

AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE UTILIZAÇÃO DOS REJEITOS DOS GARIMPOS DA REGIÃO DE AMETISTA DO SUL (RS) NA CONSTRUÇÃO CIVIL¹

Francine Zanatta²
Pedro Padilha Costa³
Rejane Maria Candiota Tubino⁴

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados preliminares do estudo da utilização de rejeitos de basalto oriundos da extração de geodos de ametista para a fabricação de blocos de concreto para pavimentação, em substituição ao agregado graúdo convencional. O setor de extração de gemas e metais preciosos é preponderante na economia das regiões do Alto Uruguai e Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul, mas apresenta dificuldades tecnológicas, onde se destacam o grande volume de gemas exportadas em estado bruto com baixo valor agregado e equipamentos com baixa eficiência, gerando uma grande quantidade de rejeitos. Após uma caracterização e uma análise granulométrica do rejeito, foram moldados corpos-de-prova de 16 faces em concreto para pavimentação (tipo unystein) substituindo a brita por rejeitos basálticos nos teores de 0% (testemunho), 50% e 100% e submetidos a ensaios de resistência à compressão, absorção e abrasão. Os resultados preliminares apontam a viabilidade de utilização deste rejeito para este fim.

Palavras-chave: Resíduo; Garimpo; Impacto ambiental; Pavimentação.

STUDY FOR THE USE OF AMETHYST EXTRACTION WASTE AT CIVIL CONSTRUCTION INDUSTRY

Abstract

This work aims to present the preliminary results of the study of the use of waste from the extraction of basalt from amethyst geodes for the manufacture of concrete paving, replacing the conventional coarse aggregate. This sector is predominant in the economy of the Upper Uruguay and middle plateau region of Rio Grande do Sul, but presents technological difficulties, which highlights the large volume of gemstones exported with low added value and equipment with low efficiency, generating a lot of waste. After characterization and granulometric analysis, 16 faces specimens were molded in concrete (unystein type) replacing the coarse aggregate by amethyst extraction waste of 0%, 50% and 100% and submitted to testing of compressive strength, absorption and abrasion. The preliminary results show that this solid waste can be used, but improvements still should be done.

Key words: Solid waste; Mining; Environmental impact; Paving concrete.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng. de Bioprocessos e Biotecnologia; Mestranda, PPGEM, UFRGS, Brasil.

³ Estudante de Eng. Metalúrgica, Bolsista IC/CNPq, UFRGS, Brasil.

⁴ Eng. Civil, Dra., Professora, Demet, PPGEM, UFRGS, Brasil; rejane.tubino@ufrgs.br.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados preliminares do estudo da utilização de rejeitos de basalto oriundos da extração de geodos de ametista para a fabricação de blocos de concreto para pavimentação, em substituição ao agregado graúdo convencional. Segundo o IBGM (Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos), o Rio Grande do Sul é o segundo maior exportador brasileiro de gemas brutas (US\$ 10.175.000 em 1997) e lapidadas (US\$ 18.622.000), só perdendo para Minas Gerais.⁽¹⁾ Este setor é preponderante na economia das regiões do Alto Uruguai e Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul, mas apresenta dificuldades tecnológicas, onde se destacam o grande volume de gemas exportadas em estado bruto com baixo valor agregado e equipamentos com baixa eficiência, gerando uma grande quantidade de rejeitos.

As amostras foram coletadas na região de Ametista do Sul - RS e quarteadas, conforme NBR 10007.⁽²⁾ Após uma análise granulométrica, foram moldados corpos-de-prova de 16 faces em concreto (tipo unystein) substituindo a brita por rejeitos basálticos nos teores de 0%, 50% e 100% e após 7 dias e 38 dias de cura, foram submetidos a ensaios de resistência à compressão, aos 28 dias absorção e aos 38 dias, abrasão. O objetivo foi o de verificar a resistência e a durabilidade do concreto confeccionado com agregado de rejeito quando comparado com o concreto convencional. A partir dos resultados preliminares, observou-se que a substituição dos agregados convencionais utilizados na fabricação de blocos de concreto para pavimentação é viável, dependendo da sua finalidade.

A partir destes resultados nota-se que são necessários testes futuros, com um mínimo de investimento em equipamentos de moldagem, que garantam a qualidade final dos blocos. A intenção inicial do projeto foi a aplicação dos rejeitos em obras de municípios de pequeno porte da região de origem dos rejeitos, para que se consigam significativos ganhos ambientais, fornecendo uma ferramenta de produção mais limpa para a melhoria contínua do sistema de gestão ambiental dos garimpos de ametista. Uma vez que, com este tipo de utilização o volume de rejeitos tende a diminuir, pois desta forma trabalha-se com a não geração ou diminuição do resíduo.

1.1 Origem e Reciclagem dos Resíduos

Surgida na década de 1940, a mineração no Médio e Alto Uruguai do Rio Grande do Sul, Brasil, teve seu início por acaso, quando caçadores e agricultores pioneiros que habitavam a região nos anos 1940 encontraram as primeiras pedras sob raízes de árvores, córregos e áreas lavradas. O ano de 1972 foi o auge da produção, e o garimpo, que era ao ar livre, passou a ser feito sob a forma de túneis, que atualmente podem atingir a profundidade de 800 metros. A extração de ametistas, que ocorrem em geodos no interior de derrames de basalto da Formação Serra Geral, é realizada em grandes profundidades horizontais em galerias subterrâneas. Este processo de extração básico acaba acarretando vários problemas ambientais, pois o volume de resíduos gerados para extrair pequenas quantidades de pedras preciosas é muito alto e por falta de local adequado, estes rejeitos são dispostos em encostas, gerando instabilidade e destruição da vegetação nativa, sendo estes rejeitos compostos basicamente por sílica na forma de basalto.

Atualmente, uma das questões ambientais mais urgentes é a reciclagem de resíduos com origem nas atividades de mineração e sua correta disposição no meio ambiente. Muitos casos de aproveitamento têm demonstrado bons resultados, do

ponto de vista do meio ambiente, por criar uma maneira de reutilizar resíduos sem gerar danos, ou evitar o acúmulo de resíduos em áreas inapropriadas. Pelo lado econômico, a geração de subprodutos bem empregados podem gerar alternativas de renda.

Por ter uma produção em larga escala, o concreto sempre é uma alternativa econômica e potencialmente viável para receber materiais e proporcionar a reciclagem de resíduos de diversos setores. Além do que pesquisas apontam a incorporação segura de vários resíduos perigosos e não perigosos de maneira eficaz no concreto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de apontar a viabilidade técnica da utilização do rejeito, foram executados os seguintes testes:

- determinação de resistência à compressão, conforme NBR 9780,⁽³⁾ ensaio referência para o estudo de concreto para pavimentação;
- determinação de absorção, conforme a NBR 12118,⁽⁴⁾ avalia a relação da porosidade com a quantidade de água absorvida; e
- determinação de abrasão, conforme “método Cientec”, avalia a resistência dos blocos de concreto à abrasão.

2.1 Materiais Utilizados

2.1.1 Cimento

Para a moldagem dos corpos-de prova foi utilizado o cimento comercial tipo CP V – ARI (Alta Resistência Inicial), classificado conforme NBR 5733,⁽⁵⁾ considerado o mais puro (sem adições minerais). Este cimento é indicado para obras correntes de engenharia civil sob forma de concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento em que se necessita do desenvolvimento rápido de resistência mecânica à compressão.

A Tabela 1 Apresenta as principais características do cimento CP V – ARI.⁽⁵⁾

Tabela 1. Características do cimento CP V - ARI

Compostos	Teor (%)	Compostos	Teor (%)
SiO ₂	26,70	Perda ao fogo	2,63
Fe ₂ O ₃	2,27	CaO livre	0,78
CaO	52,38	Massa específica (g/cm ³)	3,10
MgO	7,05	Finura #325	1,94
Al ₂ O ₃	5,60	Finura (Blaine - m ² /kg)	483,70
SO ₃	4,80	Início de Pega (min)	198,00
		Fim de Pega (min)	278,00

2.1.2 Agregados

2.1.2.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado nas concretagens foi uma areia natural com módulo de finura igual a 2,21 e massa específica aparente de 2,62 g/cm³. Na Figura 1 é apresentada a curva granulométrica da areia utilizada.

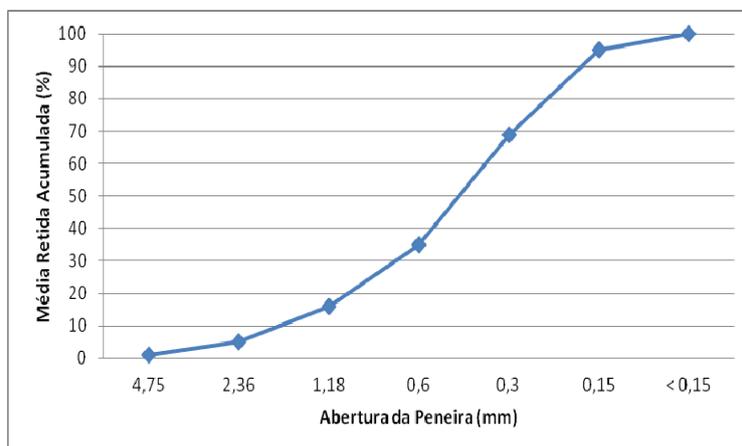


Figura 1. Análise granulométrica da areia utilizada.

2.1.2.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a brita de origem basáltica denominada Brita Zero (classificação conforme NBR 7211⁽⁶⁾), com dimensão máxima característica de 9,5 mm, com módulo de finura de 5,82 e massa específica aparente de 2,98 g/cm³. A análise granulométrica da brita está representada na Figura 2.

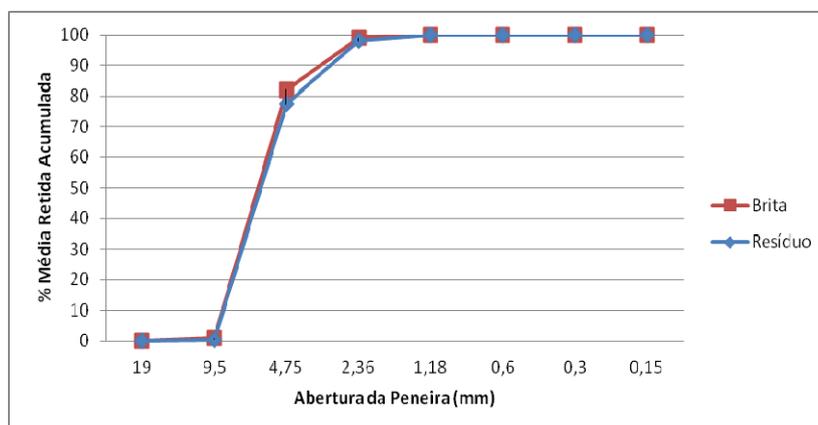


Figura 2. Comparação granulométrica da brita zero e do resíduo basáltico utilizado.

2.1.2.3 Rejeito basáltico (ametista)

O rejeito basáltico utilizado nos ensaios é oriundo da extração de geodos de ametista de uma empresa mineradora da região de Ametista do Sul no estado do Rio Grande do Sul. Foram coletadas amostras de um mesmo lote, de acordo com a NBR 10007,⁽²⁾ extraídas durante o processo de mineração dos geodos, e posteriormente britadas conforme NBR 7211.⁽⁶⁾ Na Figura 2 é apresentada a comparação entre o rejeito basáltico britado e a brita zero utilizada.

2.1.3 Água

A água utilizada foi a do sistema de saneamento local da cidade de Porto Alegre.

2.1.4 Concreto

O concreto confeccionado com os materiais citados tem as seguintes características: Traço 1:2,64:1,17 (cimento : areia : brita) - traço caracterizado com percentuais em massa. A adição do rejeito basáltico é definida nas proporções descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Proporções de rejeito e relação água/cimento

Composição	0% de Rejeito (Testemunho)	50% de Rejeito	100% de Rejeito
Relação a/c	0,29	0,294	0,285

Este traço foi escolhido por ser um concreto previamente dosado em experimentos similares anteriores para blocos de pavimentação tipo unystein, com uma relação de água/aglomerante descrita na Tabela 2.

2.2 Métodos de Ensaio

Um resumo da metodologia de ensaio é apresentado na Figura 3.

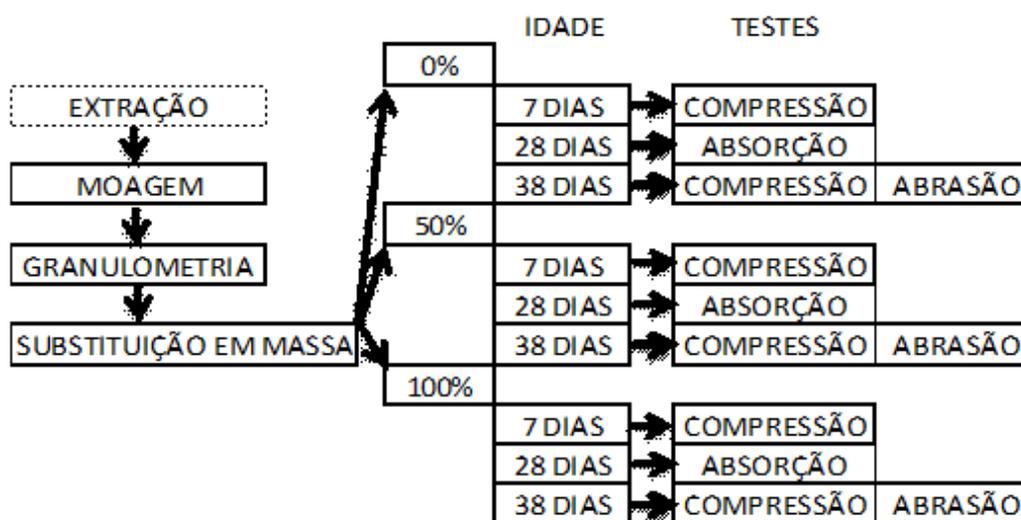


Figura 3. Metodologia de ensaio.

2.2.1 Produção dos blocos

O concreto para a confecção dos blocos foi produzido por uma betoneira de eixo vertical. Os blocos foram produzidos com uma vibro-prensa PMB-10 Vibramaq (Figura 4), com capacidade de produção de seis blocos por ciclo. Após a vibro-prensagem, a prancha com os blocos era conduzida a uma área de cura em ambiente de laboratório (Figura 5).



Figura 4. Vibro-prensa PMB-10 VIBRAMAQ.⁽⁷⁾



Figura 5. Secagem dos blocos em ambiente de laboratório.

2.2.2 Resistência à compressão

O procedimento seguiu a NBR 9780.⁽³⁾ Os blocos foram capeados com argamassa de cimento e areia fina, em um traço de 1:1. Após 24 horas de cura do capeamento as peças foram testadas conforme ilustra a Figura 6. Os blocos de concreto foram rompidos por uma prensa hidráulica com uma capacidade de 4 toneladas a 200 toneladas. Os corpos-de-prova foram dispostos entre placas metálicas auxiliares de 90 mm de diâmetro. A velocidade de carregamento dos corpos-de-prova foi de 500 KPa/s, até a ruptura dos blocos.

Foram confeccionados corpos-de-prova de 16 faces do tipo unystein em número de dois para cada adição e para cada idade. Cada corpo-de-prova foi submetido a uma prensa hidráulica de carga contínua até a ruptura, nas idades de 7 dias e 38 dias. O resultado final foi a média dos valores, em MPa.

A NBR 9781⁽⁸⁾ estabelece duas faixas de resistência à compressão – 35 MPa e 50 MPa – conforme o tipo de intensidade do tráfego de veículos ao qual o pavimento será submetido.

Entretanto, conforme Pagnussat,⁽⁷⁾ diversas empresas oferecem também pavimentos com resistências menores, na faixa de 25 MPa para situações específicas de menor solicitação de tráfego de veículos ou mesmo de trânsito de pedestres. A partir destas considerações, a dosagem dos blocos deste trabalho procura atender esta última faixa de resistência. Isto por que máquinas de pequeno porte como a disponível no laboratório do Norie/UFRGS dificilmente conseguem

produzir uma compactação eficiente, que garanta blocos com resistências mais elevadas de maneira econômica. A produção de blocos de 35 MPa ou 50 MPa demandaria um consumo muito mais elevado de cimento e de tempos maiores de vibro-compactação, o que poderia inviabilizar o programa experimental.



Figura 6. Prensa hidráulica utilizada nos testes de resistência à compressão.⁽⁷⁾

2.2.3 Resistência ao desgaste por abrasão

O índice de desgaste por abrasão é um importante parâmetro a ser considerado, principalmente em blocos de pavimentação, sujeito ao desgaste pela circulação de veículos e pedestres. Os ensaios foram realizados na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (Cientec), que desenvolveu uma metodologia própria para avaliação do desgaste. O "Método Cientec" simula um percurso de 500 metros percorridos por um corpo-de-prova submetido a uma pressão constante de 0,06 MPa sobre pó abrasivo carborundo. Cada bloco tem extraídas duas amostras, através de corte com serra diamantada. O resultado é apresentado em termos de índice de desgaste. Este equivale à média das diferenças entra as alturas iniciais e finais de cinco pontos do corpo-de-prova. As Figuras 7 e 8 mostram os corpos-de-prova extraídos dos blocos e o equipamento utilizado.



Figura 7. Máquina de testes de abrasão.⁽⁷⁾

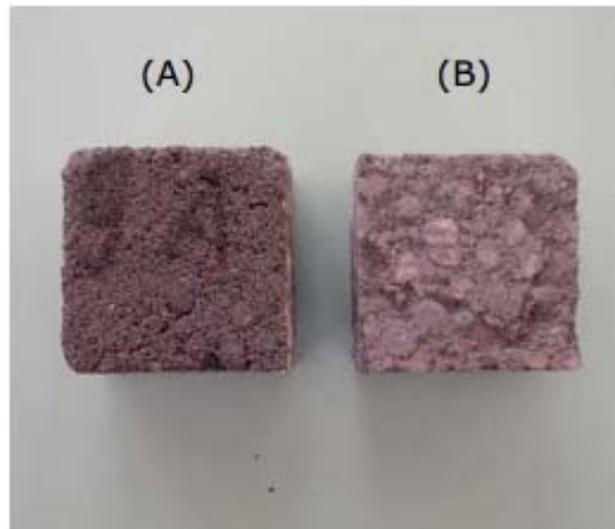


Figura 8. Corpos-de-prova extraídos.⁽⁷⁾

O índice de desgaste por abrasão foi realizado na idade de 38 dias.

2.2.4 Determinação de absorção

Embora não existam normas nacionais específicas para blocos de concreto para pavimentação, esta também é uma característica importante a ser considerada, pois tem reflexo direto na qualidade do bloco produzido, bem como das condições de serviço do pavimento. Blocos de concreto que absorvam muita água em geral são menos resistentes, além de facilitar a lixiviação de elementos químicos. Para a realização do ensaio de absorção, utilizou-se o proposto pela NBR 12118,⁽⁴⁾ para blocos vazados de concreto simples para alvenaria. O ensaio consiste em secar os blocos de ensaio em estufa, a 110°C ±5°C, até constância de massa. Após esta etapa, os mesmos são resfriados até a temperatura ambiente e imediatamente imersos em água, onde leituras são realizadas após 24 h e depois de 2 horas em 2 horas, ou até que não se registre para o corpo-de-prova uma diferença de massa superior a 0,5% entre duas leituras consecutivas. O valor da absorção, em porcentagem, é dado pela Fórmula 1.

$$A\% = 100 \times (M_u - M_s) / M_s \quad (1)$$

Onde:

- A% = absorção de água;
- M_u = massa do bloco saturado em água; e
- M_s = massa do bloco após a secagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste ítem são apresentados os resultados dos ensaios propostos no programa experimental e descritos ao longo do item 2.

3.1 Resistência à Compressão

Os ensaios de compressão foram realizados com 7 dias e 38 dias de idade no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) e na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (Cientec), respectivamente.

A Figura 9 demonstra os resultados dos ensaios de compressão.

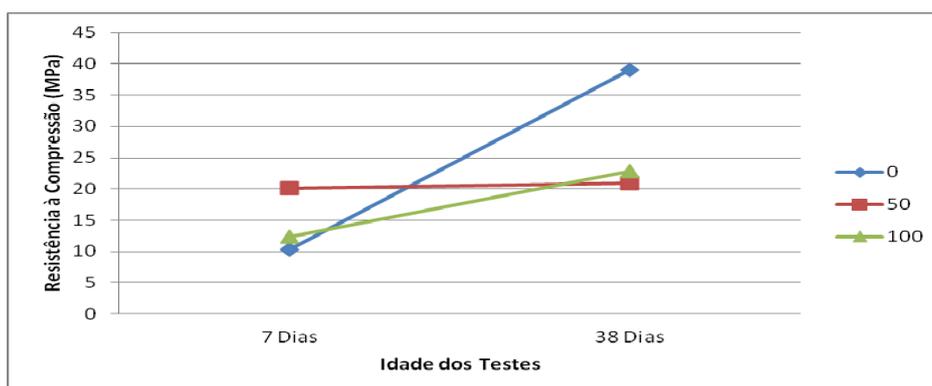


Figura 9. Resultados dos ensaios de resistência à compressão.

Como pode-se perceber, houve um incremento na resistência para os blocos testemunho (0%) e para a substituição de 100%. Para 50% de substituição o crescimento de resistência dos 7 dias para os 38 dias de idade foi discreto. De qualquer forma, exceto o traço testemunho, os blocos ficaram abaixo dos valores sugeridos pela norma NBR 9781⁽⁸⁾, que são de 35 MPa para solicitações de veículos comerciais de linha. Valores abaixo da norma são comuns, uma vez que a moldagem destes blocos é fortemente influenciada pelo tipo de equipamento utilizado e condições de cura dos blocos, conforme descrito por Pagnussat⁽⁷⁾ e por Vargas.⁽⁹⁾

Trabalhos como o de Pagnussat,⁽⁷⁾ que utilizou escória granulada de fundição – EGF como adição e como agregado miúdo para moldagem de blocos intertravados de pavimentação, apontam teores de 10% de EGF como substituição parcial de cimento como o que mais se aproximou do desempenho dos blocos referência. Os resultados também demonstram que não há diferenças significativas entre os blocos referência e os blocos com EGF, quanto ao desgaste por abrasão e absorção de água.

Pelos resultados deste trabalho fica evidente que um maior número de ensaios deve ser realizado a fim de que estes dados sejam confirmados.

3.2 Resistência ao Desgaste por Abrasão

Os resultados dos ensaios de resistência ao desgaste por abrasão, descrito no item 2.2.3 estão expressos na Tabela 3, conforme o laudo técnico emitido pela Cientec. As amostras extraídas dos blocos foram ensaiadas com 38 dias.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de desgaste por abrasão

Traço	A	B	MÉDIA (mm)
0%	9,72	9,07	8,95
0%	8,04	8,91	
50%	10,62	12,3	12,64
50%	13,64	14,02	
100%	24,55	25,01	24,71
100%	24,45	24,84	

A comparação dos resultados da tabela, demonstra que o desgaste por abrasão dos testes de 50% foi o que mais se aproximou do resultado do testemunho (0%). A análise dos valores determina que o desgaste mais expressivo foi dos blocos com 100% de substituição do agregado natural pelo agregado de rejeito. Acredita-se que a utilização de maquinário industrial para a moldagem dos blocos aumentaria a qualidade dos mesmos, diminuindo o desgaste por abrasão.

3.3 Determinação de Absorção

O resultado do ensaio de absorção, realizado conforme NBR 12118⁽⁴⁾ e descrito no item 2.2.4, é apresentado na Figura 10.

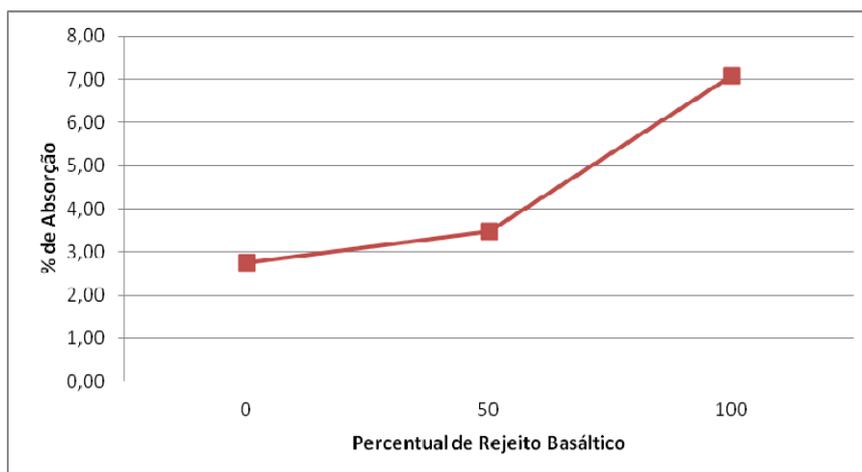


Figura 10. Absorção de água com relação ao percentual de rejeito basáltico.

Observa-se que a substituição do agregado graúdo convencional pelo rejeito de basalto proveniente dos garimpos de ametista, conferiu um aumento de absorção ao corpo-de-prova, sendo menor para 50% do que a substituição de 100%.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se, a partir da análise dos dados que, apesar de os blocos testados não cumprirem as especificações de 35 MPa para solicitações de veículos comerciais de linha, ainda assim podem ser utilizados para o objetivo inicial do trabalho, empregando estes materiais para pequenas obras municipais em passeios públicos para pedestres.

Os ensaios de compressão, abrasão e absorção, demonstraram que a substituição em massa de 100% do agregado graúdo pelo rejeito estudado, tornaria o produto inviável. Entretanto, acredita-se que substituições de até 50%, quando moldados em equipamentos profissionais, apresentariam resultados próximos ou superiores ao desejado.

Portanto, faz-se necessária a execução de testes de substituição em massa de teores entre 0% e 50%, para que se consigam significativos ganhos ambientais, fornecendo uma ferramenta de produção mais limpa para a melhoria contínua do sistema de gestão ambiental dos garimpos de ametista. Uma vez que, com este tipo de utilização o volume de rejeitos tende a diminuir, pois desta forma trabalha-se com a não geração ou diminuição do resíduo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à Fundação Luiz Englert – FLE, ao NORIE - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, ao LEME - Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, LEAmet - Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia e Cientec - Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- 1 BRANCO, PERSIO M., Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul, Chefe do Projeto de Pedras Preciosas do RS e SC, Livro Glossario Gemológico, disponível em <http://www.paginadogaucha.com.br/geog/pedra>, acessado em: 06/12/2009.
- 2 ABNT. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- 3 _____. **NBR 9780**: Peças de concreto para pavimentação- determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.
- 4 _____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Rio de Janeiro, 1991.
- 5 _____. **NBR 5733**: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro, 1991.
- 6 _____. **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.
- 7 PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) PPGEM- Porto Alegre- UFRGS, 2004.
- 8 ABNT. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação- especificação. Rio de Janeiro, 1987.
- 9 VARGAS, A. S. **Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica a arco na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). PPGEM- Porto Alegre- UFRGS, 148p, 2002.