

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETOS PRODUZIDOS A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUO DE CAULIM GROSSO (RCG)

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.V-001>

Danylo de Andrade Lima (*), Marcelo Laédson Morato Ferreira, Edmilson Roque da Silva Júnior, Nayla Kelly Antunes de Oliveira, Marco Antônio Assis de Oliveira

* Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; danylo.andrade123@gmail.com

RESUMO

Um setor potencialmente poluidor é o da mineração, a exemplo o processo de beneficiamento de caulim onde cerca de 75% do material extraído transforma-se em resíduo. Um destino viável para o reaproveitamento do resíduo da mineração é a utilização na substituição do agregado convencional como matéria-prima na confecção de concretos sustentáveis. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento mecânico de um concreto alternativo a partir da utilização do resíduo de caulim grosso (RCG) como substituição parcial do agregado graúdo, verificando o atendimento das propriedades requeridas, a fim de obter um desempenho eficiente quando comparando a um concreto convencional. Os traços tiveram substituições em proporções de 15%, 30% e 50% para os resíduos e foram submetidos a períodos de cura de 7, 14 e 28 dias. Inicialmente foi realizada a caracterização física dos materiais: granulometria, massa unitária e específica, absorção e módulo de finura. após fez-se a moldagem dos corpos de prova, realizou-se os ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Os resultados apontam que os corpos de prova com substituição dos RCG obtiveram valores de resistência similares e até superiores em relação ao concreto convencional. Tem-se que o traço de 15% obteve os melhores valores de resistência, chegando a 27,28 MPa na compressão simples, ficando abaixo apenas do traço de referência após 28 dias de cura. Constata-se que há viabilidade do uso dos resíduos como substituição dos agregados naturais, visto que mais de 80% das composições testadas atendem aos padrões das normas.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos; Resíduos de Caulim; Concreto Sustentável.

ABSTRACT

A potentially polluting sector is mining, as in the kaolin beneficiation process where about 75% of the extracted material becomes waste. A viable destination for the reuse of mining waste is the replacement of conventional aggregates as raw material in the production of sustainable concrete. The objective of this work is to evaluate the mechanical behavior of an alternative concrete using fatty kaolin residue (FKR) as partial replacement of the coarse aggregate, verifying compliance with the required properties in order to obtain efficient performance when compared to conventional concrete. The mixes had substitutions in proportions of 15%, 30% and 50% for the waste and were subjected to curing periods of 7, 14 and 28 days. Initially, the physical characterization of the materials was performed: particle size distribution, bulk and specific density, absorption and fineness modulus. After molding the specimens, mechanical tests were performed for simple compression and splitting tensile strength. The results indicate that specimens with FKR replacement obtained similar or even higher strength values compared to conventional concrete. The 15% mix achieved the best strength values, reaching 27.28 MPa in simple compression, below only the reference mix after 28 days of curing. It is concluded that the use of waste as replacement for natural aggregates is viable, as more than 80% of the tested compositions meet the standards requirements.

KEY WORDS: Solid Waste; Kaolin Waste; Sustainable Concrete.

ATENÇÃO: A área que está sombreada (em amarelo) é a que poderá ser livremente editada pelo autor do trabalho. Isto é feito para proteger o cabeçalho e o rodapé de eventuais deformações. Posteriormente, a Comissão Organizadora retirará este sombreado e transformará o texto em arquivo PDF.

INTRODUÇÃO

A atividade de mineração produz vários resíduos, um deles advém do beneficiamento do caulim, o mesmo é dividido em resíduo de caulim fino (RCF) e resíduo de caulim grosso (RCG), que é um minério composto por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, com uma maior quantidade de caulinita e haloisita, além de conter outras substâncias sob forma de impurezas. O caulim é uma das matérias-primas mais importantes de enchimento filler no preparo de papel, ele e



parte da composição de pastas cerâmicas, e também é usado em menor escala para a produção de materiais refratários, plásticos, borrachas, tintas, entre outros (ANJOS et al., 2011).

No beneficiamento do caulim, são produzidos vários tipos de rejeitos, cerca 80 a 90% do material extraído da natureza é descartado em forma de montanhas de resíduo no meio ambiente aumentando assim o impacto gerado (MENEZES et al. 2009). Assim, durante esses processos são gerados dois principais tipos de resíduos, um originário da parte denominada de separação da parte grossa, onde o quartzo é separado do minério, gerando 70% do resíduo total, e a outra etapa tem por finalidade separar o caulim da parte fina, se tornando um resíduo com granulometria menor. Em função desse método de beneficiamento do caulim, seu resíduo se torna um produto alternativo que tem grande potencial na utilização em argamassas por suas propriedades físicas (DIAS, 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho tem por finalidade verificar a viabilidade da produção de concreto fabricados a partir da substituição parcial dos agregados graúdos por resíduo

de caulim de modo a obter um concreto mais sustentável e que atenda as especificações das normas brasileiras.

OBJETIVOS

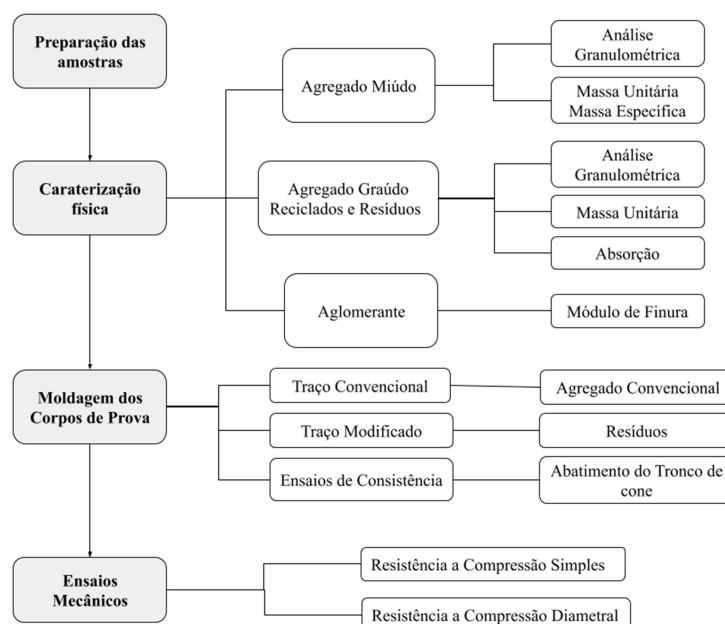
Avaliar o desempenho mecânico do concreto com substituição parcial dos agregados graúdos por resíduo caulim grosso, verificando a viabilidade de produção e o comportamento mecânico referente as diferentes composições de agregados para fins estruturais.

METODOLOGIA

Materiais e métodos

Para o referido estudo, foram utilizados os seguintes materiais: areia lavada, do tipo fina/média, normalmente utilizada na região do município de Pombal (agregado miúdo); diâmetro máximo 19 mm, brita 0, diâmetro máximo 9,5 mm frequentemente utilizada nas construções da região do município de Pombal – PB (agregado graúdo); resíduo de caulim grosso proveniente da mineração da região do Junco do Seridó – PB (agregado graúdo – RCG); água proveniente da rede de abastecimento do município; cimento Portland CP II Z 32 (aglomerante). A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Campina Grande - Campus Pombal, no Laboratório de Resíduos Sólidos, onde também se realizaram os ensaios.

Em seguida, foi definida a dosagem dos traços dos concretos em estudo e do concreto convencional. Sucessivamente, foi efetuada a moldagem dos corpos de prova para realização dos ensaios de compressão simples e tração. Os corpos de prova foram moldados segundo a norma NBR 5738 (2016). Na Figura 1 é apresentado o fluxograma das etapas realizadas no presente estudo.



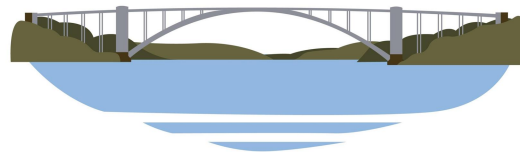


Figura 1: Fluxograma das atividades. Fonte: Autores, 2020.

Caracterização física dos materiais

Após a coleta, o material foi exposto ao sol a fim de eliminar qualquer excesso de umidade do agregado graúdo. Esse material bruto foi peneirado na malha 4,75mm com a finalidade retirar as partículas menores que não se enquadrando como brita 0.

Inicialmente foram recolhidas amostras dos agregados, para o ensaio de granulometria, a fim de classificar a distribuição dos grãos segundo a norma NBR 248(ABNT, 2003), em seguida, realizou-se os ensaios de massa específica (NBR NM 52, ABNT, 2009) e massa unitária pela norma NBR 45 (ABNT, 2006), bem como a absorção dos resíduos, os ensaios foram realizados de acordo com as normas brasileiras. Para o aglomerante foi realizado o ensaio de módulo de finura de acordo com a norma NBR 11579 (ABNT, 2013). Em seguida, após coletar os materiais, realizou-se a análise granulométrica dos resíduos de RCG, assim como do agregado natural, com a finalidade de identificar o tamanho dos grãos que os compõem. A partir disso a caracterização física foi realizada com o intuito de determinar as propriedades dos materiais que compõem o traço, por meio dos ensaios de peneiramento, massas unitárias e específicas. Para o aglomerante determinou-se a finura.

Análise granulométrica

Pesou-se 500g do material em seguida, foi peneirado com auxílio de um agitador mecânico. A série de peneiras utilizadas foi a normal de aberturas 37,5 mm; 19 mm; 4,75 mm; 2,40 mm; 1,20 mm; 0,60 mm; 0,30 mm e 0,15 mm. Pesou-se a massa de material retido em cada peneira. Repetiu este procedimento duas vezes para fazer a média e obter maior confiabilidade dos dados. O ensaio foi realizado com a areia, brita 0 e RCG.

Massa unitária, massa específica e finura

A determinação da massa unitária dos materiais foi realizada segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Utilizando-se um recipiente com volume conhecido, pesou-se três amostras dos materiais e fez-se a média dos valores encontradas, subtraindo-se a massa do recipiente. A massa unitária foi obtida pela divisão da média das massas pelo volume do recipiente.

Diante disso, a massa específica da areia e dos resíduos foi obtida segundo a ABNT NBR NM 52/09 e a finura do cimento foi determinada de acordo com a ABNT NBR 11579 (2013).

Desse modo, o índice de finura do cimento Portland, descrita pela NBR 11579 (ABNT, 2013) foi determinado utilizando a peneira 75 μm (n° 200), de modo que é a porcentagem em massa de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 75 μm (fração retida na peneira n°200).

O índice de finura foi determinado pela seguinte equação:

$$F(\%) = \frac{R}{M} * 100 \quad \text{equação (1)}$$

Onde R é o resíduo do cimento na peneira 75 μm , em grama (g), e M é a massa inicial do cimento, em g.

Absorção de água

O ensaio de absorção de água do agregado graúdo foi realizado por imersão onde os agregados ficaram por 24 horas submersos, após essa etapa foram pesados, em seguida levou-se para a estufa (105 a 110 °C) permanecendo por 24 horas, sendo pesados novamente, de acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Após esse tempo, a amostra foi retirada da água, envolvida com um pano absorvente até eliminar a água visível na superfície e imediatamente pesada massa saturada (ms). Posteriormente o agregado foi seco em estufa para retirada da água e realizada a pesagem para obtenção da massa seca (m). Assim, absorção de água do agregado graúdo foi calculada segundo a equação 2.

$$A(\%) = \frac{m_s}{m} * 100 \quad \text{equação (2)}$$

Definição dos traços

Os traços foram obtidos a partir dos dados de agregados seguindo o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com o intuito de atingir a resistência mínima de 20 MPa, após 28 dias de cura, que é a resistência mínima exigida pela norma NBR 6118 para fins estruturais.

Os traços com os agregados foram produzidos a partir da substituição de parte do agregado graúdo, baseando-se nas bibliografias que fixam as substituições parciais dos resíduos incorporados ao concreto (GOMES, 2015).



Além das três composições para análise comparativa, foram moldados corpos de prova de concreto convencional de mesmo traço a fim de servir como referência. A partir do traço convencional foram calculadas as composições com substituição parcial do agregado graúdo. Foram baseadas no referencial bibliográfico em três proporções: 15%, 30% e 50%. Após iniciou-se o processo de moldagem dos corpos de prova.

Moldagens dos corpos de prova

Depois de realizar a devida caracterização dos agregados e do aglomerante iniciou-se o processo de moldagens dos corpos de prova (CPs). Foram utilizados moldes metálicos de formato cilíndricos de diâmetro 100 mm por 200 mm de altura.

Para mistura do traço foi utilizado uma betoneira Moto Mil de 120 litros. O concreto foi misturado na seguinte sequência: iniciou-se colocando o agregado graúdo, seguido pelo agregado miúdo e metade da água, ficou misturando por 1 minuto, depois adicionou o cimento e o restante da água, misturando a o concreto por mais 3 minutos, assim, logo após do desligamento retirou-se o concreto fresco para realizar o *Slump test*.

Foi realizado o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*), para verificar a trabalhabilidade requerida para a qual o concreto foi dimensionado.

O processo foi realizado em três camadas, sendo cada uma adensada com 25 golpes com a haste padrão. Esse método foi utilizado para todas as composições de traço e para o convencional conforme a norma NBR 5738 (2003). Após 24h da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados.

A cura dos corpos de prova foi feita por cura submersa no tanque a céu aberto. Após a cura, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral os corpos de prova foram rompidos, sendo submetidos as idades de 7, 14 e 28 dias. Após a cura dos corpos de prova, foram realizados os ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e diametral.

Resistência à compressão simples

Para a verificação da resistência à compressão simples, os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica manual SHIMADZU AG-IS com célula de 100 KN, de acordo com a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018). A Figura 16 apresenta a prensa utilizada na execução do ensaio, para determinar a resistência de cada corpo de prova. Para realizar os cálculos de resistência se fez necessário aferir as medidas de altura e diâmetro médio, bem como o valor da carga máxima suportada, com essas informações foi possível calcular a resistência usando a relação entre a força aplicada e a área da seção do corpo de prova, assim a resistência do concreto em MPa equação (3).

$$f_c = \frac{4F}{\pi x D^2} \quad \text{equação (3)}$$

Onde f_c a resistência à compressão, expressa em mega pascal (MPa); F é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N); D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

Resistência à compressão diametral

Para determinação da resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos, os mesmos foram rompidos na prensa hidráulica manual citada anteriormente de acordo com a norma NBR 7222 (ABNT, 2011), sendo necessário a utilização de uma chapa metálica que tem por finalidade distribuir a força uniformemente em toda a superfície lateral do corpo de prova

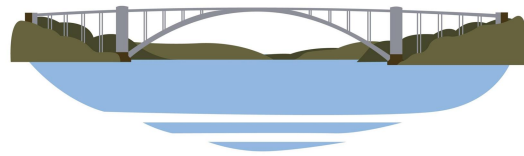
A carga foi aplicada continuamente e sem choques, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa / s até a ruptura do corpo de prova. O cálculo da resistência à tração por compressão diametral e expresso pela Equação 4.

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi dl} \quad \text{equação (4)}$$

Onde $f_{ct,sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos obtidos, em mega pascal (MPa); F é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N); d é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm); l é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

RESULTADOS

Agregado miúdo



A partir do Gráfico 1 mostrado abaixo podemos afirmar que a curva granulométrica da areia está dentro os padrões utilizáveis, ficando bem próximas das zonas ótimas. Identificou-se os diâmetros mais representativos, na qual o diâmetro efetivo representado pelo $D_{10} = 0,22$ mm. Inseridos na faixa granulométrica, corresponde a areia fina (0,15 mm a 0,6 mm), partindo do valor de coeficiente de uniformidade - $CU < 5$ é capaz de classificar a areia fina como uniforme o que benéfico para as propriedades do concreto (BAUER, 2008).

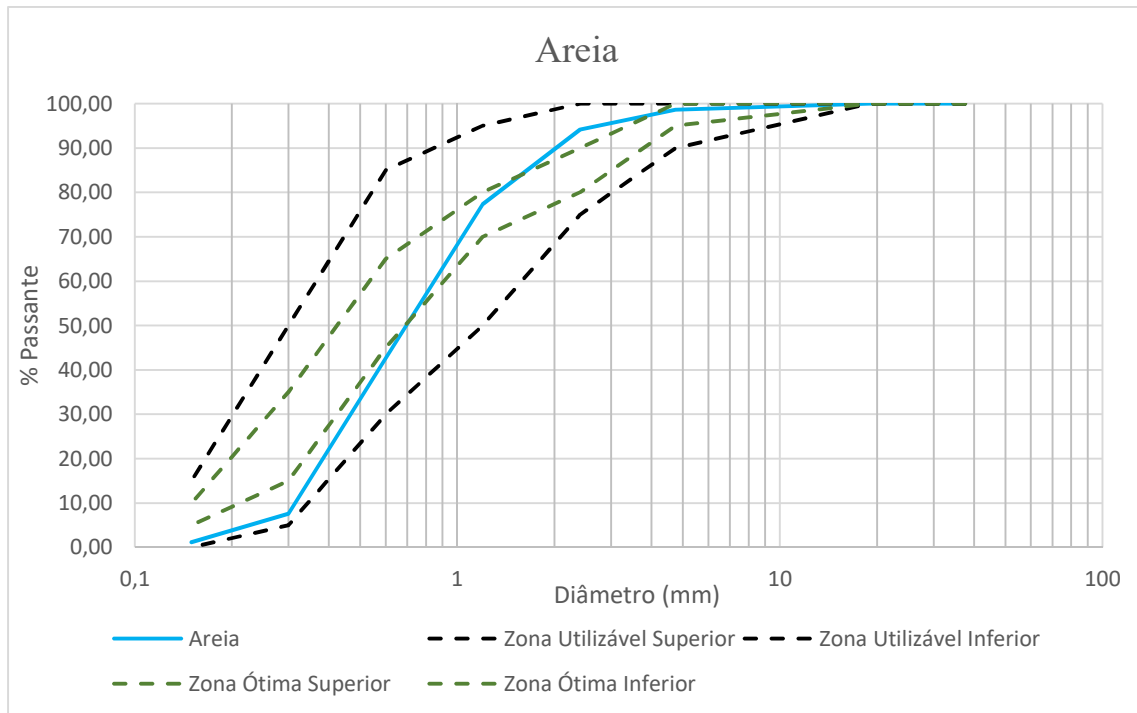


Gráfico 1: Curva granulométrica da areia. Fonte: Autores, 2020.

A massa unitária encontrada foi de $1,41 \text{ g/cm}^3$. Implica dizer que os grãos deixando menos espaços vazios, proporcionando um concreto mais denso.

Agregado graúdo

No Gráfico 2 podemos ver a distribuição granulométrica do agregado graúdo do resíduo de caulim e da brita 0, assim podemos caracterizar a maior parte do mesmo como brita 0 com diâmetros das especificações utilizáveis na norma.

Na curva de caracterização do agregado graúdo pode-se constatar que o resíduo tem 92% de sua granulometria classificada como material graúdo segundo a classificação da norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

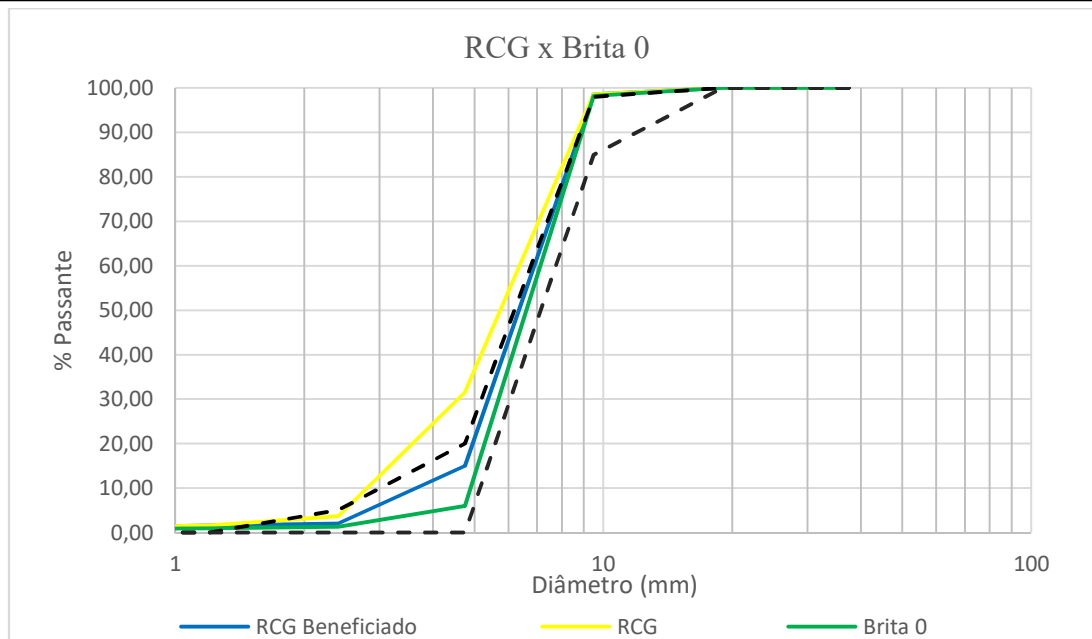


Gráfico 2: Granulometria do RCG x Brita 0. Fonte: Autores, 2020.

O resíduo de caulim grosso apresenta uma variada distribuição granulométrica ficando bem próxima dos valores limites delimitados pela norma. Esse material bruto foi peneirado na malha 4,75 mm com a finalidade retirar as partículas menores que não se enquadram como brita 0. O agregado de RCG possui uma distribuição granulométrica mais distribuída sendo os diâmetros representativos: D10 = 2,8 mm; D30 = 4,5 mm; D50 = 5,8 mm; D60 = 7,3 mm. É possível também identificar os diâmetros representativos do resíduo in natura: D10 = 5 mm; D30 = 5,7 mm; D50 = 6,5 mm; D60 = 7 mm.

As curvas estão dentro dos limites estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2009), assim pode-se ressaltar que resíduo apresenta uma maior diversidade de diâmetros, quando comparada com a brita 0, o que acarreta em um melhor preenchimento dos vazios deixados pela brita, tornando-se um concreto mais denso. Logo, pode-se afirmar que a brita 0 está dentro dos parâmetros estipulados pela norma., a maior quantidade retida foi na malha de 9,5 mm representando 98% da amostra, assim podemos observar que na faixa granulométrica do agregado tem-se um material graúdo, como não foi reído na malha 19 mm podemos caracterizar o material como brita 0 de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

Massa unitária

As massas unitárias dos agregados naturais e dos resíduos estão exibidas na Tabela 1 mostrada abaixo. Os valores de massa unitária dos agregados são necessários para determinar as quantidades dos materiais na dosagem do concreto, assim como para transformar um traço em massa para volume e vice versa.

Agregado	Massa Unitária (g/cm ³)
Brita 0	1,38
RCG	1,34

Tabela 1: Dados correspondentes ao ensaio de massa unitária dos agregados graúdos. Fonte: Autores, 2020.

Absorção

Os ensaios de absorção de água, mostrados na Tabela 2 e pode-se observar que o resíduo de caulim possui alto índice de absorção 4,5 vezes maior quando comparado com a brita 0. De acordo com o trabalho de Zhang (2018) ao realizar o ensaio de absorção dos resíduos da construção, submerso por 24h de acordo com norma chinesa (T 0330–2005) obteve valores médios de absorção de 9.18 % corroborando com os dados encontrados na presente pesquisa.



Agregado	Absorção (%)
Brita 0	1,83
RCG	8,24

Tabela 2: Absorção de água dos agregados graúdos. Fonte: Autores, 2020.

Determinação dos traços e dosagem

Como o RCG foi classificado como brita 0, se fez necessário desenvolver um traço convencional com a utilização de brita 0 e para melhor caracterizar o desempenho do agregado. O traço foi determinado partir do método (ABCP), Tendo como base os dados dos ensaios de caracterização e uma resistência de 30 MPa baseando-se nos trabalhos de Almeida (2017) e Barbosa et al (2016). Assim, a partir da caracterização dos agregados tem-se, relação água cimento (a/c) de 0,49 para o traço padrão como mostrado na Tabela 15, onde o traço de referência de 1: 1,8: 2,85: 0,51 (cimento: areia: brita: a/c). A Tabela 3 apresenta os dados dos respectivos traços.

Composição	Traço
Caulim 15%	1:1,8:2,85: 0,50
Caulim 30%	1:1,8:2,85: 0,51
Caulim 50%	1:1,8:2,85: 0,52
Convencional	1:1,8:2,85: 0,49

Tabela 3: Dados correspondentes aos traços. Fonte: Autores, 2020.

Conforme visto na Tabela 3, concretos contendo até 15% de RCG têm quase os mesmos resultados de absorção de água do agregado convencional. Resultados semelhantes para absorção e porosidade foram encontrados por Lotfy *et al.* 2015.

Ensaio de consistência

O ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*). Determina a consistência e a trabalhabilidade do concreto, que está diretamente ligada à sua capacidade de ser moldado. Na Tabela 4 observa-se que a substituição do RCG tivemos valores bem semelhantes.

Traço	<i>Slump Test</i> (cm)
Conv. Brita 0	4
RCG 15%	4
RCG 30%	4,2
RCG 50%	4,5

Tabela 4: Dados correspondentes ao ensaio de abatimento. Fonte: Autor, 2020.

O mesmo procedimento do ensaio de *Slump Test* foi realizado para o traço com substituição de caulim grosso assim tem-se os dados da Tabela 4 mostra que o caulim não tem muita influência sobre o abatimento do concreto, tem-se uma pequena de 0,5 cm para o traço de 50% em relação de 15% e ao convencional.

Resistência à compressão axial simples

Podemos observa-se que Gráfico 3 apresenta os resultados dos ensaios de compressão axial simples em função das três idades de curas estudadas.

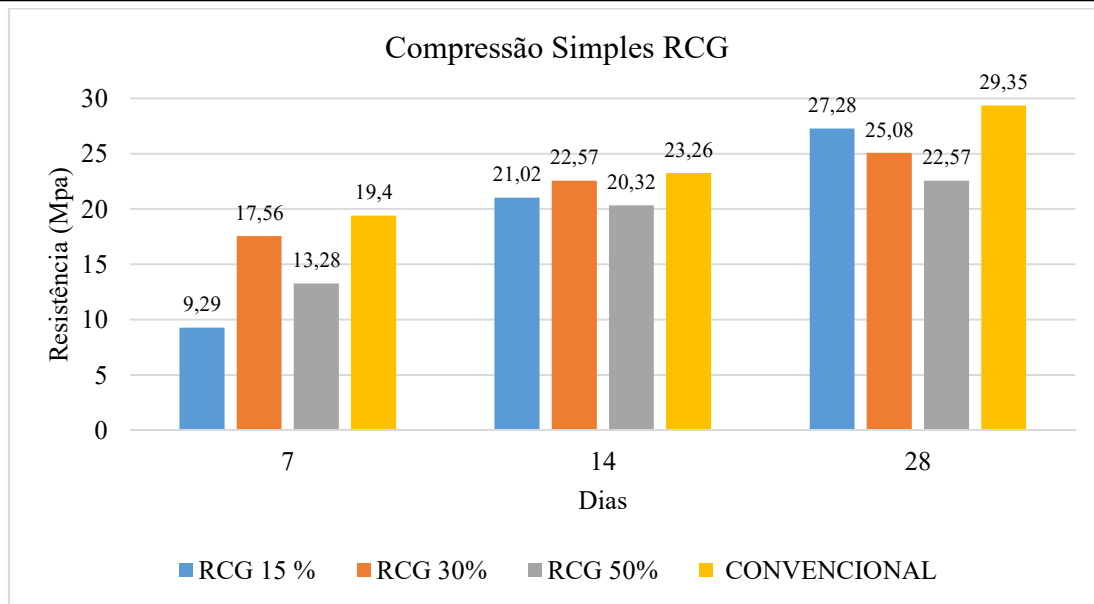


Gráfico 3: Resistência à compressão simples RCG. Fonte: Autores, 2020.

Depois de 7 dias de cura o traço com 30% de caulim teve melhor desempenho em relação aos demais traços ficando mais próximo do concreto convencional. A menor resistência aos 7 dias se deu na composição de 15% com apenas 9,29MPa.

Ao fim dos 14 dias de cura podemos observar um acréscimo nas resistências nas composições de 15% e 50%, aos 28 dias tem-se uma mudança de comportamento com relação ao traço 15% de RCG pois o mesmo atinge 27,28MPa o melhor valor de resistência e se mostrou com valor mais próximo do traço de referência.

De acordo com Lotfy (2015) as variações da resistência à compressão dos concretos incorporados aos resíduos de caulim apresentaram valores de 37,9 a 47,9 MPa para composições utilizando 20% e 25% de substituição, constatando a eficiência do agregado para comportamento mecânico do concreto.

Após os 28 dias de cura o concreto de 15% alcançou o maior valor de resistência as composições, podemos observar que ele apresentar menor absorção, e que quanto menor a quantidade de água na composição tem-se um reflexo na melhoria das características mecânicas.

Resistência à compressão diametral

O Gráfico 4 mostra os valores de resistência à compressão diametral dos traços produzidos com caulim grosso em comparação com o traço de referência, para as idades de 7, 14 e 28 dias.

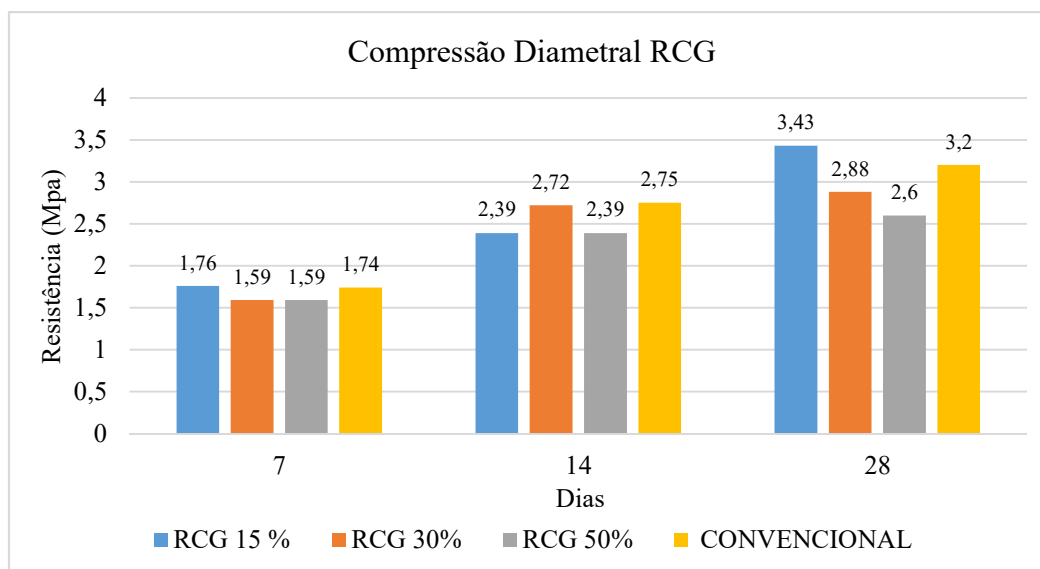




Gráfico 4: Resistência à Compressão diametral Caulim. Fonte: Autores, 2020.

Ao analisar os traços de 30% e 50%, aos 7 dias de cura tiveram resistências semelhantes, no entanto ficaram abaixo do concreto de referência. Para a mesma idade de cura, a composição de 15% obteve valor superior ao concreto produzido com agregado natural ao final do período de cura.

Aos 14 dias obteve-se o maior aumento de resistência do concreto com 30% de resíduo, se aproximando do concreto convencional. Ao final dos 28 dias o traço com 15% de caulim apresentou a melhor resistência com 3,43 MPa, superando a resistência do concreto base e o valor mínimo de tração por compressão diametral (2,6 MPa), NBR 6118 (ABNT, 2014) demonstrando possuir características que viabilizam sua aplicação.

CONCLUSÃO

A substituição da brita 0 pelo resíduo de caulim é benéfica, tornando um concreto compacto. Analisando as resistências observa-se que quanto maior a porcentagem do resíduo menor a resistência à compressão axial, sendo assim, o concreto de 15% atinge maior resistência que os demais, no entanto, todas as composições ultrapassaram a resistência a compressão axial mínima de 20 MPa. Já em relação a tração por compressão diametral, o concreto com 15% apresentou a melhor resistência (3,43 MPa) ultrapassando a resistência do concreto base. Para as porcentagens de 30 e 50% de resíduo, a resistência à tração diminuiu.

Desta forma conclui-se a partir dos resultados que a utilização de resíduo de caulim é viável, economicamente e ambientalmente, fazendo uso na substituição parcial em concreto para fins estruturais, visto que os resíduos da mineração se encontram dispostos de maneira abundante, caracterizado como sem valor comercial, além da redução na utilização de mais recursos naturais, diminuindo assim o custo final do produto, o concreto com resíduo mostrou-se sustentável pois retira os resíduos de caulim, dando uma destinação para o mesmo, tornando-o aplicável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.
2. _____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.
3. _____. **NBR 11579: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**, Rio de Janeiro, 2013.
4. _____. **NBR 15116 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**, 2004.
5. _____. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
6. _____. **NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.
7. BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos, 5º Ed, v. 1, 2003. 435p. 2008.
8. BEHERA, M., BHATTACHARYYA, S.K., MINOCHA, A.K., DEOLIYA, R., MAITI, S. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. **Construction and Building Materials**. v.68, p. 501-516. 2014.
9. KARPINSK, L.A; PANDOLFO, A; REINERER, R.; GUIMARÃES, J.C.B; PANDOLFO, L.; KUREK, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre, RS: Edipucrs, 2009.
10. MAZUR, Rogério Lago. **Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de carbono/PEKK com aplicações aeronáuticas**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2010.