teor de umidade limite entre dois estados. O limite de liquidez separa o estado líquido do estado plástico; o limite de plasticidade separa o estado plástico do semi-sólido. Estes ensaios foram realizados de acordo com as normas técnicas da NBR 6459/1984, 7180/1984 e 7183/1984.

A partir dos limites de consistência foi calculado o índice de plasticidade que afere sobre a maior ou menor plasticidade do solo e, fisicamente, representa a quantidade de água que será necessário acrescentar a um solo, para que ele passe do estado plástico ao líquido.

2.4.3 Classificação MCT

A metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), descrita por Nogami e Villibor

(1995), surgiu como uma necessidade diante das limitações dos procedimentos tradicionais de classificação de solos com base nas propriedades índices. A metodologia envolve os ensaios de Mini-CBR e a Perda de Massa por Imersão em corpos de prova de dimensões reduzidas (5 cm de diâmetro e 15 cm de altura). Foram realizados os ensaios da Classificação MCT e classificados os solos de acordo com esta metodologia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa utilizou-se de duas amostras de solos coletados no município de Passos: Solo A no Bairro Novo Mundo e o Solo B no Bairro Jardim Eldorado, observados na figura 1.



Figura 1. Imagem do Solo A e Solo B utilizados na pesquisa.

O rejeito de quartzito foi retirado da pedreira do município de Alpinópolis - MG. Na visita à pedreira verificou-se que no próprio desmonte havia o rejeito fino; desta forma, foram coletadas amostras em diferentes partes das frentes de escavação conforme pode ser observado na figura 2.



Figura 2. Locais da pedreira onde foram coletadas as amostras de quartzito.

Preparou-se misturas com o rejeito de quartzito (R) e com os solos lateríticos (S) em quatro proporções diferentes:

- Solo A (100% Solo)
- SA-R 30% (30% R / 70% SA);

- SA-R 50% (50% R / 50% SA);
- SA-R 70% (70% R / 30% SA).

- Solo B (100% solo);
- SB-R 30% (30% R / 70% SB);
- SB-R 30% (50% R / 50% SB);
- SA-R 30% (70% R / 30% SB).

Essas foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos para realização dos ensaios. As análises físicas foram realizadas de acordo com a metodologia do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), no Laboratório de Análises Química e Foliar da FESP-UEMG, observando que o Solo A possui 37,30% de argila e 34,00% de areia, já o Solo B 32,00% de argila e 40,40% de areia, sendo ambos classificados como solo de textura franco argilosa. O rejeito de quartzito apresentou uma granulação constituída quase predominantemente da fração areia cerca de 80,00%, e 18,00% e 2,00% para silte e argila respectivamente.

Para as misturas pode-se observar um aumento na parcela de areia, decorrente da porção de resíduo adicionado. Resultado que era esperado, pois qualquer substância que se acrescente ao solo irá mudar sua textura; com o acréscimo do resíduo o solo tornou-se mais arenoso e essa característica pode ajudar para um possível acréscimo de resistência.

Para verificação do Índice de Plasticidade dos solos (IP), realizaram-se os ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limites de Plasticidade (LP), dado pela equação:

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

tendo os resultados apresentados na tabela a seguir.

Tabela 1. Valores encontrados nos ensaios de Limites de Consistência.

	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
Solo A	43,30	29,00	14,30
SA-R 30%	41,10	27,00	14,10
SA-R 50%	40,00	26,00	14,00
SA-R 70%	39,30	25,90	13,40
Solo B	40,70	26,00	14,70
SB-R 30%	40,20	25,80	14,40
SB-R 50%	39,50	25,30	14,20
SB-R 70%	38,40	24,30	14,10

Conclui-se que a plasticidade do solo foi reduzida com o acréscimo de resíduo, explicado tal fato pela análise textural do solo; ao adicionar o rejeito, aumentou-se a fração de areia e diminuiu a fração de argila do solo. De acordo com a literatura os índices de plasticidade variam de: Solos fracamente plásticos ($1 < IP < 7$); Solos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$); e Solos altamente plásticos ($IP > 15$). Os Solos A e B e as misturas apresentaram valor de IP menor que 15%, sendo classificados como medianamente plásticos.

Podem-se observar na figura 3 os resultados obtidos com os ensaios de compactação do Solo A e das Misturas realizadas com o Solo A.

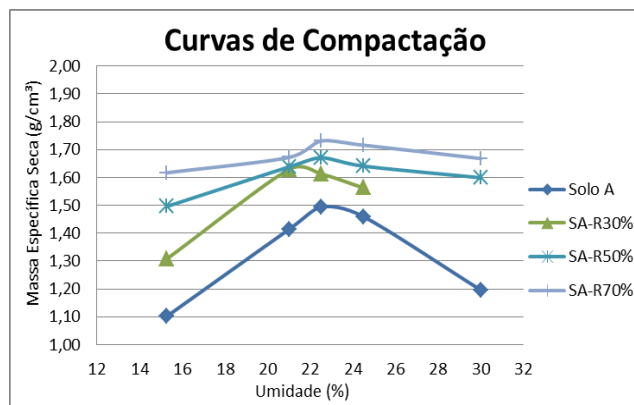


Figura 3. Curva de Compactação da amostra de Solo A e misturas.

Na figura 4 os resultados obtidos com os ensaios de compactação do Solo B e das Misturas realizadas com o Solo B.

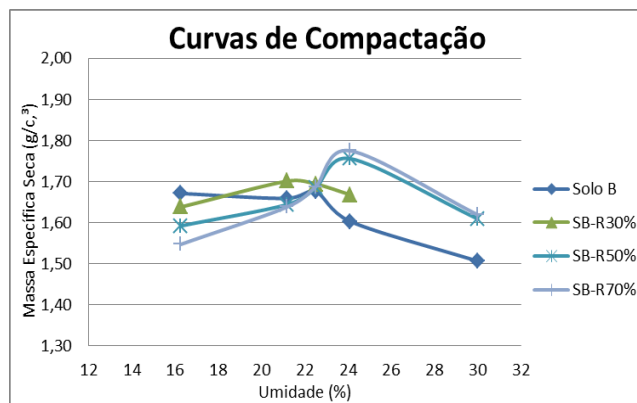


Figura 4. Curva de Compactação da amostra de Solo B e misturas.

Pela tabela 2 observa-se que para os Solos e as misturas houve um decréscimo nos valores de

massa específica seca máxima, fato que corrobora com YODER e WITCZAK (1975) que, através de uma pesquisa onde estudaram o comportamento das curvas de compactação e de CBR obtidas para vários tipos de materiais em relação ao teor de finos encontraram que, à medida que se aumenta o tamanho dos grãos e se diminui o teor de finos, os valores de CBR e densidade (massa específica) seca máxima aumentam enquanto a umidade ótima diminui.

Tabela 2. Valores encontrados nos ensaios de Compactação Proctor Normal.

	Umidade ótima (%)	Massa Específica Seca máxima (g/cm³)
Solo A	23,00	1,530
SA-R 30%	21,00	1,710
SA-R 50%	18,20	1,720
SA-R 70%	18,00	1,730
Solo B	22,80	1,650
SB-R 30%	20,50	1,672
SB-R 50%	19,00	1,665
SB-R 70%	18,90	1,650

Para o ensaio de compactação Mini-MCV utilizou-se de corpos de prova de dimensões reduzidas, conforme a metodologia de Nogami e Vilibor (1995) e em seguida o ensaio de Perda de Massa por Imersão, prescrito na Norma DNER-ME 256/94, e pode-se avaliar a erodibilidade dos solos na presença de água. Este resultado e o conhecimento do coeficiente d' , permite o cálculo do coeficiente e' através da expressão:

$$e' = (20/d' + P_i/100)^{1/3} \quad (2)$$

Onde:

e' = coeficiente da metodologia MCT necessário para a classificação dos solos;

d' = coeficiente angular da parte retilínea mais inclinada do ramo seco, correspondente a 12 golpes;

P_i = perda de massa por imersão, em porcentagem.

Após o ensaio de Mini-MCV, 10 mm do corpo de prova é extraído do seu molde e colocado em um tanque em imersão conforme a Figura 5. Finalizado o ensaio, é recolhida a massa de solo desprendida do molde e verificado seu peso.



Figura 5. Ensaio de Perda de Massa por Imersão.

A tabela 3 mostra os coeficientes c' e d' ; o coeficiente c' é obtido do coeficiente angular da curva de deformabilidade correspondente ao Mini-MCV igual a 10 e o coeficiente d' é obtido da curva de massa específica aparente seca x teor de umidade correspondente a 12 golpes.

Tabela 3. Coeficientes adquiridos pela Metodologia MCT.

	c'	d'	Pi (%)	e'	Grupo MCT	Clas.
Solo A	0,90	54,0	223,54	0,87	LA'	Arenoso Laterítico
SA-R 30%	1,00	33,9	213,89	0,96	LA'	Arenoso Laterítico
SA-R 50%	1,11	50,2	213,61	0,83	LA'	Arenoso Laterítico
SA-R 70%	1,14	63,5	215,64	0,80	LA'	Arenoso Laterítico
Solo B	0,80	52,0	223,21	0,86	LA'	Arenoso Laterítico
SB-R 30%	0,95	39,7	223,43	0,90	LA'	Arenoso Laterítico
SB-R 50%	1,00	65,2	219,21	0,84	LA'	Arenoso Laterítico
SB-R 70%	1,12	80,9	216,37	0,82	LA'	Arenoso Laterítico

Como podemos observar todos os pontos acima se enquadram como solo LA' – Arenoso Laterítico.

4 CONCLUSÕES

Através dos ensaios, pode-se observar que ocorreu uma mudança granulométrica das amostras e também nos índices obtidos com o ensaio de Proctor Normal; as misturas apresentaram um aumento do peso específico seco máximo (ρ_{dmax}). Em relação à umidade ótima (w_{ot}) houve um decréscimo no valor deste parâmetro quando se comparou as misturas com o solo natural, tanto para o Solo A, quanto para o Solo B.

Os resultados obtidos com a metodologia MCT também foram promissores; os solos e as misturas apresentaram-se todos arenosos lateríticos (LA'), classificação de solo muito utilizado em pavimentação rodoviária.

Vale ressaltar que esta é uma pesquisa que está sendo realizada e, pelos resultados obtidos, pode ser considerada promissora. Novos ensaios deverão ser realizados para que possa ser determinada a porcentagem ideal do resíduo para ser adicionado ao solo. O ensaio Mini-CBR deverá ser realizado nestes próximos estudos com o intuito de verificar a capacidade de carga dos solos e das misturas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica através do Programa Institucional de Bolsa CNPq/PIBIC/BIC e ao Laboratório de Geotecnia e Geologia da UEMG Campus Passos, pelo espaço disponibilizado para a realização dos ensaios experimentais.

REFERÊNCIAS

- Alecrim, A.V. *Estudo do resíduo de quartzito foliado para emprego em estruturas de pavimentos*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- Alecrim, A.V. e FABBRI, G.T.P. *Aproveitamento de rejeitos da mineração de quartzitos do Sudoeste de Minas Gerais em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis*. In: 1º Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 1. São Carlos, 2004. 23 e 24 de agosto de 2004. São Carlos-SP. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14545: *Solo – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de solos argilosos a carga variável*. Rio de Janeiro. 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: *Solo – Determinação do Limite de liquidez*. Rio de Janeiro. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: *Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro. 1984. Versão Corrigida 1988.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: *Solo - análise granulométrica*. Rio de Janeiro. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: *Solo - Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro. 1988.
- CETEC. *Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte. 1v. (Séries de Publicações Técnicas, 10). 1983.
- Collares, E.G. e Francklin Júnior, I. *Estudo da viabilidade de uso de rejeitos de minerações de quartzitos do Sudoeste Mineiro como agregado no concreto*. 105 p. FESP/ FAPEMIG, 2010. (Relatório técnico final de projeto científico apresentado à FAPEMIG).
- COMIG. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais – 1:1.000.000*. COMIG/SEME. 1994.
- Deschamps, E. *Controle ambiental na mineração de quartzito pedra São Tomé*. Projeto minas ambiente. Belo Horizonte SECRAC. 2002.
- FEAM; CODEMA. *Fundação Estadual do Meio Ambiente e Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental*. 2003.
- Nogami, J.S. e Villibor, D.F. *Pavimentação de baixo custo com solos Lateríticos*. São Paulo, ed Villibor. 1995.
- Silva, P.A.D. *Estudo na recuperação ambiental da pedreira municipal de Pirenópolis*. 133p. Dissertação de (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2000.
- Villibor, D.F., Nogami, J.S., Cincorre, J.R., Serra, P.R.M, Zuppolini, A.N. *Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas, bases alternativas com solos lateríticos*. São Paulo. 2007.