

## DESEMPENHO EM CONCRETOS PRODUZIDOS COM REJEITOS DE PEDRA AMETISTA

Performance in Concrete With Amethyst Rock Rejects

Tuani ZAT<sup>1</sup>;  
William W. CADORE<sup>2</sup>

### RESUMO:

Analisando o atual cenário da construção civil nacional e tentando encontrar um destino mais sustentável e a viabilidade econômica, considerou-se a possibilidade da utilização do rejeito de mineração para produção de concretos em substituição ao agregado graúdo. O estudo dos rejeitos gerados a partir da mineração de pedras preciosas na região do médio alto Uruguai gaúcho teve como metodologia caracterizar fisicamente o material através de ensaios laboratoriais com o objetivo de utilizar o rejeito de rocha em substituição à brita convencional no concreto e analisar a influência desta substituição na resistência à compressão axial e nos aspectos de durabilidade como a carbonatação natural. Para isso foram moldados diferentes tipos de traços de concreto com CPV em relação a/c 0,4 e 0,6 em misturas com agregado natural e rejeito de rocha ametista. Com relação as idades dos ensaios foram tomadas 3, 7 e 28 dias em cura úmida. As resistências em geral são crescentes com a idade, verificando que os concretos com adição de pedra ametista apresentam queda na resistência para a/c baixa pela absorção de água do rejeito. Em termos de durabilidade, concretos com rejeito de pedra ametista apresentam tendência de profundidade de carbonatação de para uma vida útil acima dos 100 anos.

**Palavras-Chave:** Concreto, Rejeitos de Pedra Ametista, Carbonatação Natural, Sustentabilidade.

### ABSTRACT:

Analyzing the national construction current scenario and trying to find a more sustainable destination with economic viability, it was considered the possibility of produce concrete with rejects replacing the aggregate. The study with the use of the rejects had as methodology to characterize the material physically through laboratory tests with the purpose of replacing the conventional aggregate in the concrete, analyzing its influence in the compression resistance and in the aspects of durability as the natural carbonation. Thus, different types of concrete traces with CPV cement were molded in relation to a/c 0,4 and 0.6 in mixtures with natural aggregate and amethyst rock rejects. In relation to test ages were taken 3, 7 and 28 days in wet curing. Compressive strength in general are increasing with age, verifying in concrete with addition of amethyst rock show a decrease in strength to low w/c by the reject water absorption. In terms of durability, concrete with amethyst rock stone have tendency for a useful life above 100 years.

**Keywords:** Concrete, Amethyst Rock Rejects, Natural Carbonation, Sustainability.

---

<sup>1</sup> Bolsista - Departamento de Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada ao alto Uruguai e das missões – Campus de Frederico Westphalen

<sup>2</sup> Professor/Pesquisador - Departamento de Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada ao alto Uruguai e das missões – Campus de Frederico Westphalen

## 1. Introdução

A cidade de Ametista do Sul se tornou conhecida devido a extração de pedras preciosas e é considerada a capital mundial da pedra ametista. Atualmente toda a região está envolvida com o garimpo. Essa atividade é responsável por parte considerável da economia da região do Médio Alto Uruguai não havendo previsão de término, uma vez que todo o solo que apresenta essa mesma formação geológica tende à formação de pedras ametistas e ágatas.

A exploração (retirada, extração e obtenção) dos minérios se dá por meio de galerias horizontais, sempre a uma mesma altitude. A retirada é feita com o uso de explosivos e gera uma grande quantidade de resíduos que há anos são depositados irregularmente nas encostas dos morros, utilizando áreas que poderiam ser destinadas a outras atividades agrícolas, deixando assim de gerar renda para a agricultura familiar da região.

A pesquisa emerge da necessidade de buscar alternativas viáveis para a utilização dos rejeitos produzidos pela extração de ametista. Devido à sua origem basáltica e quimicamente inerte, acredita-se que uma alternativa viável seria a utilização desse rejeito adicionado ao concreto, em substituição do agregado graúdo.

Atualmente o concreto é um material que tem seu processo de produção e utilização amplamente disseminado em todo o mundo, a facilidade de utilização do mesmo em praticamente todas as áreas de construção proporcionou essa popularidade desde a sua descoberta. Segundo Pedroso (2009) o concreto é o segundo material mais consumido no mundo, chegando a uma média 1,9 tonelada por habitante por ano, valor esse que só perde para a água em questões de consumo.

A sua plasticidade permite a liberdade de expressão dos projetistas, proporcionando a construção das mais diversas formas que possam ser imaginadas. A resistência por sua vez, após a devida cura, pode ser comparada a de rochas naturais, e assim sendo, pode suportar o peso de uma estrutura de grande porte sem maiores preocupações.

O concreto é composto de materiais presentes em todo o mundo. O Cimento Portland, utilizado como aglomerante quando adicionado de água, trabalha em conjunto com os agregados, que podem ser graúdos ou miúdos, e tem origem de diversos tipos de rochas, adaptando-se às diversas regiões.

Atualmente sabe-se que os agregados têm função estrutural dentro do concreto, e sua qualidade afeta diretamente na qualidade do mesmo. No entanto, de início os mesmos eram adicionados a pasta somente para dar volume e baratear o produto, devido ao seu baixo custo e facilidade de acesso.

Desta forma, serão analisados os fatores de resistência e carbonatação de um concreto adicionado de rejeito da extração de pedra ametista e comparados esses valores com um concreto adicionado de um agregado graúdo com venda em larga escala no mercado. A partir desses resultados será analisada a viabilidade de utilização deste material como agregado em concreto e se for o caso, para quais áreas e utilizações é recomendado.

## 2. Revisão da literatura e fundamentos teóricos

### 2.1 Formação geológica da região do Médio Alto Uruguai

O Rio Grande do Sul é um estado reconhecido atualmente pelas suas vastas riquezas minerais, sendo que estas são responsáveis pela qualidade de vida de uma considerável porção de sua população. O estado é formado por uma superfície acidentada, composta principalmente por rocha basáltica resultado da atividade vulcânica ocorrida na região da bacia do paraná no período cretáceo.

O estudo realizado por Gomes (1996) sobre a formação geológica em toda a bacia do paraná nos permite observar a constante atividade vulcânica ocorrida na região a cerca de 135 milhões de anos atrás. Os intensos derramamentos gerados por essa atividade vulcânica e as condies em que ocorreram são responsáveis tanto pela riqueza em pedras preciosas da região, quanto pela qualidade do material de que o rejeito gerado pela mineração da pedra ametista é composto.

“Os maciços basálticos cobrem cerca de 40% da superfície do Estado do Rio Grande do Sul e são constituídos pela superposição de vários derrames de espessuras que variam de 20 a 60 metros. Parte dessa extensão está coberta por depósitos de composição ácida (teores de sílica superiores a 66%), características do final do ciclo de manifestação vulcânica.” (RETORE, 2005, p. 22)

Houveram, mais precisamente, 12 derramamentos vulcânicos na região do médio alto Uruguai, esses são divididos em derrames do Tipo 1(2, 3, 6, 7, 8, 9, e 10) e Tipo 2.

Ainda segundo Retore (2005) os derrames do Tipo 1 (com espessura de 15 a 35 metros) são mais delgados que os do Tipo 2 que podem variar de 20 a 50 metros. Sendo que os derramamentos do Tipo1 podem conter mineralização de pedra ametista, e possuem a estratigrafia descrita na Figura 1:

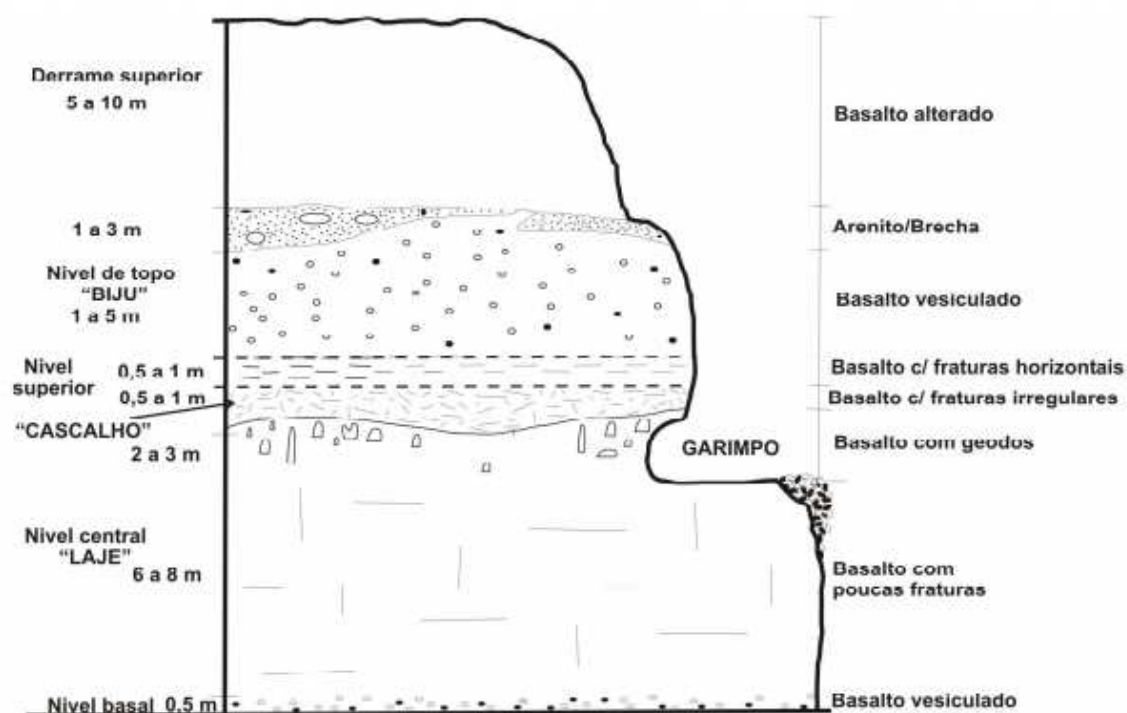


Figura 1. Estratigrafia presente na região de Ametista do Sul.

Fonte: Modificado por Juchem (1999) apud Retore (2005).

Quando os derramamentos aconteceram, acabaram propiciando uma alteração na pedra basalto, chamada de alteração hidrotermal, esse evento ocorreu a partir do aquecimento da água do aqifero já existente nessa região naquela época. A gua aquecida percolou rocha a cima carregando consigo minerais que propiciaram a formação de jazidas, modificando também a composição das rochas. Por esse motivo, parte do rejeito encontrado apresenta uma propriedade chamada argilização, que

nada mais é do que a propriedade de na presença de água, absorve-la, e na falta dela, expeli-la.

Ao longo das visitas e estudos realizados pode-se observar várias características do rejeito que é produzido a partir da extração de pedra ametista. Apesar de ser formado basicamente de basalto, um único tipo de pedra, o material pode ser dividido em rocha alterada e rocha inalterada pela mineralização.

Desta forma, o rejeito produzido é formado por um tipo de pedra que apresenta propriedades e características bem amplas e por causa das detonações é inviável separá-los ainda nas minas.



Figura 2. Diferenciação entre dois tipos de formação de rochas encontradas nas galerias de mineração

Fonte: GEPAC (2015).

Nas minas visitadas em Ametista do Sul, a diferença entre os dois basaltos é bem visível, como pode-se observar na Figura 2. A formação rochosa mais clara e abaixo é a laje, basalto que envolve os geodos, e a formação rochosa mais escura e recortada que observamos acima é o cascalho, rocha inalterada pela mineralização.

A laje se apresenta mais maleável, e com fácil deterioração sob ação de intempéries, já o cascalho se comporta de forma muito parecida com o material da brita tradicionalmente utilizada, ou seja, mais rígido e quimicamente inerte.

## 2.2 Resistência à compressão de corpos-de-prova – NBR 5738

A resistência do concreto foi a primeira característica do material a ser analisada, já que a mesma era muito ligada a durabilidade do concreto em épocas onde o conhecimento era mais empírico do que propriamente científico. O ensaio de compressão surgiu então para atender a necessidade de medição da resistência do concreto e outros materiais.

A resistência do concreto normalmente é considerada a propriedade mais importante, embora, em muitas situações práticas, outras características, como durabilidade, impermeabilidade e estabilidade de volume podem ser de fato mais importantes. No entanto, a resistência normalmente dá uma ideia geral da qualidade do concreto, por estar diretamente ligada a estrutura da pasta de cimento. (NEVILLE; BROOKS,

2013, p. 95)

A resistência pode ser influenciada por diversos fatores, tais como descontinuidades, falhas, porosidade e a microfissuração, sendo que a mesma pode ocorrer antes mesmo de o concreto ter forças aplicadas sobre si. No entanto, valores como a quantidade de vazios da mistura são difíceis de serem quantificados, por isso recorre-se a outros fatores, a partir dos quais podemos obter mais facilmente a sua influência sobre a resistência do concreto.

Ainda segundo Neville e Brooks (2013) as principais informações sobre a resistência do concreto, justamente pela facilidade de obtenção, são a idade, relação água/cimento, grau de adensamento e a temperatura. Há também fatores considerados de importância secundária, como a relação agregado/cimento, a qualidade do agregado, dimensão máxima do mesmo e a zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento.

### 2.3 Carbonatação Natural

Segundo Cadore (2008) a carbonatação pode ser definida como um processo físico-químico de neutralização da fase líquida presente nos interstícios do concreto. O processo é assim nomeado devido a reação de neutralização entre o hidróxido de cálcio (CH) e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), que resulta em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Ressalta também que os principais compostos que provocam a carbonatação são o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

A carbonatação provoca no concreto uma diminuição do seu pH e alteração da sua porosidade, alterando o volume dos seus poros devido as reações químicas que ocorrem. Desta forma, quando as reações de carbonatação chegam ao nível da armadura provocam a sua corrosão, causando assim efeitos irreversíveis a estrutura de concreto armado.

A alteração do pH pode ser verificada em ensaio, com a aspersão de fenolftaleína sobre o mesmo, a coloração adquirida pelo concreto é classificada de acordo com a Figura 3.

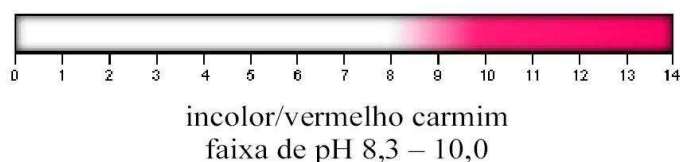


Figura 3. Distribuição da coloração de acordo com o pH.  
Fonte: Castro (2003)

Atualmente a competitividade no mercado de trabalho e a grande evolução em pesquisas na área de materiais de construção nos permite avaliar as características necessárias de um concreto, por exemplo, desde a etapa do projeto de uma estrutura. Considerando o aumento na produção de  $\text{CO}_2$  nos últimos anos e os danos causados pela carbonatação na durabilidade de uma estrutura de concreto armado, preza-se pela qualidade de cobrimento de concreto, ou pela utilização de aditivos ou minerais que reajam menos com o  $\text{CO}_2$ .

Desta forma, torna-se muito importante estudar a reação de carbonatação nas amostras do concreto com adição do rejeito industrial de pedra ametista, para garantir que o seu desempenho não será afetado.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo geral

Estudar os benefícios da utilização do agregado de origem da exploração do garimpo da pedra ametista nas propriedades do concreto.

#### 3.2 Objetivos específicos

Pesquisar a viabilidade técnica do emprego dos rejeitos da mineração da pedra ametista como contribuição para a preservação da qualidade do meio ambiente e desenvolvimento sócio econômico da região.

Analisar as diferenças entre os resultados da resistência à compressão dos concretos curados e controlados em laboratório com os resultados de concreto curado no meio ambiente

Analisar o fenômeno da carbonatação natural em concretos expostos à cura ambiental.

### 4. Resultados

#### 4.1 Caracterização Química

A COOGAMAI, tendo em vista seu papel na mineração da região, fez uma pesquisa em que foram analisadas amostras de rejeito coletado em diferentes locais e sob diferentes condições de beneficiamento. No entanto, deve ser ressaltado que essa análise não pode ser tomada como um padrão definitivo, pois a composição química varia de galeria para galeria, se foi ou não foi exposta a intempéries e de onde foi retirada, mais próxima ou não do geodo.

As seis amostras de basalto foram coletadas na BRITEC, no dia 1º de outubro de 2015.

Tabela 1. Análise química do rejeito de pedra ametista.

Elementos químicos (%)	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Amostra 05	Amostra 06
	Ro cha retirada de dentro do garimpo, próximo ao geodo	Ro cha retirada de dentro do garimpo	Ped ra rachão	Ro cha retirada de um depósito ao ar livre (+ ou - 8 anos)	Brit a nº 1 feita com pedras retiradas do garimpo e logo beneficiada s	Pó de rocha
Silício (SiO <sub>2</sub> )	48, 8	47, 43	48, 61	51, 03	48, 36	46, 76
Alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	14, 64	13, 53	16, 02	15, 52	12, 02	13, 90
Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	16, 85	16, 24	15, 06	14, 39	18, 73	17, 81
Cálcio (CaO)	8,4 8	10, 77	9,4 0	7,7 3	7,8 0	9,3 8
Titânio (TiO <sub>2</sub> )	3,6 4	3,6 3	3,6 1	3,5 8	2,7 2	3,7 4

Magnésio (MgO)	8	4,2	1	3,0	7	3,2	4	2,4	8	6,8	2	2,2
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0	2,1	3	2,6	7	1,3	7	2,1	2	1,1	9	1,2
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	4	0,7	5	0,6	4	0,8	8	0,7	5	0,5	6	2,2
Manganês (MnO)	3	0,2	0	0,2	3	0,2	0	0,2	8	0,2	5	0,2

Fonte: COOGAMAI (2015)

## 4.2 Caracterização Física

Os ensaios considerados importantes para caracterização do agregado de resíduo de pedra ametista são o de granulometria, massa unitária, massa específica e índice de forma.

Para realização dos ensaios foram utilizadas as instalações dos laboratórios da Universidade Regional Integrada ao Alto Uruguai e das Missões (URI), no campus de Frederico Westphalen. Todo o material utilizado sofreu a preparação necessária, que consiste em lavagem e secagem a 100°C, em todos os ensaios foram utilizadas cerca de 40 Kg de material.

Seguindo as instruções contidas na NBR 7217/1987, que especifica como proceder o ensaio de granulometria, a amostra de rejeito foi limpa e seca devidamente sendo em seguida quarteada, dividida em amostra A e amostra B.

Na segunda etapa foi promovida a agitação mecânica por cinco minutos, com a utilização das peneiras da série normal, estabelecidas pela NBR 7219/1987. Após foram pesadas as quantidades de material retida em cada peneira e anotados para posterior cálculo de porcentagem. O mesmo procedimento foi realizado com a amostra B. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2 e Figura 4.

Tabela 2. Resultados obtidos no ensaio de granulometria para o rejeito industrial de pedra ametista.

Abertura das Peneiras (mm)	a) Massa inicial seca (kg) = 5,0		b) Massa inicial seca (kg) = 5,0		(Mra) Massa retida acumulada (%)
	(Mrg) Massa retida (gramas)		(Mr%) Massa retida (Porcentagem)		
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B	
75	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
63	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
50	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,1	0,1	1,6%	1,8%	1,7%
12,5	3,8	3,8	75,6%	75,0%	77,0%
9,5	0,9	1,0	18,6%	19,6%	96,1%
6,3	0,2	0,2	3,8%	3,2%	99,6%
4,75	0,0	0,0	0,2%	0,2%	99,8%
2,36	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%
1,18	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%

<b>0,6</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%
<b>0,3</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%
<b>0,15</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%
<b>Fundo</b>	0,0	0,0	0,2%	0,2%	100,0%
<b>Total</b>	5,0	5,0	<b>D.máx = 19,0</b>		<b>M.F. = 6,97</b>

Fonte: O autor (2016).

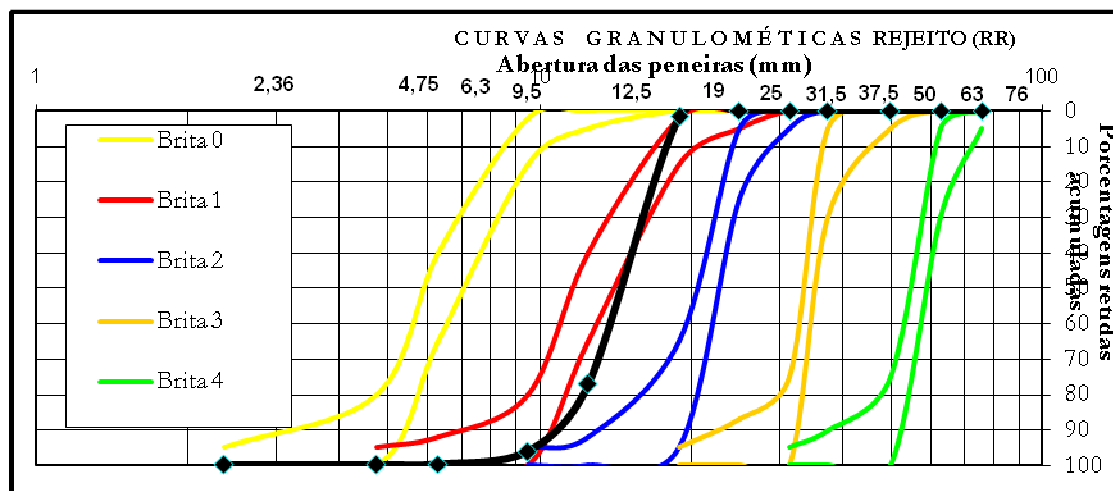


Figura 4. Curva granulométrica do rejeito industrial de pedra ametista.

Fonte: O autor (2016).

Da mesma forma foi realizado o ensaio com a brita a ser utilizada e obtendo-se os resultados conforme apresentados na Tabela 3 e Figura 5.

Tabela 3. Resultados obtidos no ensaio de granulometria para a brita utilizada.

Abertura das Peneiras (mm)	a) Massa inicial seca (kg) = 5,0		b) Massa inicial seca (kg) = 5,0		(Mra) Massa retida acumulada (%)
	(Mrg) Massa retida (gramas)		(Mr%) Massa retida (Porcentagem)		
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B	
75	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
63	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
50	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	2,7	2,6	53,7%	52,7%	53,2%
9,5	1,3	1,4	26,7%	28,5%	80,8%
6,3	1,0	0,9	19,0%	18,2%	99,4%
4,75	0,0	0,0	0,4%	0,4%	99,8%
2,36	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%
1,18	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%
0,6	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%



<b>0,3</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%
<b>0,15</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	99,8%
<b>Fundo</b>	0,0	0,0	0,2%	0,2%	100,0%
<b>Total</b>	5,0	5,0	<b>D. máx. = 19</b>		<b>M.F. = 6,80</b>

Fonte: O autor (2016).

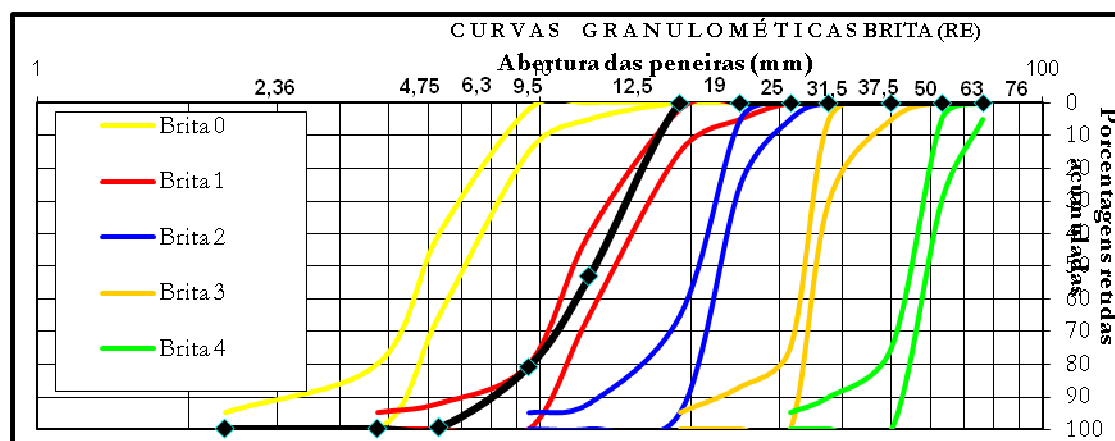


Figura 5. Curva granulométrica da brita.

Fonte: O autor (2016).

Como pode ser observado na distribuição granulométrica apresentada nos gráficos, as amostras podem ser classificadas como brita 1 pois ficaram entre os limites da mesma.

Na Tabela 4 estão compilados os dados dos ensaios restantes.

Tabela 4: Ensaios de caracterização física dos agregados graúdos utilizados

Ensaio	Norma correspondente	Rejeito	Brita
Massa Unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	NBR NM 45/2006	1,38	1,53
Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	NBR NM 53/2009	2,66	2,94
Absorção (%)	NBR NM 53/2009	4,72	0,38
Índice de Forma	NBR 7809/2005	3,33	--

Fonte: O Autor (2016)

O ensaio de massa unitária foi realizado seguindo especificações contidas na NBR NM 45/2006. Para tanto, foi utilizado um recipiente cúbico normatizado de 9,1 Kg de massa e 20 L de volume, o qual foi preenchido com o material até a borda e emparelhado. Foi pesado o mesmo e realizados os cálculos. Da mesma forma, foi realizado o procedimento utilizando-se a brita.

Na primeira fase do ensaio de massa específica e índice de absorção, o cesto de malha de arame com o rejeito é preenchido e em seguida com a ajuda da balança hidrostática é mergulhado em um tanque de imersão por 24 horas.

Na segunda fase foram estabelecidos os valores de Massa Imersa (Mi) e Massa Saturada de Superfície Seca (Msss) e em seguida a amostra foi seca a uma temperatura de 105°C por 24 horas. Os valores encontrados permitiram a obtenção da massa específica e índice de absorção do resíduo de pedra ametista. Utilizando da mesma metodologia foi realizado o ensaio com a brita de basalto

inalterado.

O ensaio de índice de forma, estabelecido pela NBR 7809/2005, utiliza os valores já calculados no ensaio de granulometria.

Com o auxílio de um paquímetro eletrônico foram medidos o comprimento e espessura de 40 pedras retiradas na peneira 9,75 mm e 160 pedras retidas na peneira 12,5 mm, sendo estes anotados e calculado o coeficiente C/E. Após esse procedimento é calculado o Índice de forma.

### 4.3 Ensaio de compressão Axial

As idades para realização do ensaio de compressão pedidas no plano de trabalho se restringiam a 28, 91, 182 e 364 dias. No entanto, foram realizados os ensaios também aos 3 e 7 dias, já que o cimento utilizado é o CPV ARI é caracterizado justamente por adquirir maiores resistências nas primeiras idades, desta forma pode-se observar detalhadamente a sua evolução quanto a resistência desde o início da cura.

Os resultados obtidos estão detalhados de acordo com o traço e idade do concreto na Tabela 5.

Tabela 5. Ensaio de Compressão Axial.

RAÇO	T	RE4			RR4			RE6			RR6		
		D		8			8			8			8
P1	C	8,56	9,34	8,48	6,37	8,97	4,89	4,61	8,76	2,27	2,72	15,5 2	6,26
P2	C	5,25	3,38	5,81	5,51	4,02	9,08	2,61	3,52	6,22	2,57	16,1 8	0,60
P3	C	6,03	2,24	3,23	4,97	4,57	9,56	2,28	7,86	4,83	,75	18,3 2	9,12
P4	C	6,00	9,77	1,56	4,31	0,72	8,41	0,25	0,59	5,18	1,80	21,5 3	6,79

Fonte: O Autor (2016)

Após a moldagem, todos os corpos de prova passaram para a cura em câmara úmida, até completarem os sete dias, de modo a controlar o calor de hidratação do concreto para que este não afete a sua resistência. Ao completar os sete dias os corpos de prova foram divididos, metade passaram para cura ambiental (nomeados de CP1 e CP2) e metade continuaram na cura em câmara úmida (CP3 e CP4).

Dessa forma, apenas os ensaios de 28 dias podem ser comparados quanto as diferentes formas de cura, no entanto, ainda não apresentaram diferenças significantes em sua resistência.

### 4.4 Ensaio de Carbonatação

Como previsto no plano de trabalho da presente pesquisa, o ensaio de carbonatação se realizará nas idades de 28, 91, 182 e 364 dias, no entanto, até o presente relatório, atingimos apenas as idades de 28 dias.

Os resultados fotografados estão reunidos abaixo nas figuras 6, 7, 8 e 9.



Figura 6. Ensaio de Carbonatação em RE4.

Fonte: O autor (2016).



Figura 7. Ensaio de Carbonatação em RR4.

Fonte: O autor (2016).



Figura 8. Ensaio de Carbonatação em RE6.

Fonte: O autor (2016).



Figura 9. Ensaio de Carbonatação em RR6.

Fonte: O autor (2016).

## 5. Discussão dos resultados

A análise química do material mostra um alto teor em sílica, componente que fornece ao concreto maior resistência e durabilidade. No entanto, a fonte de sílica normalmente utilizada para o concreto é a areia, e não podemos afirmar se um ocasional excesso de sílica não afetaria outras características do mesmo.

Quanto aos ensaios de caracterização física deve-se observar que o Índice de absorção do rejeito da mineração de pedra ametista é muito alto, fato que se dá devido a sua formação geológica e a argilização sofrida. Esse índice nos mostra a possível necessidade de utilizar um traço com mais água para o rejeito, caso não haja hidratação completa do cimento devido a grande absorção deste material.

Os resultados do ensaio de índice de forma mostram que as pedras oriundas do rejeito se apresentam muito lamelares e alongadas. Quanto ao valor obtido no ensaio, de 3,33, está acima do aconselhável, que é um máximo de 3 segundo a bibliografia consultada.

Na Figura 10 os valores obtidos no ensaio de compressão axial foram distribuídos em um gráfico, de forma que a comparação dos valores se tornasse de fácil visualização. Estão lado a lado,

em respectivas idades, o traço referência (RE4) e o traço com a adição de resíduo de pedra ametista (RR4).

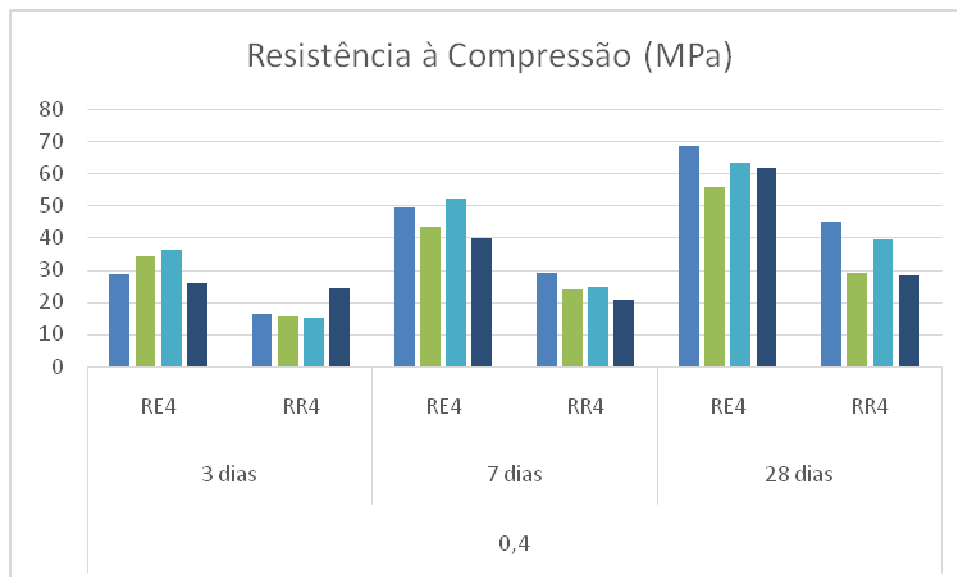


Figura 10. Resultados do ensaio de compressão axial para os traços com relação a/c 0,4.

Fonte: O autor (2016).

Ao serem colocados lado a lado os valores do traço com relação água/cimento mais baixa, podemos observar claramente que as resistências diminuíram com a substituição da brita pelo rejeito. Isso pode ser explicado pelo fato de que o rejeito apresenta um índice de absorção mais alto que o da brita, implicando na maior absorção de água pelo mesmo e então esse fato pode ter atrapalhado as reações de hidratação do cimento, diminuindo assim a sua resistência.

Já na Figura 11, distribuídos da mesma forma, no entanto o traço referência (RE6) e o traço com adição de rejeito (RR6) possuem agora uma relação água/cimento maior, de 0,6.

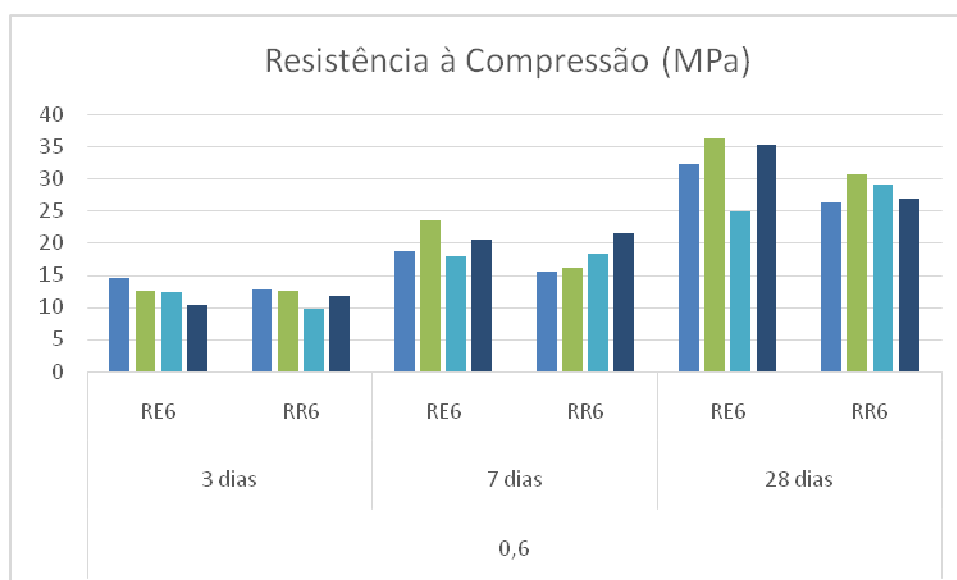


Figura 11. Resultados do ensaio de compressão axial para o traço com relação a/c

0,6.

Fonte: O autor (2016).

Pode-se observar que ao aumentar a relação água/cimento do traço, os valores de resistências obtidos tornam-se muito semelhantes, de forma que vem a se confirmar a teoria de que o rejeito necessita de mais água para se hidratar, devido ao seu índice de absorção.

Os resultados dos ensaios foram submetidos então a um tratamento estatístico, de forma a obter-se uma média que corresponda a cada traço moldado. As médias obtidas deram origem aos gráficos de comparação apresentados a seguir.

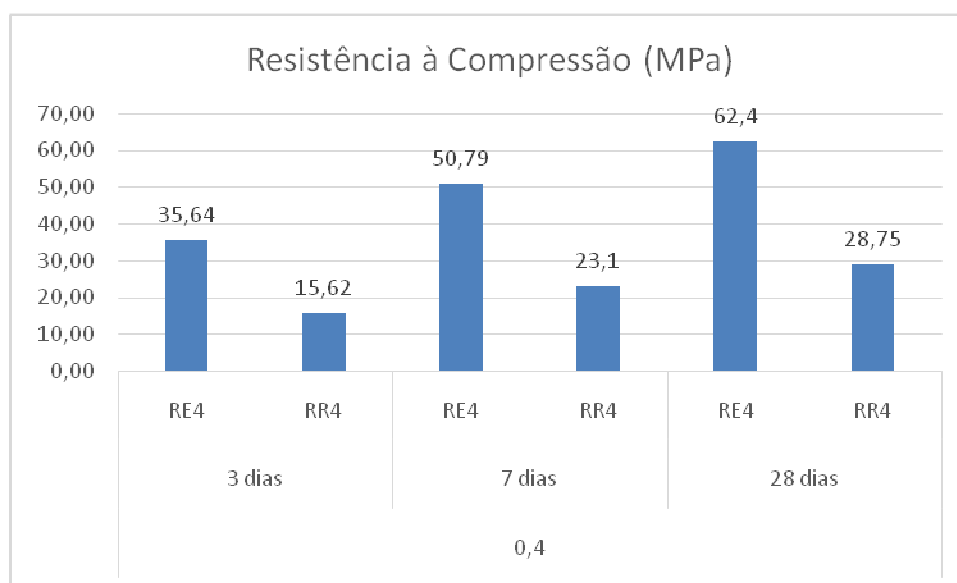


Figura 12. Gráfico de resistência média do traço com relação a/c 0,4.  
Fonte: O autor (2016).

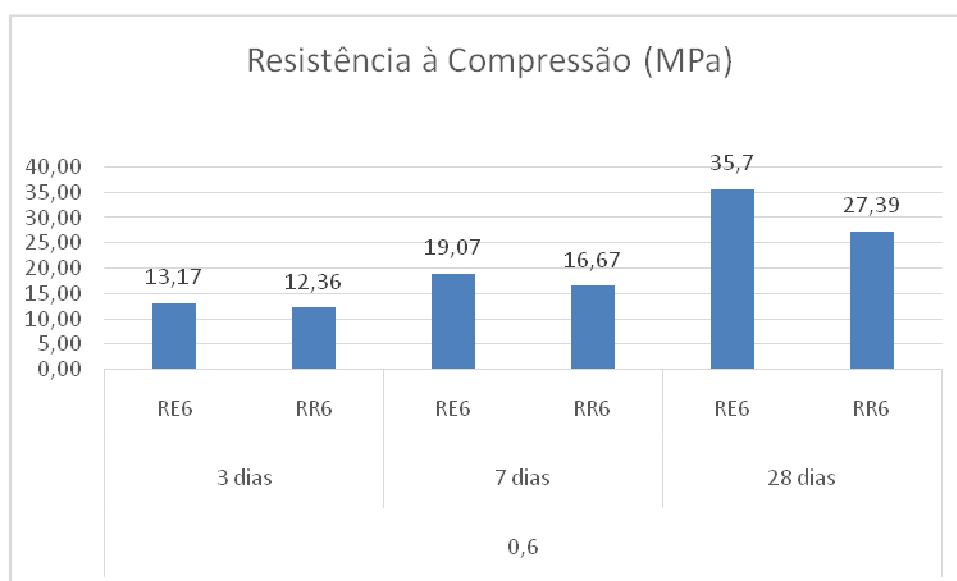


Figura 13. Gráfico de resistência média do traço com relação a/c 0,6.  
Fonte: O autor (2016).

Ao compararmos RE4 e RR4 (Figura 12) vemos que em termos de resistência a substituição

não se torna válida neste caso, já que a mesma caiu em torno de 50% ao ser substituído o agregado graúdo pelo rejeito de pedra ametista. Já no caso de RE6 e RR6 (Figura 13) a diminuição da resistência assume termos muito menores, em torno de 10%, tornando válida a substituição.

A carbonatação nas estruturas de concreto ocorre de acordo com os fatores de presença de umidade e teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Em geral umidades próximas a 65% tendem a causar maior efeito, por manterem a difusão nos poros da matriz cimentícia, combinada com o teor da atmosfera. O valor da atmosfera depende do local o qual está inserido.

No caso da cura ambiental em estrutura coberta, tem-se a tendência de um teor de umidade mais controlado, comparado com o exposto ao ar livre, com valores aproximado de teor de CO<sub>2</sub> em 0,3 % na atmosfera. Assim, de qualquer forma, espera-se para idades iniciais aos 28 e 91 dias a não presença de carbonatação, o que pode ser evidenciado nos resultados obtidos.

## 6. Conclusão

A caracterização do resíduo realizada mostra que as propriedades do mesmo variam muito devido a sua formação geológica, portanto não é possível garantir que todo o rejeito de pedra ametista irá apresentar os mesmos resultados, mas sim, resultados muito parecidos.

A análise realizada na composição química do rejeito nos mostra a presença em grande quantidade de sílica, componente que em condições normais dá ao concreto mais resistência e durabilidade. No entanto, a fonte normalmente utilizada de sílica no concreto é a areia, e não é possível saber se os dois juntos irão apresentar bons resultados.

Outra característica importante do resíduo é o seu índice de absorção, que apresentou-se elevado em relação a brita. Esse fator levará o concreto adicionado de resíduo a necessitar de mais água para atingir a mesma trabalhabilidade quando comparado a um concreto com brita. Se a relação água/cimento for relativamente baixa, o agregado irá absorver muita água, atrapalhando as reações de hidratação do concreto e alterando as suas características.

Avaliando os resultados obtidos até agora, é possível afirmar que o traço com menor relação água/cimento não obteve bons resultados no ensaio de compressão axial e provavelmente foi afetado pelo alto índice de absorção do rejeito de pedra ametista. Já o traço com maior relação água/cimento teve resistências comparáveis ao traço utilizado como referência.

A carbonatação ocorre de acordo com fatores como a umidade e o teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Considerando que a cura do concreto se deu em um ambiente coberto, onde a umidade se torna mais controlada, e não agressivo em quantidades de CO<sub>2</sub>, não era esperado nenhum sinal de carbonatação nos primeiros ensaios, sendo que os resultados confirmaram esta teoria.

Dessa forma, as perspectivas técnicas e econômicas são elementos importantes para a viabilidade de comercialização de produtos dentro da cadeia da construção civil. Sobretudo, as questões ambientais são fundamentais dentro do ciclo de vida do produto para que sejam considerados sustentáveis. Nesse sentido, essa pesquisa, inserida na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, economia voltada para a agricultura familiar, em específico, para o grupo pertencente a cooperativa de garimpeiros COOGAMAI, apresenta resultados satisfatórios. Os garimpos dessa região são caracterizados pela extração da pedra ametista, produzindo grande quantidade de rejeito, composto por duas variedades de rochas que são lançadas em depósitos em encostas de morros, mata nativa, ou no sopé das encostas, onde ocupam áreas de pecuária ou de cultivo com grande potencial econômico.

Em síntese, existe uma tendência de desempenho satisfatório do concreto frente às condições de solitação aos esforços de compressão axial e durabilidade quanto à carbonatação. Assim, pela viabilidade técnica, espera-se que os resultados contribuam para o desenvolvimento e aplicação dos

compostos cimentícios em benefício econômico para a região e em especial para os associados da COOGAMAI.

## 7. Bibliografia

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **Agregados – determinação da massa unitária e volume de vazios** – NBR NM 45/2006 Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- \_\_\_\_\_: **Agregados – determinação de materiais pulverulentos** - NBR 7219/87 Rio de Janeiro, RJ, 1987.
- \_\_\_\_\_: **Agregados graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio** – NBR 7809/2005 Rio de Janeiro, RJ, 2005. 20
- \_\_\_\_\_: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água** – NBR NM 53/2009 Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- \_\_\_\_\_: **Concreto – determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone** – NBR NM 67/98 Rio de Janeiro, RJ, 1998.
- \_\_\_\_\_: **Determinação da Granulometria dos Agregados** - NBR 7217/82, Rio De Janeiro, RJ, 1982.
- \_\_\_\_\_: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura** – NBR ISO 14040/2014 Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- \_\_\_\_\_: **Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos – método de ensaio**: NBR 5738. Rio de Janeiro. 1984.
- \_\_\_\_\_: **Novos padrões de qualidade para construção de casas e apartamentos** – NBR 15575/2013 Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- CADORE, W. W. **Estudo da carbonatação da camada de cobrimento de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria.
- CASTRO, A. **Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito à carbonatação**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Goiás.
- GOMES, M. E. B. **Mecanismos de Resfriamento, Estruturação e Processos Pós-Magmáticos em Basaltos da Bacia do Paraná** – Região de Frederico Westphalen (RS) – Brasil (1996). Disponível em < <http://hdl.handle.net/10183/12538>> Acesso em 20 de Janeiro de 2016.
- JUCHEM, P. L. **Mineralogia, Geologia, e Gênese dos depósitos de ametista na região do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.
- PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material Construtivo mais usado pelo homem**. Revista Concreto e Construções – IBRACON, n.53, p. 14-19, 2009.
- RETORE, T. S. **Comportamento Mecânico de Agregados de Basaltos para Pavimentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005