# Incorporação de Resíduo de Mineração em Concreto Auto Adensável




Jeferson Marcelo Machado e Silva[1]; Patricia Barbosa dos Santos[1]
Cristofer Bernardi Scremim[1]
*[1]FACULDADE EDUCACIONAL DE ARAUCÁRIA*

## RESUMO

*A preocupação com as questões ambientais tem levado a sociedade a uma busca constante de alternativas de crescimento sustentável. Dentro das tecnologias do concreto surge em 1988 no Japão o concreto auto adensável (CAA) capaz de se moldar sob a ação do seu próprio peso. Se diferencia pelo emprego de grandes quantidades de materiais finos, constituídos pelo cimento e adições minerais. Diante desse contexto e a partir da análise da composição química a incorporação de resíduos de pó de rocha ($R_{PROC}$) surgiu como uma possibilidade promissora na redução de impactos ambientais assim como um melhor desempenho das propriedades físicas e mecânicas para concreto auto adensável. O resíduo de mineração ($R_{PROC}$) participou da mistura como substituição parcial do cimento, nas proporções de 10 % e 25%. A trabalhabilidade do concreto no estado fresco foi analisada através do ensaio de espalhamento "slump flow" conforme NBR 15823-1 (2010). A resistência mecânica à compressão axial foi avaliada aos 1, 7 e 28 dias de cura segundo a NBR 5739 (2007). Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam que a incorporação do resíduo de mineração ($R_{PROC}$) alterou suas propriedades físicas, sendo que houve decréscimo da resistência mecânica à compressão em todas as idades e traços analisados.*

*Palavras chave: construções sustentáveis, reaproveitamento de resíduos, concreto auto adensável*

## *ABSTRACT*

*Concern about environmental issues has led society to a constant search for sustainable growth alternatives. Within concrete technologies, in 1988, in Japan, self-compacting concrete (SCC) was able to shape itself under the influence of its own weight. It is distinguished by the use of large quantities of fine materials, consisting of cement and mineral additions. Considering this context and from the analysis of the chemical composition the incorporation of rock dust residues (Wrd) emerged as a promising possibility in reducing environmental impacts as well as a better performance of the physical and mechanical properties for self-compacting concrete. The mining residue (Wrd) participated in the mixture as a partial replacement of the cement, in proportions of 10% and 25%. The workability of the concrete in the fresh state was analyzed by the slump flow test according to NBR 15823-1 (2010). The mechanical resistance to axial compression was evaluated at 1, 7 and 28 days of cure according to NBR 5739 (2007). The results obtained in this research indicate that the incorporation of the mining residue (Wrd) altered its physical properties, and there was a decrease in the mechanical resistance to compression in all ages and traits analyzed.*

*Key Words: Sustainable construction, reuse of waste, self-compacting concrete*

# 1. INTRODUÇÃO

O concreto é o segundo material mais consumido no mundo e em decorrência disso a indústria do concreto conquistou as credenciais de um dos maiores consumidores de recursos naturais como a água, areia e brita. O custo de produção do concreto principalmente devido ao grande consumo do cimento teve um aumento ao longo do tempo, o que levou as indústrias a tomarem medidas sustentáveis, como por exemplo, a destinação ecológica de resíduos industriais (pó de brita, casca de arroz, pó de lama de mármore) fornecendo uma fonte econômica e viável de matérias-primas para a produção de concreto (TIWARI, *et. al.,* 2016); (MO *et. al*., 2016) e (LEVY, 2001).

Um dos avanços na área da tecnologia de concreto nas últimas décadas foi realizado no Japão. Em 1988 o Japão desenvolveu o concreto auto adensável (CAA) o qual possui uma capacidade de se moldar nas formas por conta própria e preencher, sem a necessidade de compactação ou vibração externa de qualquer natureza, os espaços destinados a ele, ou seja, a única ferramenta disponível para esse concreto é seu peso próprio, a ação da força da gravidade em sua massa (TUTIKIAN e MOLIN, 2015) e (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Também existia a dificuldade de se executar estruturas com formas complexas e altas taxas de armadura sem prejudicar a qualidade e durabilidade do concreto (LISBÔA, 2004). As suas propriedades mais importantes são a trabalhabilidade e estabilidade.

A atividade de mineração é responsável por quase 5% do produto interno bruto no Brasil. Os seus impactos relacionados às questões ambientais, assim como a geração de resíduos desse segmento são tão fortes que grande parte dos investimentos são direcionados a iniciativas governamentais que focam no estímulo de modernização do setor, de modo a propiciar um crescimento ainda mais acelerado e que possa trazer retornos mensuráveis para o país, sua situação ambiental e econômica (LOPES, 2016).

A incorporação de outros elementos no concreto, como aditivos, adições minerais, pigmentos, fibras, resíduos sólidos e o uso de técnicas de execução diferenciadas, como a cura a altas temperaturas e pressões, permitem a constituição de concretos de última geração levando ao usuário final um leque de mais variados projetos o que resulta em estruturas esbeltas, duráveis e seguras (BARROS, 2008).

Segundo Awoyera *et. al.,* (2016) e Mo *et. al.,* (2016) dentre os principais benefícios alcançados pela utilização de redíduos no concreto temos:

- Fator ambiental: evita o lançamento do resíduo diretamente no ambiente;

- Fator econômico: a substituição parcial do cimento pelo resíduo reduz o custo do metro cúbico do concreto;
- Fator tecnológico: melhora as propriedades físicas e químicas do concreto no estado fresco e endurecido.

O desafio da incorporação de resíduos ao concreto se deve à ausência de uma legislação específica para aplicação de resíduos em concreto auto adensável. No Brasil ainda não há uma norma específica para reaproveitamento de resíduos em concretos com finalidade estrutural. Todavia a NBR 15116 (2004) apresenta as diretrizes para produção de concretos sem finalidade estrutural.

Dentre as hipóteses levantadas neste estudo foi possível constatar que o resíduo de pó de rocha ($R_{PROC}$) é um material não reativo, inerte que agregou apenas aos finos necessários na composição do concreto, refletindo em sua trabalhabilidade mínima estabelecida na NBR 15823-1 (2010).

Esta pesquisa tem por finalidade analisar a influência da substituição parcial do cimento por resíduos sólidos de pó de rocha da mineração ($R_{PROC}$) no concreto auto adensável (Fck 35 MPa) em suas propriedades físicas no estado fresco e endurecido. Os objetivos específicos são:

- Coletar amostras representativas em empresas geradoras de resíduo e preparação para experimentos laboratoriais;
- Caracterizar o resíduo quanto a sua composição química, mineralógica e granulométrica;
- Desenvolver traços que ajustem as propriedades do material às características mínimas exigidas por norma para o produto final;
- Determinar o *slump flow* e incorporação de ar;
- Analisar a resistência mecânica a compressão nas idades de 1,7 e 28 dias.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Uma pesquisa encomendada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) aponta uma estimativa que no ano de 2025 o concreto pode passar a ocupar o primeiro lugar de material mais utilizado, o que supera o consumo de água potável. No Brasil em 2012 as concreteiras produziram um montante de 51 milhões de $m^3$ e a projeção para o ano de 2017 é que a produção alcance um aumento de 41,76 % chegando em 72,3 milhões de $m^3$. A pesquisa também mostra que as inovações nessa área tendem a acompanhar o crescimento do mercado do concreto e destaca uma maior preocupação

com a minimização de impactos ambientais através da diminuição do uso de recursos naturais (ABCP, 2013).

## 2.2 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL (CAA)

Segundo Tutikian e Molin (2015) o concreto só poderá ser considerado auto adensável se simultaneamente três propriedades forem alcançadas:

- Fluidez: caracterizada pela capacidade de fluir dentro da fôrma preenchendo todos os seus espaços;
- Habilidade passante: capacidade de a mistura escoar pela fôrma, passando por entre as armaduras de aço sem obstrução do fluxo ou segregação;
- Resistência à segregação: definida pela capacidade de se manter coeso ao fluir dentro das fôrmas passando ou não por obstáculos.

No CAA são empregados os materiais comumente utilizados no concreto convencional, aglomerante (cimento), agregados (areia e brita), água, aditivos químicos e de adições minerais (ARNOLD, 2014). As composições do CAA tendem a ter uma maior quantidade de cimento devido ao alto volume da pasta, as literaturas mostram uma variação de 350Kg/$m^3$ á 550 Kg/$m^3$ (TUTIKIAN E MOLIN 2015). Com objetivo de minimizar os efeitos colaterais provocados pelo alto consumo de cimento, como elevação da temperatura interna do concreto tem-se utilizado as adições minerais (MELO, 2005). As adições minerais são materiais finamente moídos que podem ser adicionadas ao concreto em grandes quantidades com o objetivo de reduzir custos de produção do concreto, melhorar sua trabalhabilidade e resistência (BARROS, 2008).

Países como os Estados Unidos, Japão e a comunidade Europeia já se preocuparam em normalizar os ensaios de caracterização do CAA. No Brasil, a primeira norma sobre o concreto auto adensável entrou em vigor no ano de 2010, a NBR 15823 (SANTOS e BARBOSA, 2011).

De acordo com Tutikian e Molin (2015) por ser considerado uma das grandes revoluções na tecnologia do concreto o CAA apresenta algumas vantagens em sua utilização:

- Acelera a construção devido ao seu lançamento ser muito rápido e dispensar o adensamento;
- Melhor acabamento final da superfície;
- Aumento da durabilidade pelo fato de ser auto adensável, evitando assim, falhas de concretagem e vazios resultantes da má vibração;

- Permite concretagem em peças de seções reduzidas, esbeltas e com altas taxas de armaduras assim como estruturas de difícil acesso;

Segundo Lisbôa (2004) e Marques (2011), as desvantagens do uso do CAA são as seguintes:

- Mão de obra especializada para sua confecção;
- Maior necessidade de controle durante a sua aplicação comparado ao concreto convencional;
- Cuidados especiais com o transporte para evitar a segregação;
- Menor tempo disponível para a sua aplicação em relação ao concreto convencional.

## 2.4 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM CONCRETO

Existem cerca de 10 milhões de toneladas de resíduos disponíveis para utilização pela indústria do cimento, conforme levantamento realizado pelo Coppe. Estima-se que 1,5 a 2 milhões de toneladas são cinzas da queima de bagaço de cana-de-açúcar, produzidas pelas caldeiras e geradores utilizados para gerar eletricidade para as próprias refinarias (OLIVEIRA, 2016).

Segundo Santana (2007), a utilização de resíduos normalmente se caracteriza como material inerte, podendo ser disperso entre a pasta de cimento ou reaproveitado somente por razões econômicas. No entanto, economia não é o único motivo de se incorporar os resíduos sólidos no concreto, pois este material atribui vantagens técnicas consideráveis ao mesmo, que passa ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura. As suas propriedades físicas e químicas podem ter influências positivas no desempenho e na durabilidade do concreto estrutural.

No CAA o uso de resíduos industriais como adição do tipo filler se mostra muito receptivo pois esses finos mantem uma moderada viscosidade na mistura, que é fundamental para o alcance da auto adensabilidade desses concretos (BARROS, 2008) e (GOMES, 2009). De acordo com o Bardini *et. al.,* (2009), o filler é empregado como material de enchimento dos vazios entre agregados graúdos e miúdos o que contribui para o fechamento da mistura do concreto, modificando a trabalhabilidade e possivelmente sua resistência.

## 2.5 A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO

A atividade de mineração é considerada com um dos setores básicos da economia do país, mas devido aos impactos que esta atividade desencadeia no meio ambiente é necessário que a mesma possua um controle eficaz (SILVA, 2007).

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração a mineração tem como umas das fontes de poluição a formação de poeiras originadas dos processos mecânicos de beneficiamento das rochas (IBRAM, 1992).

As poeiras geradas no processo, é considerada um produto de grande potencial poluidor atmosférico e também insalubre, dada a formação de condições inadequadas de higiene e segurança do trabalho se esta emissão não for tratada de forma adequada (NR 15).

De acordo com Formigoni[1], (2006, *apud* Santos *et. al.,* 2012) durante o beneficiamento das rochas naturais, 25% a 30% são transformados em pó, sendo que no Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas/ ano de resíduos destas rochas. Sem um direcionamento correto, este pó é depositado em locais totalmente inapropriados, gerando graves impactos ambientais.

# 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

## 3.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

O resíduo de mineração ($R_{PROC}$) empregado neste estudo foi coletado por meio de filtros de manga, tendo sido originada dos processos de desagregação mecânica, britagem, peneiramento e pontos de transferência de uma mineradora localizada no estado de Rondônia.

A composição química do ($R_{PROC}$) foi realizada pelo Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da UFPR através do ensaio de análise química semi- quantitativa por espectrometria de fluorescência de raios-x no equipamento Espectrômetro Phillips PW 2400.

A granulometria do material foi realizada conforme determina a NBR 7217 (1987).

A densidade do ($R_{PROC}$) foi realizada pelo Laboratório da empresa Bianco Concreto e foi determinada conforme a NBR NM 23 (2001).

[1] FORMIGONI, et. al., Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. Disponível em: <http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf>, acessado: 14/04/2017.

## 3.2 DESENVOLVIMENTO DE TRAÇOS E CORPOS DE PROVA

Para execução dos ensaios dos corpos de prova do concreto auto adensável (Fck 35) foram utilizados os seguintes insumos:

- Cimento Portland CP II-F 40MPa (Fornecedor Votorantim);
- Areia Natural (Fornecedor Bassani);
- Areia Artificial (Fornecedor Caltec);
- Agregado Graúdo Tipo 0 (Fornecedor Votorantim);
- Filler calcário (Fornecedor Caltec);
- Resíduos da mineração ($R_{PROC}$);
- Aditivo Superplastificante (Plastol 5030 Viapol);
- Aditivo Polifuncinal ( Polyheed BF 38 Basf).

As propriedades dos agregados utilizados na pesquisa foram realizadas atendendo a NBR NM 26 (2009) e NBR 7211, (2009).

Foi adotado um traço padrão de referência (traço comercial com maior demanda de acordo com a empresa parceira desta pesquisa) sem a adição do $R_{PROC,}$ para servir de comparativo, e um traço com adição de filler calcário foi moldado para análises de desempenho da incorporação do $R_{PROC}$ no concreto auto adensável.

Os parâmetros variáveis se limitaram a quantidade de cimento e o teor de $R_{PROC}$. A relação água/cimento (A/C) e as quantidades de agregado graúdo zero, agregado miúdo natural, artificial e aditivos foram mantidas constantes.

Segundo os dados obtidos e as propriedades dos materiais utilizados pela empresa, os traços foram definidos. Conforme os consumos de materiais por m³ de concreto foram definidas as composições conforme a TABELA 1.

TABELA 1: TRAÇOS DOS CORPOS DE PROVA PARA O CONSUMO DE 1M³ DE CONCRETO EM MASSA SECA

| Composição | Cimento CP II F (kg) | Água (kg) | Areia Natural (kg) | Areia Artificial (kg) | $R_{PROC}$ (kg) | Filler Calcário (kg) | Agregado graúdo nº 0 (kg) | Aditivo Poli (kg) | Aditivo Super (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Padrão | 400 | 204,5 | 664,81 | 433,18 | 0 | 0 | 883 | 1,80 | 2,60 |
| Filler Calcário 10% | 360 | 204,5 | 664,81 | 433,18 | 0 | 40 | 883 | 1,80 | 2,60 |
| $R_{PROC}$ 10% | 360 | 204,5 | 664,81 | 433,18 | 40 | 0 | 883 | 1,80 | 2,60 |
| $R_{PROC}$ 25% | 300 | 204,5 | 664,81 | 433,18 | 100 | 0 | 883 | 1,80 | 2,60 |
| Umidade (%)* | - | 100,00 | 12,11 | 1,21 | - | - | - | - | - |
| Densidade (g/cm³) | 3,09 | 1,00 | 2,62 | 2,81 | 2,68 | 2,65 | 2,72 | 1,18 | 1,00 |

FONTE: OS AUTORES (2017).

As misturas foram reduzidas proporcionalmente para 25 litros (TABELA 2), utilizando o consumo de materiais por m³ apresentado na TABELA 1, realizando a correção

da umidade dos materiais e a adição de água necessária para atingir a trabalhabilidade estabelecida - "*slump flow*" ± 70 cm.

TABELA 2: CONSUMO DE MATERIAIS PARA 25 LITROS DE CONCRETO COM UMIDADE CORRIGIDA

| Composição | Cimento CP II F (kg) | Água (kg) | Areia Natural (kg) | Areia Artificial (kg) | Relação A/C | $R_{PROC}$ (kg) | Filler Calcário (kg) | Agregado graúdo nº 0 (kg) | Aditivo Poli (g) | Aditivo Super (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Padrão | 10 | 3,30 | 16,62 | 10,83 | 0,36 | 0 | 0 | 22,02 | 45 | 65 |
| Filler Calcário 10% | 9 | 3,30 | 16,62 | 10,83 | 0,36 | 0 | 1 | 22,02 | 45 | 65 |
| $R_{PROC}$ 10% | 9 | 3,30 | 16,62 | 10,83 | 0,36 | 1 | 0 | 22,02 | 45 | 65 |
| $R_{PROC}$ 25% | 7,5 | 3,30 | 16,62 | 10,83 | 0,36 | 2,5 | 0 | 22,02 | 45 | 65 |
| Umidade (%) | - | 100,00 | 12,11 | 1,21 | - | - | - | - | - | - |
| Densidade (g/cm³) | 3,09 | 1,00 | 2,62 | 2,81 | - | 2,68 | 2,65 | 2,72 | 1,18 | 1,00 |

FONTE: OS AUTORES (2017).

A execução do concreto se deu em betoneira de eixo vertical, com a seguinte sequência: colocação do agregado graúdo nº 0, depois a areia natural e artificial, em seguida acrescido o cimento e cerca de 2/3 da água necessaria e o aditivo polifuncional, o procedimento transcorreu pelo periodo de 10 minutos, posteriormente foi acrecido a quantia de água restante à mistura. Em seguida foi realizada a medição do abatimento; atingido o abatimento zero foi adicionado o aditivo superplastificante. Por fim, a betoneira foi novamente acionada homogenizando o aditivo superplastificante para atingir trabalhabilidade esperada de 70 cm.

## 3.3 *SLUMP FLOW* E INCORPORAÇÃO DE AR

A determinação do *Slump-flow* foi realizada de acordo com a NBR 15823 (2010) através do método do cone de *Abrams,* onde se mede o diâmetro de abertura do concreto após seu espalhamento. A norma apresenta classes de espalhamento conforme a TABELA 3:

TABELA 3: CLASSES DE ESPALHAMENTO

| Classe de espalhamento | Espalhamento (mm) |
|---|---|
| SF1 | 550 a 650 |
| SF2 | 660 a 750 |
| SF3 | 760 a 850 |

FONTE: NBR 15823, (2010)

Aplicando a metodologia da NBR 9833(2008) foi determinado o teor de ar incorporado pelo método gravimétrico no concreto fresco.

## 3.5 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA A COMPRESSÃO

Foram moldados 5 corpos de prova conforme a NBR 5738 (2008) para cada composição. A resistência mecânica à compressão foi avaliada conforme as recomendações da NBR 5739 (2007) nas idades de 1, 7 e 28 dias, sendo 5 corpos de prova para cada idade, conforme recomendações da NBR 12655 (2006), totalizando 45 corpos de prova com dimensões aproximadas de 10x20 cm. Nas primeiras 24 h os corpos de prova ficaram condicionados à cura em condições ambientes e após serem retirados dos moldes foram totalmente imersos nos tanques de cura com água e temperatura controlada entre 23 a 25ºC até as idades de ruptura.

A retificação dos corpos de prova foi realizada com equipamento especifico e posteriormente submetidas a carga de compressão até a ruptura em uma prensa manual digital com capacidade de 100 tf .

# 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O $R_{PROC}$ aplicado nessa pesquisa apresentava uma composição mineral de feldspato alcalino, plagiocásio e mica, já a composição química deste material está descrita pela TABELA 4:

TABELA 4: COMPOSIÇÃO QUÍMICA $R_{PROC}$

| Composição Química (%) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **$SiO_2$** | **$Al_2O$** | **$K_2O$** | **$Fe_2O_3$** | **$Na_2O$** | **CaO** | **$TiO_2$** | **MgO** | **$P_2O_5$** | **BaO** | **P.F** |
| 63,3 | 13,6 | 5,9 | 3,9 | 3,3 | 2,9 | 0,9 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 0,60 |

FONTE: LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE MINERAIS E ROCHAS – UFPR
P.F (PERDA AO FOGO)

As proriedades físicas dos agregados foram apresentadas na TABELA 5:

TABELA 5: CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS

| Tipo de agregado | Absorção de água (%) | Massa específica (g/cm³) | Dimensão Máxima (mm) | Módulo de Finura |
|---|---|---|---|---|
| Brita nº0 | 0,8 | 2,72 | 9,5 | 5,45 |
| Areia Natural | 12,11 | 2,62 | 2,36 | 1,97 |
| Areia Artificial | 1,21 | 2,81 | 2,4 | 3,06 |
| Filler Calcário | - | 2,65 | 1,7 | 1,09 |
| Resíduo $R_{PROC}$ | - | 2,68 | 1,5 | 1,04 |

FONTE: OS AUTORES, e BIANCO (2017).

Os resultados do ensaio realizado no estado fresco (slump flow) estão apresentados na FIGURA 1:

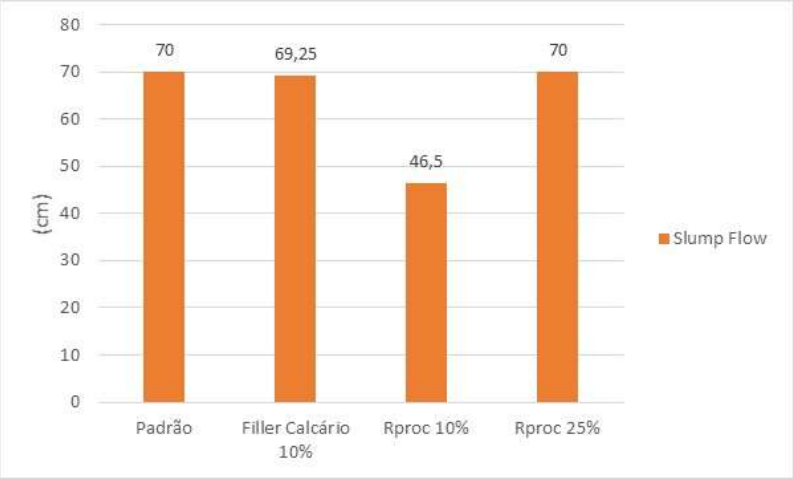



FIGURA 1: *SLUMP FLOW*
FONTE: OS AUTORES, (2017)

Com relação às propriedades no estado fresco, mais especificamente relacionado à trabalhabilidade, houve apenas um traço ($R_{PROC}$ 10%) que divergiu do intervalo de valores esperado, de acordo com as especificações da NBR 15823(2010), (TABELA 3).

Uma constatação proveniente dessa etapa, foi a percepção visual da incorporação de ar excessiva no traço ($R_{PROC}$ 10%). Os resultados foram demonstrados na FIGURA 2:

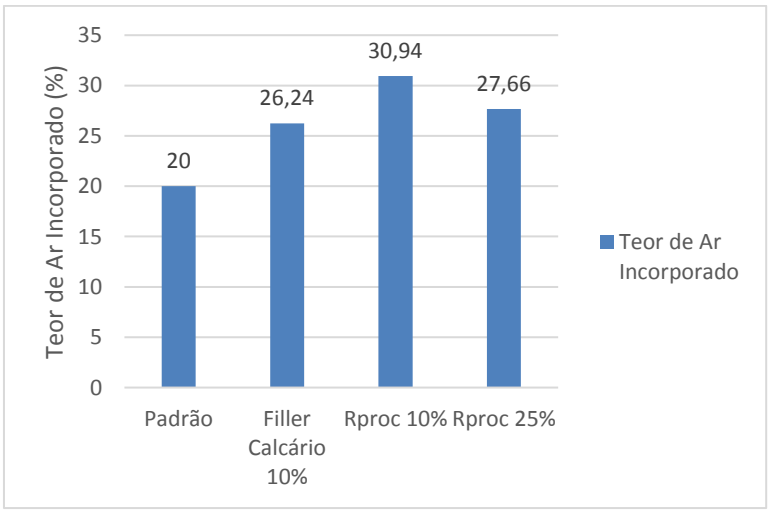



FIGURA 2: TEOR DE AR INCORPORADO
FONTE: OS AUTORES, (2017)

Com relação às propriedades no estado endurecido, os resultados dos ensaios de resistência mecânica à compressão média nos diferentes tempos de cura avaliados estão apresentados na FIGURA 3.

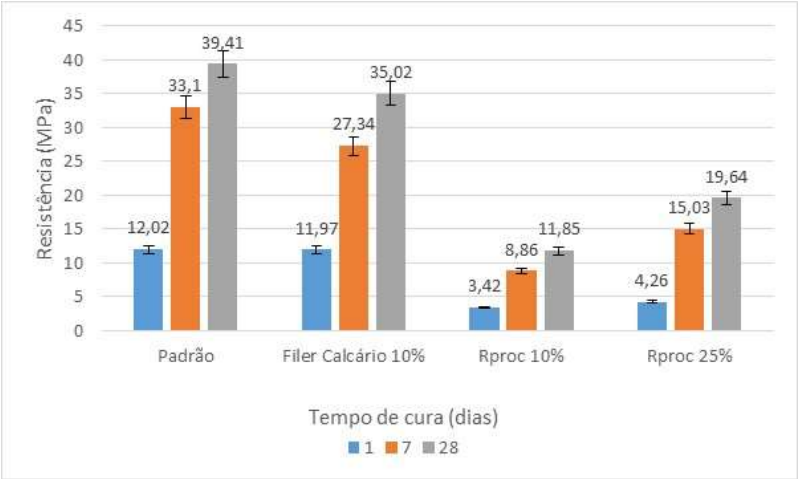



FIGURA 3: EVOLUÇÃO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AO LONGO DO TEMPO DE CURA
FONTE: OS AUTORES, (2017)

Comparando os resultados dos concretos com $R_{PROC}$ incorporado com os traços padrão de referência e com filler calcário foi possível observar que há um ganho de resistência ao longo do tempo de cura em diferentes intensidades, conforme os traços adotados. A resistência aos 28 dias do traço $R_{PROC}$ 10% e $R_{PROC}$ 25% ficaram respectivamente 70% e 50% abaixo da resistência do traço padrão. Já a resistência aos 28 dias do traço $R_{PROC}$ 10% e $R_{PROC}$ 25% comparadas com o traço de filler calcário 10% ficaram abaixo da resistência respectivamente em 66% e 44%.

É importante salientar que a incorporação de ar no concreto influenciou negativamente o desempenho do concreto, conforme indicado na (FIGURA 3).

Confrontando os traços $R_{PROC}$ 10% e $R_{PROC}$ 25% com os traços de referência é possível afirmar que a incorporação de resíduo como substituição parcial do cimento não foi eficiente.

## 5. CONCLUSÃO

As principais conclusões dessa pesquisa são:

- O $R_{PROC}$ dessa pesquisa é composto basicamente por minerais de feldspato alcalino, plagiocásio e mica bem como sua composição química pode ser escrita como 63,3% de $SiO_2$, 13,6% de $Al_2O$, 5,9% de $K_2O$, 3,9% de $Fe_2O_3$ e outros

componentes em menor proporção; e ainda sua massa específica é de 2,68 g/cm³ com dimensão máxima de 1,5mm e módulo de finura de 1,04;

- Com relação às propriedades no estado fresco, houve apenas um traço com a substituição parcial de cimento de 10% ($R_{PROC}$ 10%) que divergiu do intervalo de valores esperado, de acordo com as especificações da NBR 15823 (2010);
- O traço ($R_{PROC}$ 10%) apresentou um valor de incorporação de ar de 30,94%.
- Para o estado endurecido, os traços que possuem $R_{PROC}$ em sua composição apresentaram resistências inferiores às amostras de referência, tanto sem resíduos como com filler calcário atingindo aos 28 dias de cura, cerca de 30% da resistência mecânica para o traço $R_{PROC}$ 10% e de 50% da resistência mecânica para o traço $R_{PROC}$ 25%, ambos em relação ao traço referência – sem resíduos em sua composição;

Por fim, a incorporação do $R_{PROC}$ se mostrou ineficiente quanto ao desempenho mecânico do material como produto final, quando comparado ao traço de referência, projetado para atender a demanda de 35 MPa aos 28 dias de cura. Portanto, é possível afirmar que o $R_{PROC}$ não apresentou características técnicas que viabilizem seu emprego como elemento componente de concreto auto adensável.

## 6. REFERÊNCIAS


ARNOLD, M. **Estudo da utilização da areia de britagem em argamassas para concreto auto-adensável**. Pato Branco/2014. Páginas 1-52. Dissertação de graduação. Universidade Técnologica Federal do Paraná.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.** Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>. Acesso em: 12/09/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. NBR NM 23. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação**. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. NBR 15116. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. NBR 12655, Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilindricos**. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. NBR 5738. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto fresco – Determinação de massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. NBR 9833. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - especificação**. NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Amostragem.** NBR NM 26. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto auto-adensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco**. NBR 15823-1. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto auto-adensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento-Método do cone de Abrams**. NBR 15823-2. Rio de Janeiro, 2010.

AWOYERA, P. O; AKINMUSURU, J. O; NDAMBUKI, J. M. **Green concrete production with ceramic wastes and laterite**, Construction and Building Materials, Volume 117, 1 August 2016, Pages 29-36, ISSN 0950-0618. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816306638>. Acesso em 30/09/2016.

BARDINI, V. S. S; KLINSKY, L. M. G. **A importânica do filer para o bom desempenho de misturas asfálticas**. Pesquisa e Tecnologia Minerva, Volume 7, São Carlos/2009, Páginas 71-78.

BARROS, P. G. S. **Avaliação das propriedades da durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito**. Maceió/2008. Páginas 1-121. . Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas.

BIANCO LABORATÓRIO. **Resultados de propriedades físicas do resíduo de pó de rocha.**

GOMES, Paulo C. C.; BARROS, Alexandre R. de**. Métodos de dosagem de concreto auto-adensável**. São Paulo: Pini, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Mineração e meio ambiente**, Brasília/DF, 1992.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo de durabilidade de concretos, produzidos com resíduo de concreto e alvenaria**. São Paulo/2001. Páginas 1-194. Tese (Doutorado em Engenharia Civi), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo. Disponível em: < http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Tese_Salomon_Mony_Levy.pdf>. Acesso em 01/11/2016.

LIMA, C. I.V et. al. **Concreto e suas inovações**. Maceió. v. 1, n. 01, ISNN 2357-9919, Páginas 31-40, Maio. 2004. Disponível em:< https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/download/1285/755>. Acesso em 12/10/2016.

LISBÔA, E. M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. Maceio/2004. Páginas 1-144. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas.

LOPES, M. **A importância da mineração no Brasil para a economia**. Disponível em:< http://tecnicoemineracao.com.br/mineracao-brasil-atual-e-sua-influencia-na-economia-nacional/>. Acesso em 01/11/2016.

MARQUES, A. C. **Concreto auto-adensável: caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo da sua deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência**. São Paulo, 2011. Tese de doutorado - Universidade de São Paulo.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2008

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário**. Florianópolis, 2005. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina.

MO, K. H; ALENGARAM J; JUMAAT, M. Z; YAP, S. P; LEE, S. C. **Green concrete partially comprised of farming waste residues: a review**, Journal of Cleaner Production, Volume 117, 20 March 2016, Pages 122-138, ISSN 0959-6526. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616000482. Acesso em 30/10/2016.

OLIVEIRA, M. **Betão Verde**. FAFESP. Ed. 146. Abril. 2016. Disponível em: < https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=http://revistapesquisa.fapesp.br/en/2008/04/01/green-concrete/&prev=search>. Acesso em 12/09/2016.

SANTANA, V. M. **Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais**. Bahia. XV Encontro Latino de iniciação científica. Páginas 1-6. 2007. Disponível em http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/0246_0254_01.pdf>. Acesso em: 01/11/2016.

SANTOS, L. F.; BARBOSA, M.P. **Avaliação do desempenho das propriedades mecânicas de concretos auto-adensáveis elaborados com diferentes tipos de cimentos submetidos a cura térmica**. IBRACON, Volume 4, Agosto de 2011, Páginas 361-385, ISSN 1983-4195.

SANTOS, R. A; LIRA, B.B; RIBEIRO, A. C. M. **Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito**. Paraíba. Holos, Ano 28, v. 5, ISNN 1807-1600, Páginas 125-135. Outubro, 2012. Disponível em: http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1119. Acesso em 30/12/2016.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados pela mineração**. Revista Espaço da Sofia. Brasília. ISNN 1981-318X, Novembro, 2007.

TIWARI, A; SINGH, S; NAGAR, S. **Feasibility assessment for partial replacement of fine aggregate to attain cleaner production perspective in concrete: A review.** Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616308071>. Acesso em 31/10/2016

TUTIKIAN, B. F; ISAIA, G. C; HELENE, P. **Concreto de alto e ultra-alto desempenho**. São Paulo: IBRACON, 2011.

TUTIKIAN, B. F; MOLIN D. C. D. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: Pini, 2015.