

# ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PRODUÇÃO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO UTILIZANDO AGREGADOS ENCONTRADOS NA REGIÃO DO VALE DO ITAJAÍ

**Rodrigo Catafesta Francisco (FURB);**

**Abrahão Bernardo Rohden (FURB); Joel Dias da Silva, Dr. (FURB)**

## **PALAVRAS CHAVE**

Concreto de Alto Desempenho, Dosagem, Agregados

## **KEY WORDS**

*High Performance Concrete; Dosage; Aggregates*

## **RESUMO**

Na Engenharia, uma grande variedade de materiais e produtos entra no mercado a cada dia, porém, é sempre necessário realizar uma avaliação crítica para identificar aquilo que realmente trará vantagens para o cliente, e verificar qual é a tecnologia mais adequada para cada caso. Realizou-se uma pesquisa no Vale do Itajaí para identificar os agregados presentes na região, após a identificação dos agregados, amostras foram trazidas ao laboratório para a caracterização destes agregados e então verificar a viabilidade da produção do concreto de alto desempenho (CAD) utilizando os mesmos. O referencial teórico traz definições de traços, adições, agregados, aditivos, aglomerantes, entre outros componentes utilizados para a produção de concreto, para então, indicar as diferenças e vantagens técnicas e econômicas que existem entre o concreto convencional e o CAD. O trabalho aponta a evolução do CAD e de alguns de seus componentes ao longo da história. Com a evolução destas tecnologias é natural que as normas técnicas aumentam as exigências em relação à qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado cada vez mais. Foram levantados alguns dos cuidados para a execução de obras, pois a utilização do CAD requer um alto controle tecnológico, tanto por parte da usina de concreto, como por parte da empresa que realiza a execução. Foram elaborados traços de CAD com diferentes relações de Água/Aglomerante para cada tipo de agregado, e os resultados encontrados nos ensaios de resistência a compressão axial nos traços de A/Ag 0,2 superaram os 90 MPa estabelecidos pela ABNT:NBR 6.118 (ABNT, 2014), os ensaios de compressão diametral ficaram próximos de 10 MPa e no ensaio de módulo de elasticidade dinâmico destacou o basalto como rocha que possui o maior módulo de elasticidade. As conclusões da pesquisa provam que a região do Vale do Itajaí tem potencial para produzir CAD, e permitir que ele seja produzido e utilizado na região.

**ABSTRACT**

*In Engineering, a large variety of materials and products enter the market every single day, however, it is always necessary to make a critical assessment to identify what really will benefit the customer, and find what the most appropriate technology for each case is. A search in Itajaí Valley was performed aimed to identify the aggregates in the region, after the identification of the aggregates, the samples were brought to the laboratory for the characterization of these aggregates and then check the viability of high performance concrete (HPC) production using this aggregates. The theoretical referential brings definitions of concrete mixtures, additions, aggregates, additives, binders, and other components used in production of concrete, then, indicate technical and economic differences and advantages that exist between conventional concrete and HPC. The work shows the evolution of HPC and some of its components throughout history. With the evolution of these technologies is natural increase technical requirements for quality and durability of concrete structures reinforced more and more. Some care for the execution of works have been raised, as the use of HPC requires a high technological control, both by the concrete plant, as by the firm carrying out the execution. HPC mixtures were made with different ratios of water/binding agent for each aggregates type, and the results found in the axial compression endurance tests in the mixes of water/binding 0.2 exceeded 90 MPa set by the NBR 6118 (ABNT, 2014), the diametrical compression tests were close to 10 MPa and the module test dynamic elasticity highlighted the basalt rock as it has the highest modulus of elasticity. The research findings prove that the Itajaí Valley region has the potential to produce CAD, and allow it to be produced and used in the region.*

**1. INTRODUÇÃO**

Ao longo da história, a Engenharia Civil evoluiu muito, e assim permitiu com que os seus profissionais se tornassem cada vez mais ousados na hora de conceber novas estruturas. Isto ocorreu, principalmente, pela evolução na disponibilidade de materiais, onde os mesmos se tornaram mais acessíveis, e cada vez apresentam características melhores e vantagens como maior resistência à compressão por unidade de custo, peso e volume (MEDEIROS & DIAS, 2013). Um exemplo de material que obteve uma grande evolução foi o concreto, onde até antes da década de 60, ele possuía resistências máximas entre 15 e 20 MPa, e era considerado bom apenas para ser utilizado em fundações, pisos ou com função de proteger outros elementos estruturais contra a ação do fogo (FRANCO & REGATTIERI, 2007).

Durante a década de 60, engenheiros conseguiram triplicar a resistência do concreto na cidade de Chicago (EUA), onde o concreto atingiu os 60 MPa de resistência característica a compressão, que para a época foi o limite máximo de resistência até surgirem os superplastificantes na década de 70, e com eles o termo “concreto de

alta resistência”, pois este concreto possuía uma resistência à compressão relativamente maior do que o concreto comum da época. A partir da década de 80 as dosagens de superplastificantes foram aumentando pouco a pouco, e o concreto alcançando resistências cada vez maiores (BERTOCINI & SCHIMIDT, 2007).

Com o passar do tempo, surgem várias classificações para o concreto de acordo com as suas características. A ABNT:NBR 8.953 (ABNT, 1992), divide o concreto em classes de acordo com a resistência característica à compressão, onde na Classe I se enquadram concretos com resistência até 50 MPa, e na Classe II, entram os concretos que possuem resistência entre 55 e 80 MPa. Nesta grande evolução, alguns autores se destacaram e criaram novas classificações e categorias de concretos. Aitcin (2000) defendeu que os concretos com a relação Água/Aglomerante inferior a 0,4 indicava que o concreto pertencia à classe de concretos de alto desempenho, e esta é a barreira que divide a classe do concreto convencional da classe de concreto de alto desempenho. Já, outros autores como Mehta (1994), estipularam que o concreto é de alto desempenho quando sua resistência característica à compressão for maior ou igual a 40 MPa. Neste cená-

rio, o concreto é hoje um material relativamente barato, possui um consumo elevado no mundo inteiro pelas vantagens em relação à trabalhabilidade, durabilidade, e a facilidade de modelar as estruturas nas mais diversas formas.

Os projetos estruturais que utilizam o concreto de alto desempenho utilizam as recomendações da ABNT:NBR 6118 (ABNT, 2014), porém esta utilização do CAD exige cuidados especiais, pois os erros de dosagem e de execução tornam-se mais graves em função de ser utilizado menos aço nas armaduras. O CAD permite a redução da seção de pilares, mas é preciso ter um cuidado especial também ao verificar as ações do vento sobre a edificação de acordo com a ABNT:NBR 6123 (ABNT, 1988), pois em edifícios altos, possuir a seção reduzida pode prejudicar a resistência da estrutura contra o vento (DAFICO, 2012).

Essencialmente a obtenção do concreto, inicia-se com a fabricação do cimento, onde o processo inicia-se com a moagem, mistura e queima de calcário, argila e minério de ferro para a obtenção do clínquer. O Cimento Portland é obtido da mistura deste clínquer com gesso. Após obter o cimento, a mistura do cimento com água forma a pasta. A mistura da pasta com areia (agregados miúdos) forma a argamassa. E por fim, a mistura da argamassa com a brita (agregados graúdos) forma o concreto convencional (SANTOS, *et al.*, 2013). Para a melhoria de algumas características do concreto, podem ser utilizados aditivos superplastificantes, ou adições minerais, onde as mais comuns são a escória, o fíler calcário e as pozolanas (COSTA, *et al.*, 2007).

Para chegar ao concreto de alto desempenho, as adições precisam apresentar características melhores como, por exemplo, a alta reatividade dos materiais, então se utilizam as superpozolanas, como a sílica ativa e o metacaulim. Quando o concreto utiliza a sílica ocorre a minimização da exsudação e o aumento da coesão da pasta de cimento (VELOSO, *et al.*, 2012).

Várias pesquisas como a de Neville (1997), procuram por novos materiais que possam otimizar características do concreto, tanto para obter menor porosidade, quanto para obter maior trabalhabilidade e plasticidade, ou ainda maior resistência. Atualmente muitos materiais como

o bagaço da cana-de-açúcar e as cinzas da casca de arroz apresentam um bom desempenho como superpozolanas para servirem de adições ao concreto de alto desempenho. A vantagem destes novos materiais, é que cada região que produz concreto de alto desempenho pode utilizar o material mais acessível para melhorar o desempenho da pasta, visando o menor custo de produção (ALVES, *et al.*, 2011).

Em relação ao restante dos materiais necessários para a produção do concreto de alto desempenho, a seleção dos agregados tem grande importância, pois dependendo do tipo de agregado escolhido, ele pode tornar-se o elemento mais fraco dentro do concreto, levando o concreto a romper pela resistência do agregado. Então, para garantir a viabilidade da produção do concreto de alto desempenho na região de Blumenau, esta pesquisa procurou identificar os tipos ideais de agregados encontrados na região, para viabilizar a produção do concreto de alto desempenho (BACARJI, *et al.*, 2014). O CAD apresenta também um caráter sustentável, pois com a capacidade de alta resistência ele reduz o volume de materiais consumidos nas estruturas (VALIN JR, *et al.*, 2013).

Diante do cenário ora levantado, surge o questionamento: os agregados da região do Vale do Itajaí possuiriam potencial e características adequadas para serem utilizados na produção do concreto de alto desempenho?

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho caracterizou-se como uma pesquisa exploratória, onde os diferentes tipos de rochas encontrados com abundância na região do Vale do Itajaí constituíram-se como a população para esta pesquisa. Para a obtenção das amostras de agregados graúdos, buscou-se o auxílio de empresas da região do setor de extração e britagem de rochas. Buscando verificar a viabilidade da produção de concreto de alto desempenho na região, realizou-se uma pesquisa de campo nos municípios de Blumenau, Ibirama e Pouso Redondo, reunindo amostras de agrega-

do gráudo comercializado por empresas de britagem em cada município. A localização destes municípios é indicada na Figura 1.

Em cada central produtora de agregado para concreto, foram coletadas amostras britadas que são comercializadas como brita 0 e brita 1, e também blocos de rocha que não passaram

Figura 1 – Localização das cidades de coleta dos agregados



Fonte: Google Maps, 2014

pelos britadores. O primeiro local visitado foi a central de britagem no município de Ibirama onde a rocha mais abundante é o granito. A visita ao local ocorreu no dia 13/05/2014, e a britagem é realizada por britadores do tipo VSI. O segundo local visitado foi a central de britagem do município de Blumenau, onde a rocha mais abundante é a gnaiss. A visita ocorreu no dia 26/05/2014, e neste local a britagem também é feita por britadores do tipo VSI. O último local visitado foi a central de britagem do município de Pouso Redondo, onde a rocha mais abundante é o basalto. A visita ocorreu no dia 27/05/2014, e o processo de britagem deste local utiliza britadores do tipo mandíbula e de cone. Estas amostras coletadas foram levadas até o laboratório, onde foi realizada a caracterização do material, através de ensaios de compressão da rocha, análise granulométrica e índice de forma pelo método do paquímetro.

Para elaborar os diferentes traços de concreto, procurou-se padronizar o maior número

de características nos traços de concreto. Os traços foram construídos por uma planilha em Excel, que foi baseada no método proposto por Aïtcin (2000). Os materiais utilizados para cada traço foram pesados e colocados próximos à betoneira para facilitar a utilização dos mesmos.

Começava-se sempre com a adição de agregado gráudo e uma parte de água para umedece-los. Em seguida, adicionava-se o cimento CP V-ARI e a sílica ativa, e outra parte de água para aumentar a fluidez dentro da betoneira. Para finalizar, foram adicionados o agregado miúdo, o

restante de água e o aditivo superplastificante até atingir a trabalhabilidade desejada do concreto. Com a mistura de concreto pronta, foi possível realizar o ensaio de abatimento do concreto pelo tronco de cone, seguindo os procedimentos descritos na ABNT:NBR NM 67

(ABNT, 1996).

Neste ensaio, preenche-se o cone metálico com o concreto em três camadas com aproximadamente um terço da altura do cone, onde após preenchidas, aplicam-se 25 golpes com uma haste metálica lisa de 16 mm. Após o cone ser totalmente preenchido, ele é removido em um movimento vertical sem torções, e o abatimento é dado pela diferença entre a altura original do molde e a altura média do corpo de prova desmoldado. A moldagem dos corpos-de-prova foi realizada em duas camadas de concreto, onde cada camada recebeu 12 golpes para o adensamento como orientado pela ABNT:NBR 5738 (ABNT, 2003). Os corpos-de-prova moldados foram identificados, e em 24 horas após a moldagem, foram desformados e submersos em água para realizar o processo de cura durante 28 dias.

Decorridos os 28 dias necessários para a cura do concreto, os corpos de prova foram retificados e encaminhados para a realização do ensaio de compressão axial. Neste ensaio, os corpos de prova são posicionados em uma prensa,

onde uma carga vertical é aplicada progressivamente, até que ocorra a ruptura do concreto. Para a apresentação dos resultados a ABNT:NBR 5739 (ABNT, 2007) orienta a observação do tipo de ruptura do corpo-de-prova. Foram também realizados alguns ensaios de compressão diametral seguindo as orientações da ABNT:NBR NM 8 (ABNT, 1994) que orienta a utilização de corpos-de-prova cilíndricos, com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Os corpos-de-prova foram colocados na prensa entre duas pequenas tiras de madeira com dimensões de 15 mmx3,5mmx200 mm. A carga é aplicada e a ruptura ocorre por tração, dividindo o corpo-de-prova exatamente ao meio.

### 3. RESULTADOS

Com o objetivo de melhorar a interpretação dos resultados, procurou-se reduzir o número de variáveis no planejamento dos traços. O teor de sílica ativa adotado foi de 10% da massa total de cimento, sendo assim, o volume absoluto de aglomerante será formada com 91% de cimento e 9% de sílica ativa. O teor de água em 145 l/m<sup>3</sup> sendo este sugerido pelo próprio método de Aïtcin (2000) como estimativa inicial. O teor de agregado graúdo adotado foi 1.050 kg/m<sup>3</sup> seguindo a orientação do referencial teórico onde Aïtcin (2000) recomenda este valor tendo em vista a forma da

Tabela 1 - Traços de concreto utilizados no trabalho

Rocha Tipo de agregado	Zero	Basalto	1	Zero	Gnaisse	1	Zero	Granito	1
Relação A/Ag	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4
Água (kg/m <sup>3</sup> )	145,0	145,0	145,0	145,0	145,0	145,0	145,0	145,0	145,0
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	659,8	659,8	329,9	659,8	659,8	329,9	659,8	659,8	329,9
Silica ativa (kg/m <sup>3</sup> )	65,3	65,3	32,6	65,3	65,3	32,6	65,3	65,3	32,6
Agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	1050,0	1050,0	1050,0	966,2	965,5	965,5	895,9	900,8	900,8
Agregado Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	620,4	626,2	949,1	626,2	626,2	949,1	626,2	626,2	949,1
Aditivo superp. (kg/m <sup>3</sup> )	7,3	7,3	3,6	7,3	7,3	3,6	7,3	7,3	3,6
TOTAL (kg/m <sup>3</sup> )	2547,7	2553,4	2510,2	2469,6	2468,9	2425,7	2399,3	2404,2	2361,0

partícula. A massa de agregado miúdo é calculada automaticamente através da planilha utilizando o método do volume absoluto proposto no método do ACI 211 (*apud* (NEVILLE, 1997), pois ele utiliza o volume faltante para completar o metro cúbico de concreto para encontrar a massa de areia necessária.

Os resultados obtidos pelo ensaio de compressão axial estão apresentados na Tabela 2.

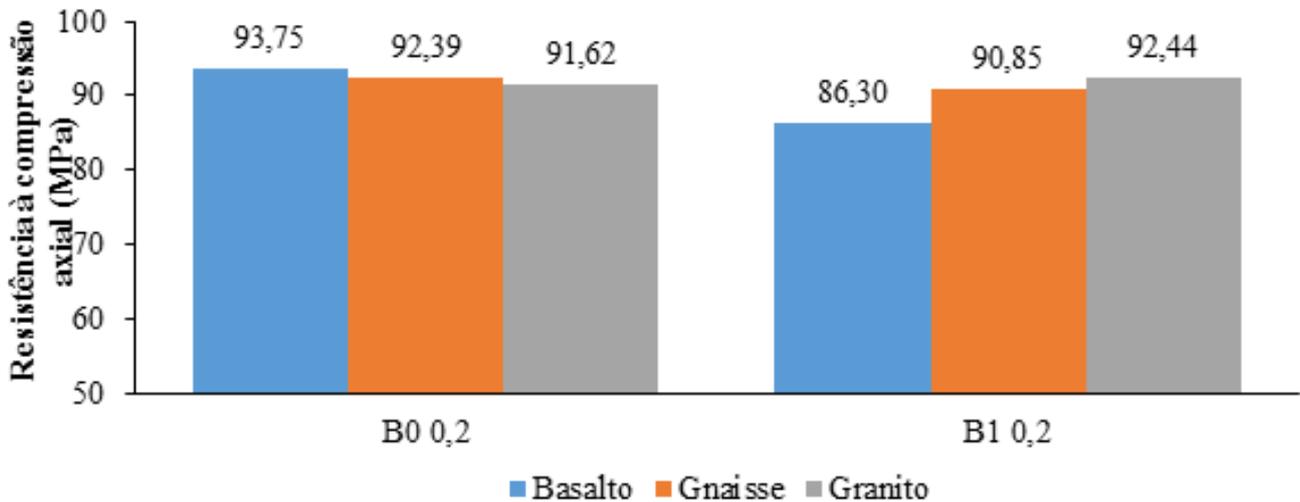
Dispondo os resultados obtidos no ensaio de compressão axial dos traços que possuíam a relação  $A/A_g = 0,2$  no Gráfico 1, é possível observar que o basalto e a gnaise obtiveram a média de resultados melhor nos traços que utilizavam

Tabela 2. Resultados do ensaio de compressão axial

Agregado	Traço	Carga de Ruptura (MN)	Resistência à Compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Basalto	B0 0,2	0,7010	89,255	93,75	5,91	6,3
Basalto	B0 0,2	0,7191	91,553			
Basalto	B0 0,2	0,7889	100,449			
Gnaise	B0 0,2	0,7379	93,952	92,39	8,95	9,7
Gnaise	B0 0,2	0,6500	82,758			
Gnaise	B0 0,2	0,7889	100,449			
Granito	B0 0,2	0,6249	79,559	91,62	11,11	12,1
Granito	B0 0,2	0,7371	93,853			
Granito	B0 0,2	0,7968	101,449			
Basalto	B1 0,2	0,7138	90,884	86,30	7,92	9,2
Basalto	B1 0,2	0,7137	90,871			
Basalto	B1 0,2	0,606	77,158			
Gnaise	B1 0,2	0,7076	90,094	90,85	0,70	0,8
Gnaise	B1 0,2	0,7185	91,482			
Gnaise	B1 0,2	0,7144	90,960			
Granito	B1 0,2	0,6624	84,339	92,44	7,02	7,6
Granito	B1 0,2	0,7556	96,206			
Granito	B1 0,2	0,76	96,766			
Basalto	B1 0,4	0,5342	68,016	71,161	2,78	3,9
Basalto	B1 0,4	0,5668	72,167			
Basalto	B1 0,4	0,5757	73,300			
Gnaise	B1 0,4	0,5581	71,059	69,408	3,94	5,7
Gnaise	B1 0,4	0,5675	72,256			
Gnaise	B1 0,4	0,5098	64,910			
Granito	B1 0,4	0,5661	72,078	72,689	0,87	1,2
Granito	B1 0,4	0,5787	73,682			
Granito	B1 0,4	0,5679	72,307			

apenas a brita zero (B0), enquanto o granito obteve a média mais alta nos traços que utilizavam a brita 1 (B1).

Gráfico 1 – Resistências obtidas em compressão axial nos traços de A/Ag = 0,2

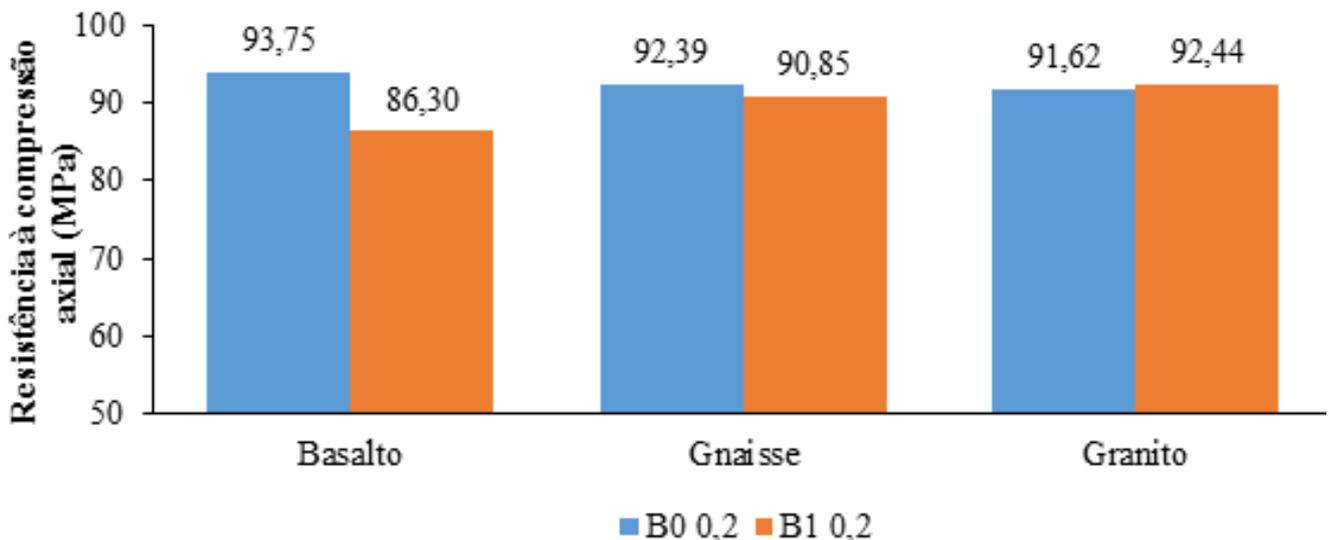


A justificativa mais viável para este acontecimento, é que como a central de britagem que extrai o basalto não utiliza britadores VSI, os agregados de maior dimensão acabam permanecendo com fissuras, ou pontos frágeis, além

Este resultado descrito ocorreu, porque um dos corpos de prova de granito com brita zero obteve uma resistência relativamente mais baixa que os demais, onde a hipótese mais provável é que tenha ocorrido um erro no adensamento das camadas do corpo de prova, ocasionando assim, esta resistência inferior que acabou comprometendo a média.

Em relação ao Gráfico 2, é importante observar que a menor média de resistência encontrada foi a dos traços que utilizam basalto com brita 1.

Gráfico 2 – Comparação entre diâmetros diferentes para mesma relação A/AG



de que se a central utilizasse o britador VSI, além de evitar que os agregados permaneçam com as fissuras internas, haveria um pequeno ganho no índice de forma.

Para os traços com a relação de A/Ag = 0,2, os resultados foram satisfatórios, pois mesmo com os agregados de dimensões diferentes, os resultados encontrados no ensaio de resistência à compressão axial para esta relação foram muito próximos. Ao realizar a comparação de resultados obtidos entre relações A/Ag diferentes, que neste caso seriam as relações 0,2 e 0,4 para traços elaborados com agregados de basalto,

gnaisse e granito, os resultados também atenderam ao esperado.

O Gráfico 3 compara os resultados encontrados nos ensaios, e a conclusão obtida foi de que, como o esperado, a relação A/Ag de 0,4 obteve uma resistência menor do que a relação A/Ag de 0,2, mas que mesmo assim, os resultados com a relação 0,4 são muito próximos.

Essa proximidade pode ser explicada, pois o ponto que determinou a resistência do concreto foi a pasta de cimento, que neste caso é o componente mais fraco da mistura.

Para os ensaios de resistência à compressão diametral, os resultados obtidos pela compressão diametral foram apresentados no Tabela 3:

Gráfico 3 – Comparação entre traços com relação A/Ag diferentes

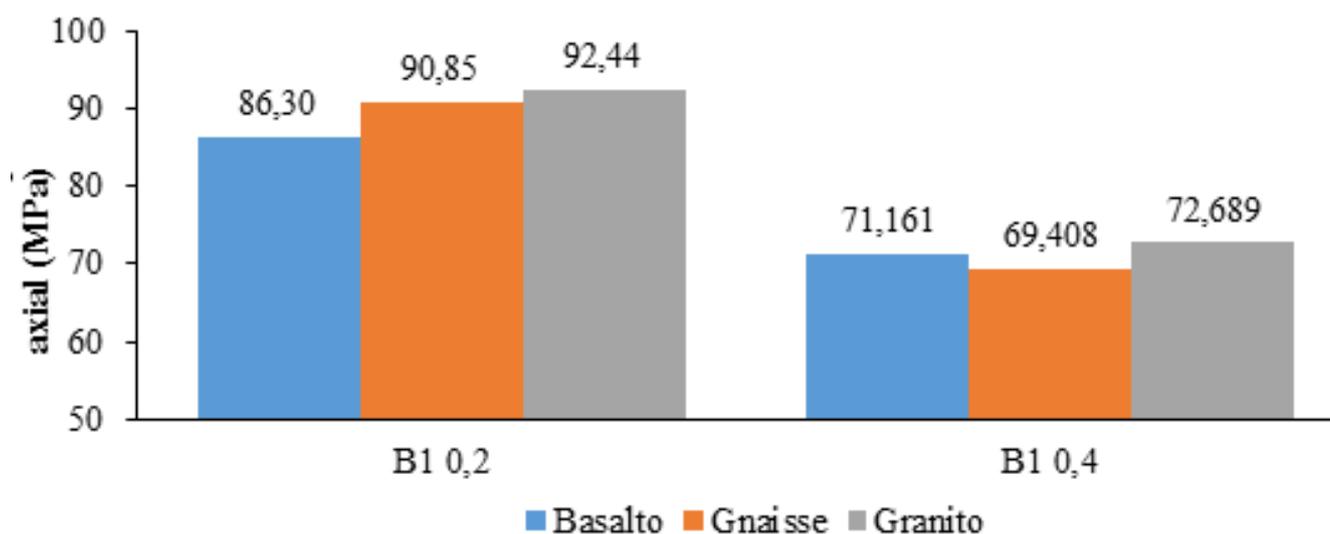


Tabela 3 - Resultados do ensaio de compressão diametral

Agregado	Traço	Carga de Ruptura (MN)	Resistência à Compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Basalto	B0 0,2	0,1938	9,689	10,326	0,70	6,8
Basalto	B0 0,2	0,2216	11,081			
Basalto	B0 0,2	0,2041	10,207			
Gnaisse	B0 0,2	0,1629	8,145	8,432	0,27	3,2
Gnaisse	B0 0,2	0,1737	8,686			
Gnaisse	B0 0,2	0,1693	8,465			
Granito	B0 0,2	0,1672	8,360	8,579	0,24	2,8
Granito	B0 0,2	0,1768	8,838			
Granito	B0 0,2	0,1708	8,541			

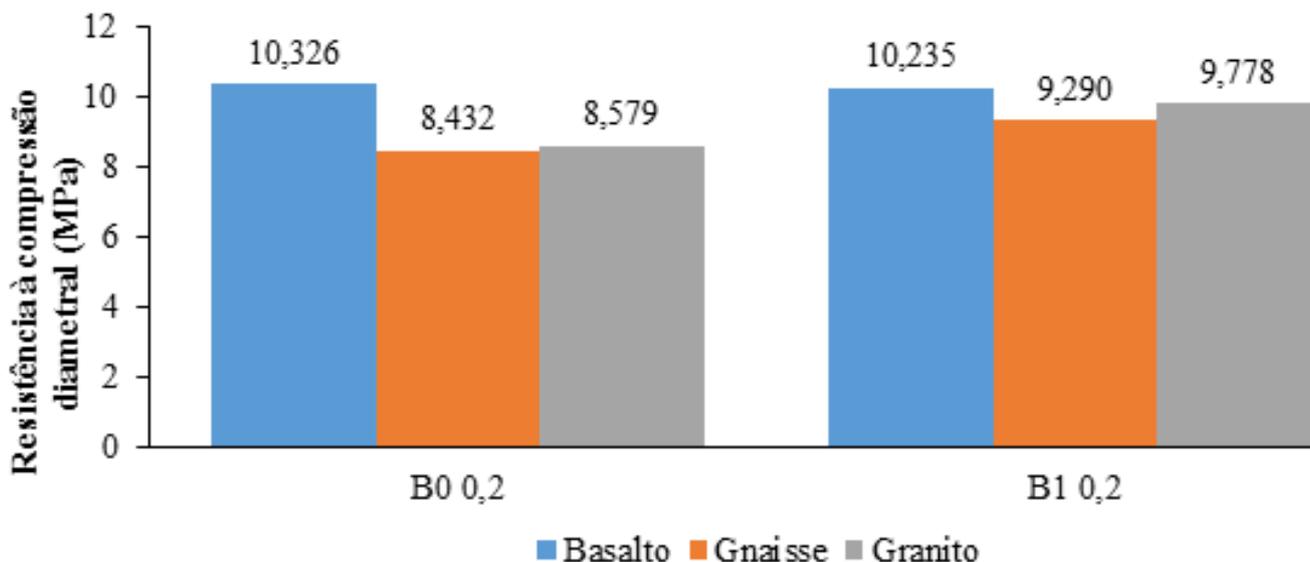
Basalto	B1 0,2	0,1558	7,790	10,235	2,12	20,7
Basalto	B1 0,2	0,2265	11,325			
Basalto	B1 0,2	0,2318	11,590			
Gnaiss	B1 0,2	0,2003	10,015	9,290	2,70	29,1
Gnaiss	B1 0,2	0,2311	11,555			
Gnaiss	B1 0,2	0,126	6,300			
Granito	B1 0,2	0,2081	10,405	9,778	1,71	17,5
Granito	B1 0,2	0,1568	7,840			
Granito	B1 0,2	0,2218	11,090			
Basalto	B1 0,4	0,1982	9,910	9,882	0,24	2,5
Basalto	B1 0,4	0,2022	10,110			
Basalto	B1 0,4	0,1925	9,625			
Gnaiss	B1 0,4	0,20472	10,236	10,444	0,74	7,1
Gnaiss	B1 0,4	0,1965	9,825			
Gnaiss	B1 0,4	0,2254	11,270			
Granito	B1 0,4	0,1376	6,880	6,590	0,25	3,8
Granito	B1 0,4	0,1289	6,445			
Granito	B1 0,4	0,1289	6,445			

No ensaio de compressão diametral, observou-se que a maior média de resistência foi a do traço de basalto que utilizava apenas brita zero como demonstrado no Gráfico 4.

É importante observar que nos traços de

brita 1, a variabilidade de resistência entre os diferentes agregados foi menor, e também nestes mesmos traços, a média das resistências registradas nos ensaios foi maior do que nos traços que utilizavam apenas a brita zero. Uma com-

Gráfico 4 - Resistências obtidas em compressão diametral nos traços de A/Ag = 0,2



plicação que ocorreu durante os ensaios que pode ter causado estas variações, é que como as cargas aplicadas nos corpos-de-prova são elevadas, a madeira utilizada como material de apoio para o ensaio acaba sendo esmagada, e na ruptura do corpo-de-prova pode causar grandes coeficientes de variação (ROHDEN, *et al.*, 2014)

Comparando os resultados entre o mesmo tipo de agregado, observou-se que o basalto obteve o maior resultado em ambos os traços, e com uma variabilidade muito pequena entre os resultados, como é possível observar no Gráfico 5.

O ensaio com o traço de relação A/Ag = 0,4, teve tanto a maior média de resistência encontrada como também a menor, como exposto no Gráfico 6. A maior média obtida pode ter ocorrido em função das variações causadas pelo esmagamento do material de apoio feito de madeira, como citado anteriormente, porém o resultado do granito se justifica pela quantidade de material pulverulento presente nos agregados, que pode ter causado um descolamento dos mesmos da pasta de cimento, levando ao colapso do corpo-de-prova.

Gráfico 5 - Comparação entre diâmetros diferentes para mesma relação A/AG

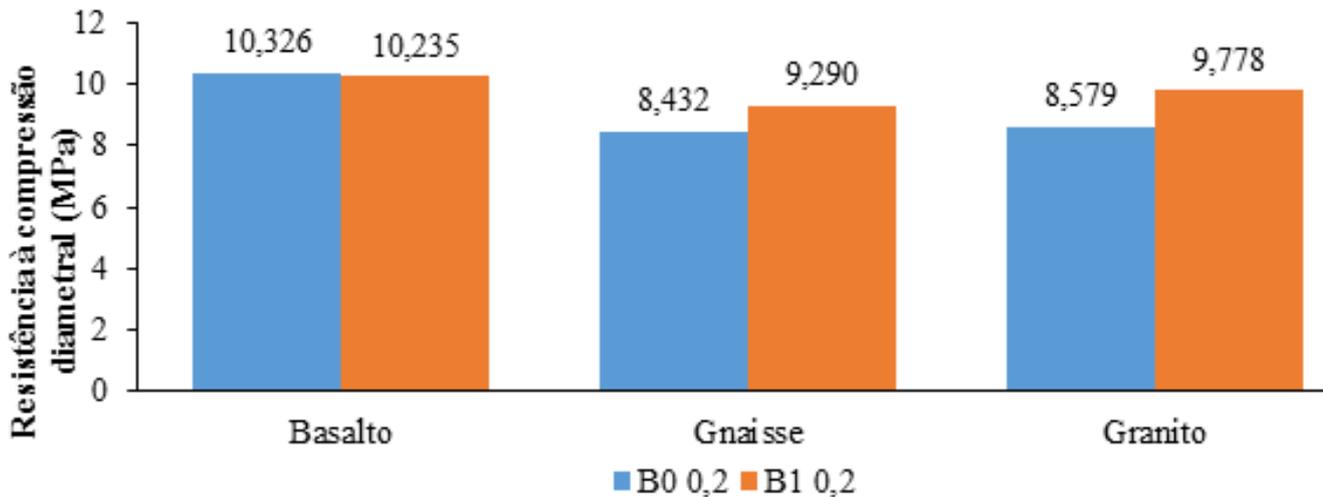
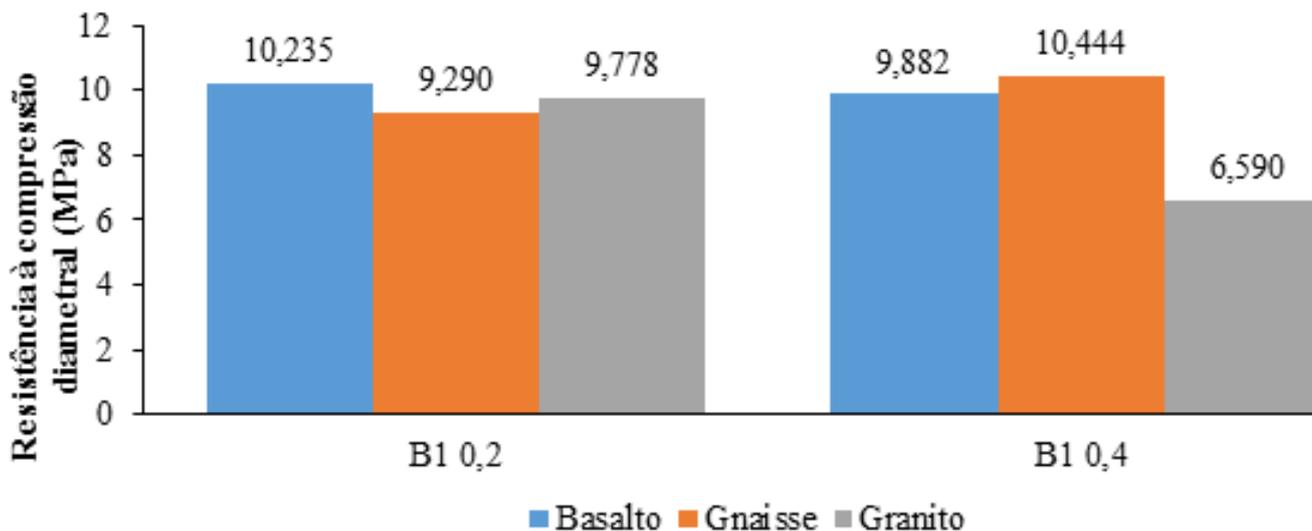


Gráfico 6 - Comparação entre traços com relação A/Ag diferentes



Os primeiros corpos de prova submetidos ao ensaio de módulo de elasticidade foram das rochas, onde os resultados estão presentes no Gráfico 7:

Como pode ser observado, basalto é a rocha com maior módulo de elasticidade, porém, apesar de o granito e a gnaïsse apresentarem módulos semelhantes, a gnaïsse é uma rocha estratificada, e o ensaio foi realizado considerando o pior caso, ou seja, o valor encontrado

Gráfico 7 - Módulo de elasticidade das rochas

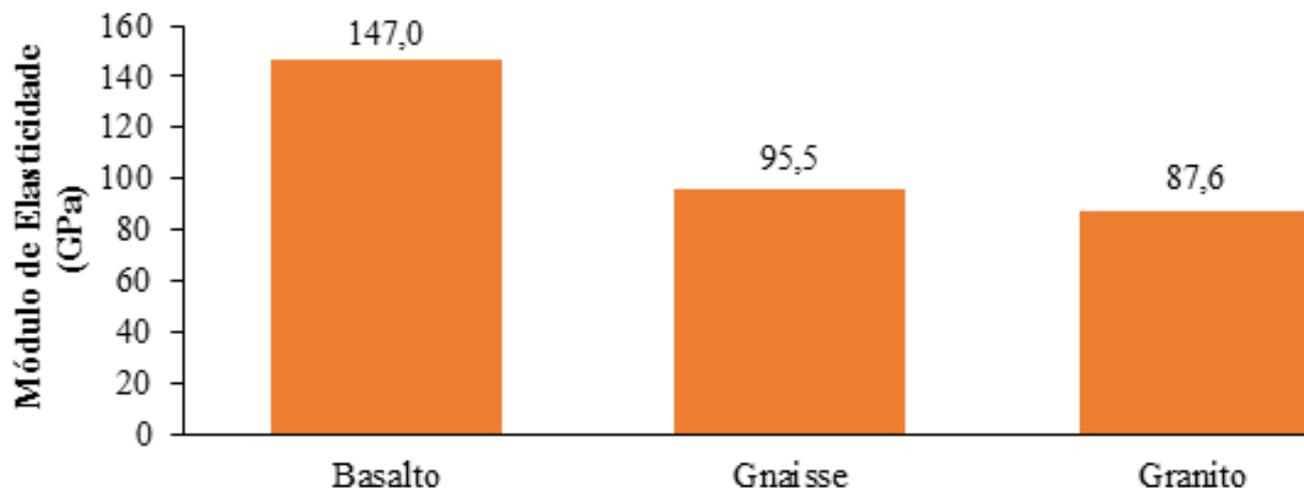


Tabela 4 - Resultados do módulo de elasticidade do concreto

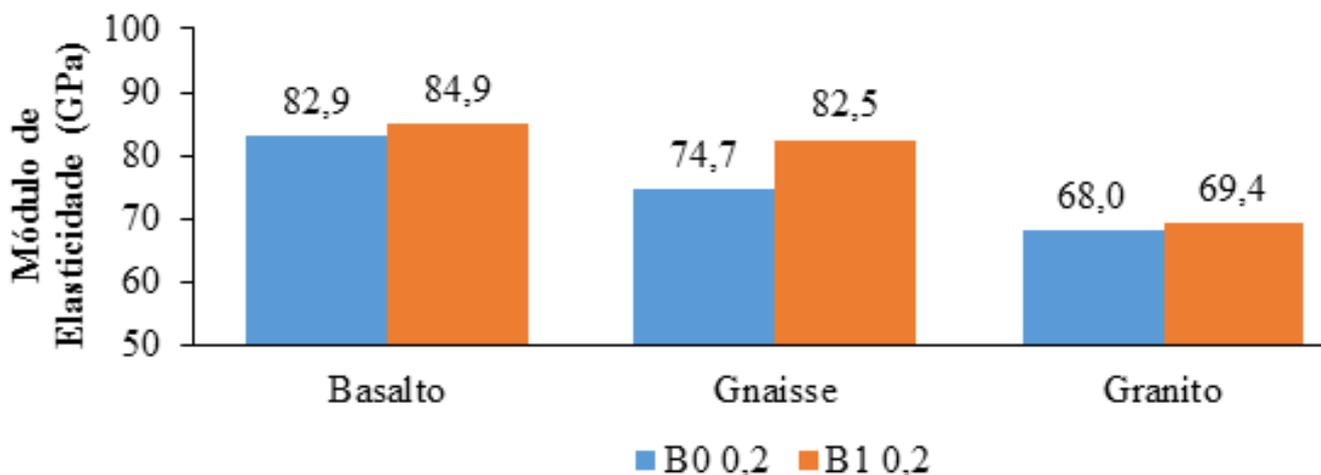
Agregado	Traço	$\rho$	Tempo ( $\mu$ s)	Distância (mm)	V (km/s)	$\nu$	Ed (GPa)	Média
Basalto	B0 0,2	2548	38,4	200,00	5,208	0,2	82,9	82,9
Basalto	B0 0,2	2548	38,4	200,00	5,208	0,2	82,9	
Gnaïsse	B0 0,2	2470	40,4	200,00	4,950	0,2	72,6	74,7
Gnaïsse	B0 0,2	2470	39,3	200,00	5,089	0,2	76,8	
Granito	B0 0,2	2399	41,1	200,00	4,866	0,2	68,2	68,0
Granito	B0 0,2	2399	41,2	200,00	4,854	0,2	67,8	
Basalto	B1 0,2	2553	0,0	200,00	5,263	0,2	84,9	84,9
Basalto	B1 0,2	2553	38,0	200,00	5,263	0,2	84,9	
Gnaïsse	B1 0,2	2469	0,0	200,00	5,291	0,2	82,9	82,5
Gnaïsse	B1 0,2	2469	0,0	200,00	5,263	0,2	82,1	
Granito	B1 0,2	2404	40,3	200,00	4,963	0,2	71,1	69,4
Granito	B1 0,2	2404	41,3	200,00	4,843	0,2	67,7	
Basalto	B1 0,4	2510	38,8	200,00	5,155	0,2	80,0	79,2
Basalto	B1 0,4	2510	39,2	200,00	5,102	0,2	78,4	
Gnaïsse	B1 0,4	2426	39,6	200,00	5,051	0,2	74,3	76,2
Gnaïsse	B1 0,4	2426	38,6	200,00	5,181	0,2	78,2	
Granito	B1 0,4	2361	42,7	200,00	4,684	0,2	62,2	61,6
Granito	B1 0,4	2361	43,1	200,00	4,640	0,2	61,0	

no ensaio representa o módulo de elasticidade do gnaíse, quando a mesma sofre um carregamento perpendicular às camadas. Logo em seguida, foi realizado o ensaio do módulo de elasticidade dos corpos de prova de concreto. Os resultados obtidos no ensaio estão no Tabela 4.

Outro ponto importante do Gráfico 8, é que os traços de brita zero obtiveram um maior módulo de elasticidade do concreto com todos os agregados.

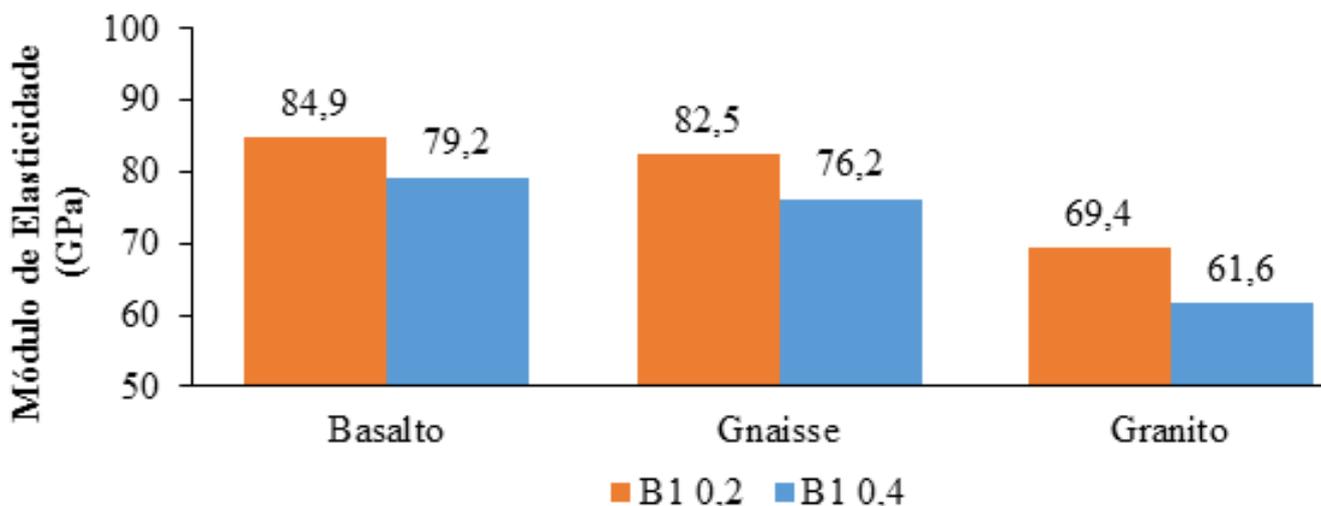
bém se percebeu que as diferenças de módulo de elasticidade dos traços são praticamente constantes, ou seja, entende-se que este ganho no módulo de elasticidade dos traços de 0,4 A/Ag para 0,2 A/Ag, está diretamente ligado com o ganho de resistência pela redução da relação de Água/Aglomerante.

Gráfico 8 – Módulo de elasticidade para a mesma relação A/Ag



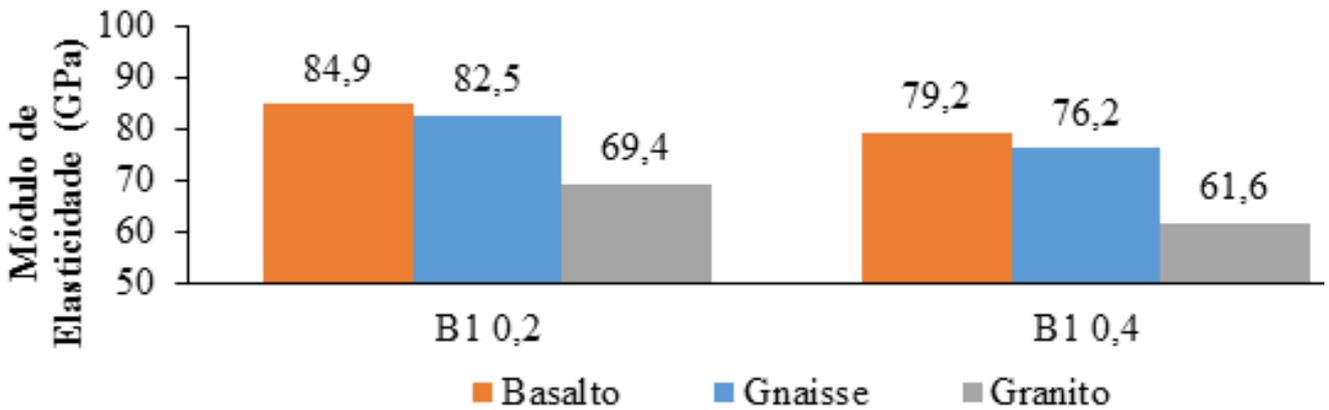
Ao comparar os módulos de elasticidade dos traços com diferentes relações A/Ag no Gráfico 9, observou-se que quanto menor a relação, maior o módulo de elasticidade. Tam-

Gráfico 9 - Módulo de elasticidade para diferentes relações de A/Ag



No Gráfico 10 visualiza-se que os corpos-de-prova que utilizam basalto possuem maior módulo de elasticidade, e em seguida os de gnaise.

Gráfico 10 - Comparação do módulo de elasticidade para diferentes relações A/Ag

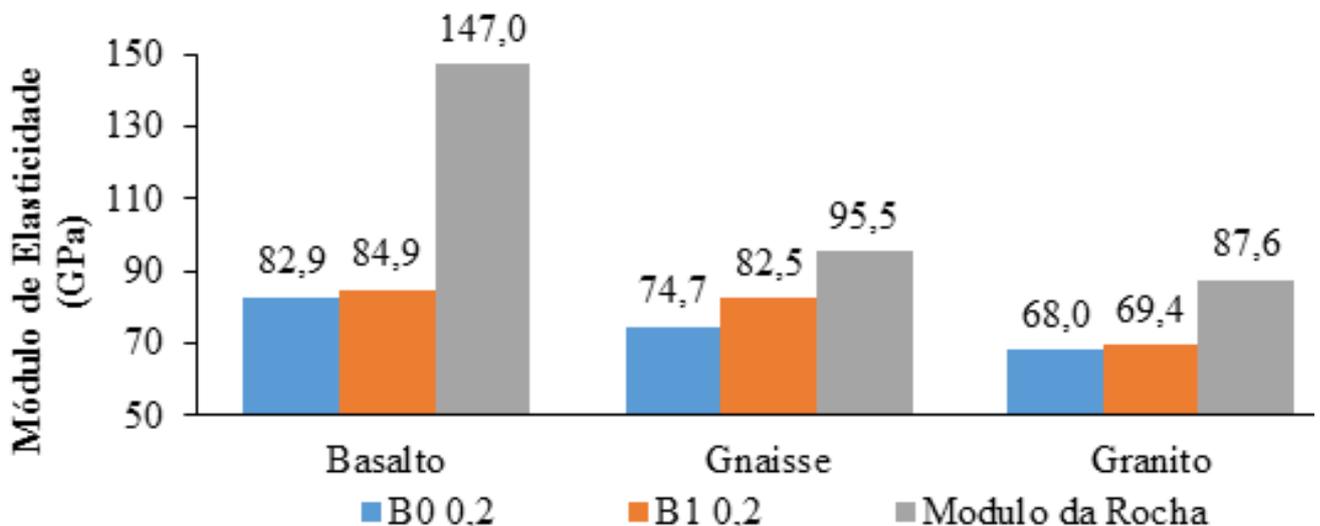


#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como foi possível perceber durante a pesquisa, o concreto de alto desempenho é uma tecnologia que está ganhando espaço no mercado, e esse espaço é tão significativo que até as normas brasileiras já sofreram modificações

Nos ensaios, o basalto apresentou o maior módulo de elasticidade, e com isso, ele contribui para os traços de concreto que utilizam este basalto, aumentando o módulo de elasticidade e otimizando algumas características destes traços, como por exemplo, a resistência à compressão, onde a Gráfico 11 apresenta o resumo dos resultados.

Gráfico 11 - Comparação do módulo de elasticidade do concreto e da rocha



para incorporar o CAD nos projetos estruturais. Das principais vantagens que o CAD oferece, estão a alta resistência e a durabilidade. Estes são os pontos chave que atraem a atenção, principalmente de construtoras, e que impulsionam o interesse no CAD, inclusive na região do Vale do Itajaí. A pesquisa foi realizada para provar a viabilidade da produção do CAD na região, e no estudo exploratório, ela identificou que as centrais de britagem utilizam Basalto encontrado em Pouso Redondo, Granito próximo

à Ibirama e Gnaise que é encontrada próxima à Blumenau.

Após realizar o estudo dos agregados, a gnaise e o granito apresentaram índice de forma melhor que o basalto por serem britados utilizando equipamento VSI, porém o basalto também obteve um resultado muito próximo no ensaio do índice de forma. Os outros resultados obtidos, como absorção, massa específica, massa unitária, etc. também foram muito positivos. Com o planejamento dos traços de concreto, foi possível garantir o mesmo teor de agregados graúdos em todos os diferentes traços, para melhor interpretar os resultados e facilitar a comparação da influência da rocha no concreto. O agregado que mais se destacou entre os estudados foi o basalto, por sua elevada resistência e módulo de elasticidade, isso permitiria continuar explorando os traços para atingir maiores resistências de CAD.

A retificação dos corpos de prova teve grande importância nos ensaios, pois como as rupturas foram em forma de cones, o risco de o resultado ter divergência com a realidade é muito baixo, então os dados coletados para as resistências aos 28 dias são confiáveis. Os traços utilizados nesta pesquisa podem ser aproveitados para a produção do CAD no Vale do Itajaí, porém é importante lembrar que do laboratório para a central de dosagem existe uma pequena perda que gira em torno de 5% da resistência. Em geral, a pesquisa provou que é possível utilizar estes agregados encontrados na região do Vale do Itajaí para produzir o concreto de alto desempenho.

## 5. REFERÊNCIAS

- AÏTCIN, P. C., 2000. Concreto de alto desempenho. São Paulo: Pini.
- ALVES, L. S., SALLES, F. M. & MIZUMOTO, C., 2011. Análise do desempenho das adições minerais nas características do concreto. ANAIS DO 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003. NBR 5738 - Concreto - Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: s.n.
- \_\_\_\_\_, 2007. NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: s.n.
- \_\_\_\_\_, 2014. NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro: s.n.
- \_\_\_\_\_, 1988. NBR 6123 - Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro: s.n.
- \_\_\_\_\_, 1992. NBR 8953 - Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro: s.n.
- BACARJI, E., FILHO, R. D. T. & BATISTA, D. P., 2014. Desempenho de concretos com agregados britados. ANAIS DO 56º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.
- BERTOCINI, S. R. & SCHIMIDT, K. J., 2007. Concreto de alto desempenho. ANAIS DO 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.
- BIANCHINI, M., FILHO, J. M. & WENDLER, A. P., 2010. Análise da influência dos teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência em central dosadora de concreto. ANAIS DO 52º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.
- COSTA, R. M., COSTA, C. P. F. & REIS, R. J. P., 2007. Influência dos tipos de cimento e agregado graúdo na durabilidade de concretos de alto desempenho. ANAIS DO 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.
- DAFICO, D. D. A., 2012. Riscos da utilização generalizada de concretos de alta resistência na construção de edifícios. ANAIS DO 54º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.
- FRANCO, A. & REGATTIERI, C. E. X., 2007. Dosagem e Propriedades de um Concreto de Alto Desempenho produzido na região de Campinas – SP.

ANAIS DO 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.

MEDEIROS, J. & DIAS, M. D. C., 2013. Estudo do concreto alta resistência. ANAIS DO 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.

MEHTA, P. K., 1994. Concreto, estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini.

NEVILLE, A. M., 1997. Propriedades do concreto. 2ª ed. São Paulo: Pini.

ROHDEN, A. B., MADERS, G. C., POLESELLO, E. & MOLIN, D. C. C. D., 2014. Resistência à tração do concreto de alto desempenho – a nova norma NBR 6118/2014 e o ensaio de resistência à tração por compressão diametral criado em 1943. ANAIS DO 56º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.

SANTOS, A. M. D., CABRAL, L. M. C., MONTEIRO, E. B. & HELENE, P. R. D. L., 2013. Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico para diferentes dosagens de concreto. ANAIS DO 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.

VALIN JR, M. D. O. et al., 2013. Concreto de alto desempenho: Alternativa sustentável no uso dos recursos naturais. ANAIS DO 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.

VELOSO, R. D. A., CAFANGE, D. M. P. J., MOURA, H. D. S. & JR, E. M. S., 2012. A utilização de adições minerais no concreto. ANAIS DO 54º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO.