

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**MATHEUS BRANT VILANOVA**

**UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE ALUMÍNIO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO**  
**CELULAR AUTOCLAVADO**

**BELO HORIZONTE**

**2017**

MATHEUS BRANT VILANOVA

UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE ALUMÍNIO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO  
CELULAR AUTOCLAVADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial de obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Dr. Sidney Nicodemos da Silva

Coorientadora: MSc. Renata Borges Jacóe

BELO HORIZONTE

2017

MATHEUS BRANT VILANOVA

**UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE ALUMÍNIO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO  
CELULAR AUTOCLAVADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial de obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Sidney Nicodemos da Silva – Orientador

---

Prof. Dr. Joel Lima – CEFET MG

---

Prof. Dr. Paulo Renato Perdigão de Paiva – CEFET MG

## **RESUMO**

O presente trabalho estuda a influência da escória de fundição, pó de cavaco de alumínio, areia descartada de fundição e tempo de pré-cura nas propriedades de físicas do concreto celular autoclavado. O concreto celular autoclavado se destaca pelas propriedades características de leveza, baixa condutividade térmica, e resistência mecânica para a utilização em alvenaria não estrutural e ou de revestimento. Inicialmente foi realizada a moagem da escória e do cavaco de alumínio para obtenção de pó com dimensões micrométricas e, posteriormente, foram feitas análises dos materiais de partida, como microscopia eletrônica de varredura, fluorescência de raios X e granulométrica dos pós de alumínio e dos tipos de areias utilizadas. Foram feitas incorporações da escória e do pó de cavaco, na proporção de 0,1 % e 0,25 % em massa, substituição integral da areia fina de silício por areia descartada de fundição e variação do tempo do processo de pré-cura em 4 e 24 horas. Os principais resultados obtidos mostram que é viável o uso da escória até aproximadamente 0,1 % em massa, que com incorporação da areia de fundição o material apresentou baixa resistência à compressão e que o tempo de pré-cura de 24 horas favorece a resistência mecânica.

Palavras chave: concreto celular autoclavado, resíduos, resistência mecânica.

## **Abstract**

The present work studies the influence of casting slag, aluminum chip powder, sand casting discarded and pre-cure time in the autoclaved cell concrete physical property. The autoclaved cellular concrete stands out for the characteristics of the environment, low thermal conductivity, and mechanical resistance for use in non-structural masonry and or coating. Initially a slag division and production of aluminum to obtain powder with micrometric dimensions and, etc., were made of the starting materials, such as scanning electron microscopy, X ray fluorescence and granulometry of aluminum powders and types of sands. Slag and slag incorporations were carried out in the proportion of 0.1% and 0.25% by mass, complete replacement of silicon fine sand by sand casting discarded and process time change in curing 4 and 24 hours. The main results show that it is feasible to use the slag up to approximately 0.1% by mass, which with incorporation of the casting sand the material presented low compressive strength and that the pre-cure time of 24 hours favors the mechanical resistance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe para a distribuição dos poros no concreto celular autoclavado .....	11
Figura 2 – Processo de fabricação do bloco de concreto celular autoclavado .....	13
Figura 3 – Fluxograma explicativo da metodologia .....	26
Figura 4 – Processo de moagem da escória de alumínio.....	33
Figura 5 – Etapa de mistura da pasta cimentícia.....	45
Figura 6 – Pasta cimentícia em durante o processo de pré-cura em moldes.....	56
Figura 7 – Autoclave empregada para acelerar a cura.....	26
Figura 8 – Corpo de prova durante ensaios de compressão .....	26
Figura 9 – Escória de alumínio após 4 horas de moagem, x 200.....	30
Figura 10 – Curva de distribuição granulométrica da escória de alumínio .....	30
Figura 11 – Curva de distribuição granulométrica do pó de alumínio .....	32
Figura 12 – Microscopia Eletrônica de Varredura do pó de alumínio .....	32
Figura 13 – Curva de distribuição granulométrica da areia de fundição .....	33
Figura 14 – Curva de distribuição granulométrica da areia comum .....	34
Figura 15 – Microscopia eletrônica da areia de fundição e, areia comum .....	35
Figura 16 – Curva força x deformação da Amostra 1.....	38
Figura 17 – Curva de força x deformação dos corpos de prova da amostra 3 .....	40
Figura 18 – Curva de força x deformação das amostras 4, 5 e 6 .....	41
Figura 19 – Resultado de resistência a compressão das amostras 1 e 2 .....	43
Figura 20 – Amostra 2 após processo de autoclavagem.....	43

Figura 21 – Tipo de alumínio x resistência mecânica, amostras 5 e 1.....	44
Figura 22 – Densidade x resistência mecânica .....	45
Figura 23 – Influência da densidade na resistência mecânica do BCCA.....	45
Figura 24 – Resistência específica das amostras.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Representação das Classes dos BCCA.....	15
Tabela 2 – Proporções utilizadas para confecção dos corpos de prova .....	24
Tabela 3 – Resultado de fluorescência de raios X da escória e cavaco.....	29
Tabela 4 – Análise de Fluorescência de raios-x do resíduo de areia de fundição .....	37
Tabela 5 – Resultados da amostra 1 em força máxima .....	38
Tabela 6 – Resultados do ensaio de compressão da Amostra 3 .....	39
Tabela 7 – Resultado do ensaio de compressão das amostras 2, 4, 5 e 6.....	40
Tabela 8 – Resultados do ensaio de compressão e da densidade das amostras .....	42



## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURA**

ADF – Areia Descartada de Fundição

BCCA – Bloco de Concreto Celular Autoclavado

CEFET MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

FRX – Fluorescência de raios X

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

MPa – Mega Pascal

NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CPV - ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

## SUMÁRIO

	Página	
1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Concreto Celular	14
3.2	A reciclagem do alumínio	17
3.3	Escória de alumínio	18
3.4	Areia de fundição	19
4	METODOLOGIA	21
4.1	MATERIAIS	21
4.1.1	Escória e Pó de alumínio	21
4.1.2	Cal Virgem, Cal hidratada e Gesso	22
4.1.3	Areia Quartzosa e Resíduo da Areia de Fundição	22
4.1.4	Cimento Portland – CPV	22
4.2	MÉTODOS	23
4.2.1	Moagem	23
4.2.2	Confecção dos copos de prova	24
4.2.3	Pré-Cura e Cura em autoclave	27
4.2.4	Ensaio mecânico de compressão	28
4.2.5	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	29
4.2.6	Fluorescência de Raio-X (FRX)	29
4.2.7	Distribuição granulométrica por espalhamento de um feixe de laser	29
4.2.8	Determinação da densidade de massa aparente seca	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30

5.1	Escória de alumínio e alumínio puro	30
5.2	Areia comum e areia de resíduo de fundição	33
5.3	Ensaio de resistência à compressão e densidade aparente a seco	38
6	CONCLUSÃO	50
7	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto celular autoclavado foi descoberto na Suécia na década de 20, e está presente em vários países. Pode ser obtido através da cura de cimento, areia, cal e água em autoclave sob pressão, utilizado tanto em aplicações domésticas (casas) como em grandes empreendimentos imobiliários e industriais. A principal vantagem é a grande facilidade de dimensões e formatos possibilitados pelo processo de produção que em sua etapa de cura pode ser realizada nos mais diversos tipos e formatos de moldes. Outras propriedades, como bom isolamento térmico e acústico são características do BCCA e, estão presentes devido a presença de bolhas de ar incorporadas durante a etapa de expansão (JACÓE, 2014; VARISCO, 2014).

A figura 1 mostra em detalhe a distribuição dos poros.

**Figura 1 – Detalhe para a distribuição dos poros no concreto celular autoclavado.**



Fonte: Próprio autor, 2017.

Este material é considerado leve, pois durante a reação inicial da massa, os gases se acumulam gerando porosidade mostrada na figura 1. Podemos classificar a porosidade de acordo com o modelo em: poros artificiais, poros com diâmetro acima de 1 mm, gerados no processo pela adição de alumínio em pó. Microcapilaridade, poros com diâmetro de  $1\mu\text{m}$ , compreendendo a área dos cristais presentes nas paredes dos poros artificiais, gerado pelo caminho livre deixado pela água de hidratação. Macropilaridade, poros com diâmetro de  $10\mu\text{m}$ , em menor quantidade, distribuídos na área da microcapilaridade e de grande importância, pois interconectam os poros artificiais (GUERREIRO, 2002).

Além da baixa densidade, a porosidade propicia propriedades de isolamento acústico, que segundo Guerreiro (2004), promovendo isolamento de 42 dB em ambiente fechado, com blocos de concreto celular de 12,5 cm de espessura.

Os estudos desenvolvidos neste projeto, estão concentrados na utilização da escória de alumínio, a qual será moída em moinho de bolas, e após peneiramento será realizada caracterização físico-química (FRX, MEV e granulometria a laser). A escória na forma de pó metálico, será misturada com outras matérias-primas particuladas tais como cimento, areia silicosa, cal virgem, gesso e cal hidratada, além de água de amassamento para posteriori confecção de corpos de prova de Bloco de Concreto Celular Autoclavado (BCCA) que poderão ser empregados na construção civil como paredes de alvenaria (estruturada e ou não estruturada).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência da escória de alumínio, pó de cavaco de alumínio, areia descartada de fundição e do tempo de pré-cura nas propriedades físicas do Bloco de Concreto Celular Autoclavado (BCCA) para aplicações em alvenaria não estrutural.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Processar a escória de fundição de alumínio (Al) e os cavacos de usinagem do alumínio a partir da técnica de moagem em moinhos de bola;
- Selecionar as matérias primas de partida: cimento, materiais calcínicos (cal virgem, cal hidratada e gesso), areias (fina e ADF) e os aditivos (pós de Al e hidróxido de cálcio) utilizadas na confecção dos BCCA, e caracterizar físico-quimicamente os dois pós de Al (obtidos de escória e cavacos) e as duas areias utilizadas neste estudo com o uso de técnicas de MEV, granulometria por difração de laser e FRX;
- Processar os corpos de prova com variação dos traços das matérias primas de partida e avaliar o efeito da pré-cura com tempos (4 e 24h) e temperatura de 45°C, bem como das condições de autoclavagem pressão (1,2MPa) e temperatura (190°C) e tempo (12h) para implementação da cura final do BCCA;
- Caracterizar físico-quimicamente os BCCA quanto a densidade específica;
- Caracterizar mecanicamente por ensaio de compressão os corpos de prova de concreto celular.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Concreto Celular

O Bloco de Concreto Celular Autoclavado (BCCA) foi desenvolvido por Joahan Axel Erickon, sendo feito depósito da primeira patente sobre concretos celulares, na Suécia em 1923. Posteriormente, o número de patentes relativas à fabricação de concretos celulares não parou de crescer, elas surgem como melhoramentos de registros anteriores ou como novas formas de liberação do gás que dará origem às bolhas de ar dentro da massa (FERREIRA, 1987).

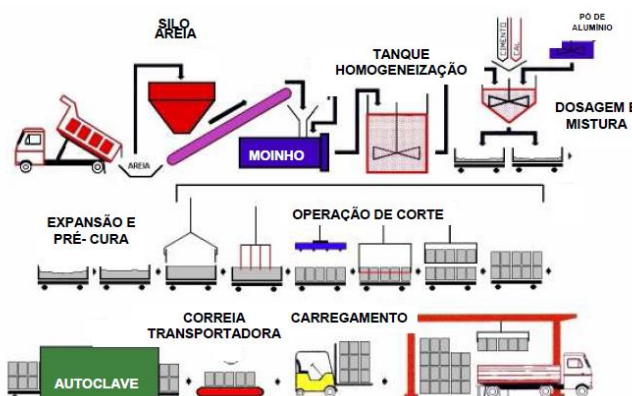
A norma NBR 13438 – Blocos de concreto celular autoclavado, define o concreto celular autoclavado como concreto leve, obtido por processo industrial, e composto por cimento, cal e materiais ricos em sílica.

Ainda segundo a norma, blocos de BCCA são: “Componentes de edificações, maciços, com função estrutural ou não, utilizados principalmente para a construção de paredes internas e externas e preenchimentos de lajes”.

O concreto celular é obtido pela mistura de areia, cimento, cal e pó de alumínio (agente expensor). O componente expensor produz bolhas de ar esféricas e não interligadas. Para obter a resistência mecânica para uso em blocos de alvenaria, o concreto celular deve ser curado em autoclave sob alta pressão e temperatura e, devido a presença de bolhas de ar, o material passa a oferecer boa resistência acústica e térmica (FERRAZ, 2011).

O processo de fabricação do bloco de concreto celular está esquematizado na figura 2.

**FIGURA 2 - Processo de fabricação do bloco de concreto celular autoclavado.**



Fonte: Precon, 2010.

A porosidade do concreto celular pode chegar a 80% em volume, que o torna um material muito leve, a sua densidade varia de 300 a 1800 Kg/m<sup>3</sup>, em comparação aos 2300

Kg/m<sup>3</sup> do concreto convencional. As boas resistências acústicas, térmicas e resistência ao fogo devido sua composição completamente inorgânica, são obtidas em detrimento da resistência mecânica do material, a qual diminui com o aumento da porosidade (JUNIOR, 2011; BARRETO, 2012).

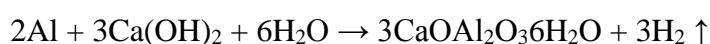
Os blocos de BCCA podem ser cortados com serrote e furados para instalações embutidas, proporcionando economia de argamassa de assentamento, reduzindo o consumo de argamassa de revestimento e redução da mão de obra (FERRAZ, 2011).

Ainda segundo Ferraz (2011), os blocos de concreto celular são constituídos de material leve e, por isso, são normalmente maiores que os blocos cerâmicos ou de concreto, com isto, é possível reduzir o custo e o tempo na execução de paredes devido à mão de obra, além da economia na estrutura da edificação devido à redução das cargas na fundação e estrutura (FERRAZ, 2011).

O concreto celular pode ser obtido por diversas formas, por diferentes composições aliados a diferentes métodos de processamento, a fim de variar as propriedades finais do material. Uma das formas empregadas é a incorporação química, onde um agente químico é adicionado e misturado a uma pasta aquosa de cimento, quando esta pasta se encontra no estado plástico, isto é, antes do endurecimento por reação hidrotérmica. A função deste agente é reagir com a pasta cimentícia para liberação de algum tipo de gás, o qual fica confinado na estrutura na forma de bolhas gasosas, resultando, após a cura do cimento, em uma estrutura celular (JUNIOR, 2011).

Um dos materiais mais utilizados para este fim é o pó de alumínio, sua eficiência no processo de formação de bolhas depende de sua pureza, do tamanho das partículas, da alcalinidade do cimento, bem como dos meios para prever o escape do gás de H<sub>2</sub>, gerado durante a reação com a pasta cimentícia (JUNIOR, 2011).

Segundo Ferreira (1987), o pó fino de alumínio reage com o hidróxido de cálcio, liberando hidrogênio, de acordo com a expressão:



As normas brasileiras NBR 13438 (ABNT, 2013), 13440 (ABNT, 2013) orientam as características necessárias à produção e produto dos blocos de concreto celular autoclavados BCCA. São definidas Classes, Resistência à compressão Média (MPa), Resistência à compressão Mínima (MPa) e Massa específica (kg/m<sup>3</sup>) descritas na Tabela 1 abaixo.



**Tabela 1 - Representação das Classes dos BCCA**

<b>Classes</b>	<b>Resistência à compressão Média (MPa)</b>	<b>Resistência à compressão Mínima (MPa)</b>	<b>Massa específica (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
C 12	1,2	1,0	≤ 450
C 15	1,5	1,2	≤ 500
C 25	2,5	2,0	≤ 550
C 45	4,5	3,6	≤ 650

Fonte: ABNT, 2013.

### **3.2 A reciclagem de alumínio**

O Alumínio e suas ligas são utilizados em diversas aplicações de engenharia devido às suas propriedades físicas e mecânicas (facilmente conformável, baixo peso, baixo ponto de fusão). Além disso, não ocorre degradação deste material durante sua utilização. No entanto, o processamento do Al e suas ligas demandam grandes insumos de energia, o que aumenta muito o seu custo de produção. Este custo pode, no entanto, ser reduzido pela utilização da reciclagem do alumínio. Por esta razão, a sucata de Al se tornou um resíduo cujo reaproveitamento é bastante favorável e intensamente incentivado ABAL (2007). A matéria prima do alumínio é um recurso não renovável, portanto a sua reciclagem passou a ser um fator indispensável para sua utilização. Grande parte do alumínio utilizado atualmente decorre da reciclagem do mesmo, e ainda segundo a ABAL (2007) este processo aumenta a cada dia.

A prática da reciclagem apresenta-se como uma alternativa que possui vantagens financeiras, sociais e ambientais. Financeiras, pois é mais economicamente viável do que quando comparamos com a produção de alumínio primário com relação ao gasto com o consumo energético. Sociais, pois a reciclagem possibilita a geração de renda de uma grande parcela da população brasileira que vive da coleta de materiais recicláveis. E a vantagem ambiental e que o processo de fundição gera menos passivo ambiental quando comparamos com a produção de alumínio primário (DINIZ, 2007).

O alumínio secundário possui duas origens: o alumínio proveniente da indústria, na forma de retalhos gerados dentro da própria fábrica e, o alumínio pós-consumo, que corresponde a materiais consumidos que chegaram ao fim de sua vida útil, embalagens e utensílios por exemplo (DINIZ, 2007).

A produção de alumínio primário é 80% maior que a produção de lingote de alumínio secundário, e a produção de um lingote secundário representa 5% de gasto energético da produção de um lingote de alumínio primário, e para cada tonelada de alumínio reciclado aproximadamente quatro toneladas de bauxita são poupadas da extração. Além de estimular a consciência ecológica incentivando a reciclagem de outros materiais, o reprocessamento garante uma elevação da capacidade dos aterros sanitários (ABAL, 2007).

### **3.3 Escória de Alumínio**

De acordo com Takahashi (2006), o resíduo gerado durante o processo de reciclagem do alumínio, pode ser dividido em dois grupos principais: fusão de sucatas e tratamento de drosses (conhecido como borra ou escória). A borra é resultante do processo de fundição do alumínio, ela é formada na superfície do metal líquido devido à reatividade do material no estado fundido com o oxigênio, a partir desta oxidação é gerada uma camada superficial de óxido, esta camada separa o metal líquido da atmosfera oxidante. A remoção superior dessa camada superior acarreta o arraste de alumínio juntamente com o óxido, gerando uma fase heterogênea chamada dross. A metalurgia secundária visa recuperar o metal contido nas sucatas e borras.

O mesmo autor, Takahashi (2006), afirma que a fundição de sucatas é realizada por meio de fornos rotativos e fornos de cadinho e, que nessas operações, são utilizados fluxos protetores e eliminadores de inclusões. A classificação da escória é baseada na presença ou não desses fluxos, podendo ser dross branca e a dross preta. Podem conter 15 % a 70 % de alumínio na forma metálica. A dross escura é resultante da metalurgia secundária na qual se utilizam fluxos salinos e, a dross branca é proveniente da metalurgia primária.

O material utilizado nesta pesquisa, a escória de alumínio é proveniente da reciclagem de alumínio, mais especificamente de latas de embalagens de bebidas e sucatas de perfis utilizados na construção civil.

A norma NBR 10.004/2004, classifica os resíduos sólidos quanto às suas características físicas, químicas e origem, esta classificação se faz necessária para indicar a forma mais adequada para manipulação, armazenagem e destinação dos diferentes resíduos sólidos. Esta

norma também estabelece os níveis de periculosidade e as alternativas mais adequadas para destinação dos mesmos, podendo enquadrar-se em três classes:

- classe I: perigosos – apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especial, pois são classificados como: inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos;

- classe II: não-inertes – não apresentam periculosidade, porém podem ter características como: combustibilidade, biodegradabilidade, ou solubilidade em água. Esta classe é constituída basicamente pelos lixos domésticos;

- classe II B: inertes – estes resíduos não se degradam ou não se decompõe quando dispostos no solo. Quando estes resíduos são depositados na água, sua potabilidade não é comprometida.

Segundo Diniz, a escória de alumínio é um resíduo industrial de classe I, pode gerar efeitos no organismo humano, que vão desde anemia por deficiência de ferro à intoxicação crônica.

Pela ABAL (2007), a atividade de reciclagem do alumínio gera grandes quantidades de escória. Estimou-se que no ano de 2005, o Brasil produziu cerca de 50.000 toneladas de escória.

Fatores podem influenciar na geração de escória, a temperatura ideal para fusão de alumínio é entre 700 a 750 °C, temperaturas superiores elevam a espessura na camada de óxido formada. O combustível utilizado para alimentar o forno influencia na geração de mais ou menos óxidos formados. E outro fator preponderante na geração de escória é a composição química do material que está sendo fundido. A presença de magnésio (Mg) na liga de alumínio facilita a geração de escória, pois o magnésio é sensível a oxidação. Ou seja, quanto maior o percentual de magnésio presente na liga, maior será a formação de camada de óxidos, favorecendo a geração da borra (DINIZ, 2007).

### **3.4 Areia de fundição**

Um dos maiores problemas que a indústria de fundição enfrenta atualmente é a destinação à areia de moldagem e macharia. A maior parte dessa areia é reciclada diretamente no processo, mas a diferença torna-se um excedente (de cerca de dois milhões de toneladas por ano) contaminado com resinas fenólicas que tem sido descartado (MARQUES; MACHADO; DOMINGUINI; BETIOLI, 2012).

Isso causa enorme impacto ambiental, pois esse material é não inerte e contaminante em sua grande maioria, além de contribuir para a proliferação dos aterros industriais; causa também

impacto econômico nas indústrias, pois o descarte em aterros cada vez mais distantes onera crescentemente a produção de peças fundidas (SCHEUNEMANN, 2005).

Na tentativa de solucionar esse problema, estudos são feitos buscando uma regeneração cada vez mais eficiente da areia, e outras aplicações para a mesma. Como se trata de um resíduo abundantemente criado nas indústrias de fundição e que necessita de uma disposição final adequada, essas outras aplicações podem trazer considerável contribuição econômica e ambiental (PIOVESAN, A Z; GEMELLI, C; SILVA, M L; MASUERO, A B, 2008).

A sigla ADF será empregada aqui para substituir o termo “areia descartada de fundição”.

Esse tema já vem sendo estudado por várias frentes, e o principal emprego que se tenta dar à ADF que não pode mais voltar para as linhas de produção é na fabricação de concreto (MARQUES, 2012), blocos e bloquetes utilizados em construções civis (SCHEUNEMANN, 2005), blocos de concreto para pavimentação (PIOVESAN, 2008), etc. Estes estudos mostraram bons resultados e grandes possibilidades de aplicações.

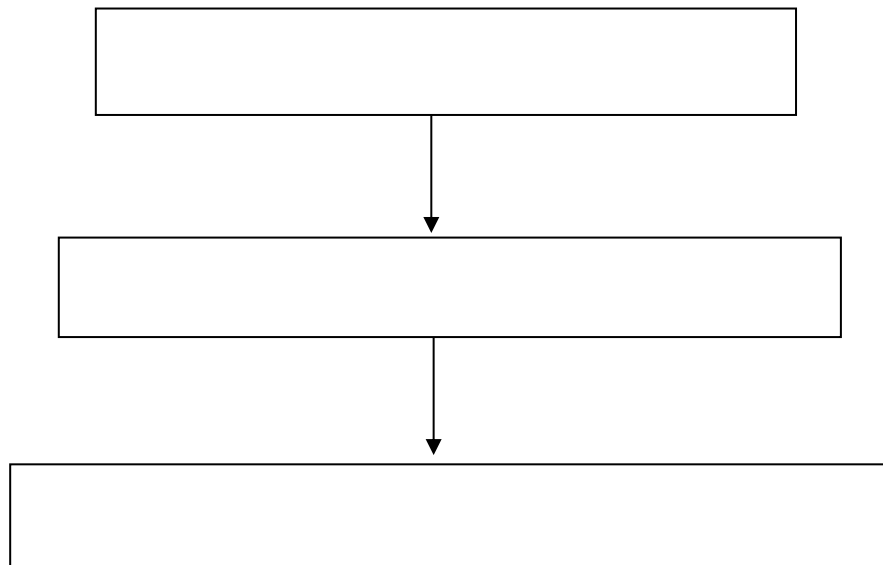
A pesquisa com os blocos e bloquetes obteve resultados de resistência à compressão dos corpos de prova dentro da faixa de aceitação, além de resultados nas análises químicas que indicaram nível de fenol presente nas amostras de areia e argamassa inferior aos limites estabelecidos pela CETESB. Ressaltou-se apenas a necessidade de quantificar outros tipos de contaminações, visando comprovar que todos os limites estabelecidos pelo órgão regulamentador estão sendo respeitados (SCHEUNEMANN, 2005).

Neste presente estudo, foi observado o comportamento da areia de fundição quando submetida a temperaturas elevadas e sobre alta pressão.

#### 4. METODOLOGIA

Nesta seção, serão descritos os materiais utilizados neste trabalho, para a confecção dos corpos de prova e também os métodos aplicados para sua caracterização físico-química ou mecânica. A figura 3 apresenta um fluxograma descritivo da metodologia aplicada neste estudo.

**Figura 3 – Fluxograma explicativo da metodologia aplicada.**



Fonte: Próprio autor, 2017.

A parte experimental deste trabalho partiu da caracterização da matéria prima (escória de alumínio, pó de alumínio e a areia de fundição), e na sequência iniciou-se as misturas das massas cimentícias, passando para a moldagem, cura dos corpos de prova e, por fim, os corpos de provas foram submetidos a ensaios de compressão e obtenção das medidas de densidade.

## **4.1 MATERIAIS**

### **4.1.1 Escória e Pó de alumínio**

A escória de alumínio utilizada foi proveniente do Laboratório de Fundição do CEFET MG, o material fundido precursor ao resíduo é composto de 20 % de latas de alumínio e 80% de sucatas de perfil e esquadrias da construção civil. O forno utilizado na fundição foi o de cadinho cerâmico alimentado por gás butano. A escória de alumínio atua como agente incorporador de ar, responsável pela formação de bolhas no BCCA, tornando-o assim mais leve. O pó de alumínio puro foi obtido a partir da moagem de cavacos dos processos de corte e usinagem.

### **4.1.2 Cal Virgem, Cal hidratada e Gesso**

A Cal virgem possui função de aglomerante no concreto, causa redução da retração e diminui a formação de trincas. Além disso, utilizado juntamente com a sílica, possui uma ação ligante. Utilizou-se a cal hidratada aditivada CH-I. Foi utilizada cal hidratada e gesso comercial.

### **4.1.3 Areia Quartzosa e Resíduo da Areia de Fundição**

A areia utilizada é a fina, lavada e proveniente de rio com grão máximo de 2mm. O resíduo da areia de fundição é proveniente da indústria automobilística na região Metropolitana de Belo Horizonte, cedida pela empresa Aterra Ambiental Ltda, nenhum dado sobre o resíduo foi fornecido. A areia reage com ao pó de alumínio e outros componentes dando origem a tobermorita, quando levada à autoclave, o que garante a resistência do BCCA.

### **4.1.4 Cimento Portland**

O cimento Portland utilizado é o CPV-ARI RS. O Cimento é uma substância cinza, pulverulenta, que gera a resistência mecânica necessária ao corte agindo como aglomerante no processo inicial. O cimento CPV-ARI RS, confere um menor tempo de cura em estufa, e é adequado pois não contém adições que podem influenciar os resultados deste trabalho.

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 Moagem

Com objetivo de criar o pó de alumínio a uma granulometria da ordem de dezenas de micrômetros, a moagem mecânica é um método muito utilizado. Neste trabalho a razão bola-pó foi de 6:1.

A figura 4 ilustra o processo de moagem no jarro cerâmico.

**FIGURA 4 - Processo de moagem da escória de alumínio.**



Fonte: Próprio autor, 2017.

A moagem ilustrada acima, foi realizada no laboratório de cerâmicas do CEFET-MG, o material ficou em rotação em moinho de bolas cerâmicas no intervalo de 4 horas em uma rotação de 60 Hertz.

### 4.2.2 Confeção dos copos de prova

O concreto celular autoclavado produzido industrialmente não possui formulação disponível. Encontra-se na literatura alguns trabalhos que descrevem os traços que podem ser utilizados em laboratório, como Laukaitis (2006) e Isu (1995), nos quais baseou-se este trabalho para a formulação da composição das amostras realizadas.

O principal fator a ser avaliado é o percentual de alumínio, pois em teoria o alumínio tem a função de reagir com a pasta cimentícia para a liberação de gás hidrogênio ( $H_2$ ), o qual fica confinado no material, na forma de bolhas gasosas, resultando, após a cura do cimento, em

estrutura celular. O esperado é que quanto maior a quantidade de alumínio, menor sua densidade, maior será sua capacidade de isolamento térmico e menor será sua resistência mecânica.

Inicialmente foram produzidas 6 amostras com diferentes formulações e processos de moldagem conforme descrito na Tabela 2.

**Tabela 2 -Descrição das proporções e componentes utilizados para confecção dos corpos de prova.**

<b>Amostra</b>	<b>Hidróxido de cálcio</b>	<b>Al de cavaco</b>	<b>Escória de Al</b>	<b>Areia</b>	<b>Tempo de Pré-cura</b>
1	0,25 %		0,25 %	Comum	24 horas
2	0,25 %		0,25 %	ADF	24 horas
3	0,25 %		0,25 %	Comum	4 horas
4	0,1 %		0,1 %	Comum	24 horas
5	0,25 %	0,25%		Comum	24 horas
6	0,1 %	0,1 %		Comum	24 horas

Fonte: Adaptado de Isu (1995).

O traço utilizado de cal, cimento e sílica foi na proporção de: 1:1:3. O fator água/cimento foi mantido em 0,5. O termo cal é formado por compostos de mistura calcítica (cal virgem 70%, cal hidratada 20% e gesso 10%). O percentual de alumínio variou entre 0,1 % e 0,25 %. Os traços variaram pela fonte do aditivo alumínio (escória ou pó de alumínio), do percentual de alumínio empregado (0,1 e 0,25 % da massa), e dos tipos de areia, sendo a areia comum e resíduo da areia de fundição. O hidróxido de cálcio, foi utilizado nas mesmas proporções que o alumínio.

Para a mistura foi utilizado um misturador da Marca Fisatom. Iniciou-se a preparação da pasta com a mistura de areia quartzosa fina com água, e adicionando na sequência, cimento, cal hidratada, gesso, cal virgem, e os aditivos, escória ou pó de alumínio e hidróxido de cálcio nos últimos minutos da mistura.

A figura 5 ilustra a mistura da massa cimentícia.



**FIGURA 5 – Etapa de mistura da pasta cimentícia.**



(a) Misturador Fisatom.  
Fonte: Próprio autor, 2017.



(b) Imagem ilustrativa da mistura.

A mistura ilustrada na imagem acima foi realizada no laboratório de engenharia civil do CEFET MG.

Após a mistura a pasta foi adicionada em moldes com dimensões de 5 cm x 5 cm x 5 cm. A figura 6 mostra os moldes utilizados neste trabalho.

**FIGURA 6 – Pasta cimentícia em durante o processo de pré-cura em moldes.**



(a) Massa cimentícia antes da expansão.  
Fonte: Próprio autor, 2017.



(b) Massa cimentícia após a expansão.

A massa cimentícia inicia o processo de expansão em aproximadamente dois minutos após adicionar o alumínio, e termina em cerca de quarenta minutos, a uma temperatura de 45

°C. Na figura 6 (b) é possível observar o comportamento da massa cimentícia após a sua expansão.

#### 4.2.3 Pré-Cura e Cura em autoclave

A pré-cura foi realizada em temperatura de 45° C em tempos de 4 e 24 horas. Após este tempo os corpos de prova foram colocados na autoclave para a finalização da cura. A autoclavagem para todas as amostras deste trabalho foram realizadas na temperatura de 190° C e sobre pressão de 1,2 MPa em meio úmido durante 12 horas.

A figura 7 apresenta a autoclave utilizada neste estudo e, a forma como os corpos de prova foram acondicionados.

**FIGURA 7 - Autoclave empregada para acelerar a cura.**



(a) Autoclave dentro da estufa.



(b) Corpos de prova acondicionados na autoclave.

Fonte: Próprio autor, 2017.

Observar -se na figura 7 (a) autoclave preparada para iniciar o processo e 7 (b) corpos de prova acondicionados dentro da autoclave.

#### 4.2.4 Ensaio mecânico de compressão

Os ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos foram realizados no Laboratório de Ensaio mecânicos do departamento de Engenharia Civil do CEFET MG. Os corpos-de-prova receberam um carregamento até a ruptura, sendo que a velocidade de compressão foi de 0,05 MPa/s. A figura 8 representa o processo de obtenção da resistência mecânica sob o esforço de compressão.

**FIGURA 8 – Corpo de prova durante ensaios de compressão.**



(a) Corpo de prova durante a ruptura  
Fonte: Próprio autor, 2017..



(b) Prensa universal utilizada.

A imagem acima demonstra o ensaio de resistência mecânica realizado no laboratório de engenharia civil do CEFET MG.

#### 4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O equipamento da Shimadzu, modelo SSX550 foi utilizado para a realização dos ensaios. O MEV possui acoplado um analisador de energia dispersiva de raios X (EDS).

A preparação de amostras para observação em microscópio eletrônico de varredura consistiu em dispersar os materiais secos sobre fitas dupla face, em seguida as amostras foram recobertas com uma fina película condutora de ouro. Utilizou-se uma tensão de carregamento de 15KV e 30 KV.

#### **4.2.6 Fluorescência de raios X (FRX)**

Para o ensaio de espectrometria de fluorescência de raios X foi utilizado o equipamento EDX – 900 Shimadzu. Para a análise utilizou-se o material em pó, as condições operacionais selecionadas foram: colimador - 10 mm, atmosfera - vácuo, tensão do tubo - 50 kV, corrente no tubo - 100 $\mu$ A, tempo de irradiação - 300 s, modo de aquisição – método Semi Quantitativo.

#### **4.2.7 Distribuição granulométrica por espalhamento de um feixe de laser**

No ensaio de distribuição granulométrica por espalhamento de um feixe de laser foi utilizado o equipamento granulômetro modelo 1064, Cilas, o qual possui uma ampla faixa de medida de 0,04 $\mu$ m a 2500 $\mu$ m. Para a análise granulométrica a amostra do pó de alumínio e escória foi dispersa em água destilada sem adição de defloculante, com 10 minutos de dispersão sob ultrassom e valor de obscuração de 11.

#### **4.2.8 Determinação da densidade de massa aparente seca**

Segundo a norma NBR 13440:1995 – Blocos de concreto celular autoclavado – Verificação da densidade de massa aparente seca – método de ensaio, a densidade de massa aparente seca de um bloco é determinada pela média aritmética das densidades de massas aparentes secas dos corpos de prova.

## 5 RESULTADOS

Serão inicialmente mostrados os resultados obtidos relacionados com a caracterização dos materiais de partida. Em seguida serão mostrados os resultados relativos à incorporação da escória de alumínio na massa de cimento.

### 5.1 Escória e cavaco de alumínio

A tabela 3 apresenta o resultado obtido por FRX da escória e do pó de cavaco.

**Tabela 3 – Resultado FRX da escória e cavaco.**

Fonte de Al	% Al	% Si	% Ca	% Fe
Escória	68	19	10	6
Cavaco	93	2	1	1

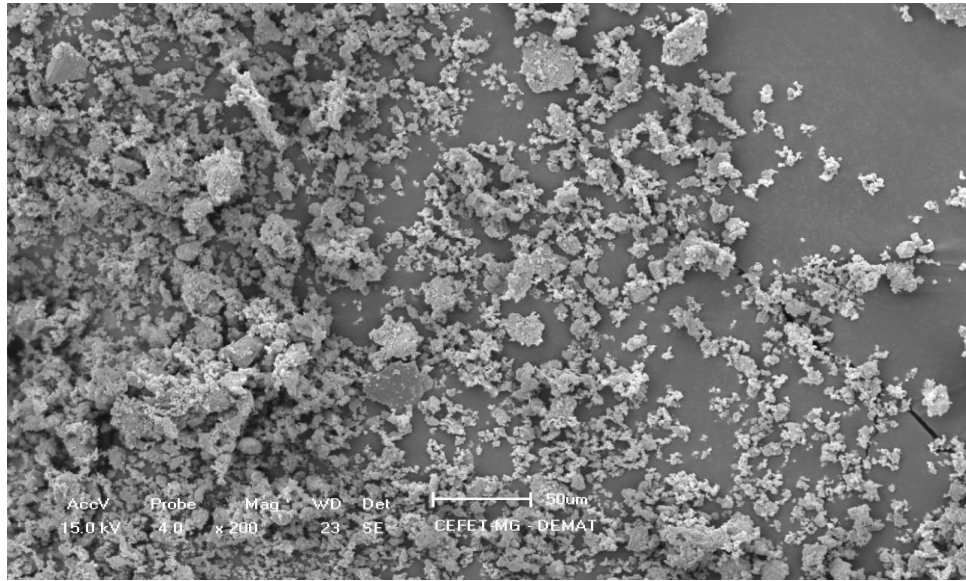
Fonte: Próprio autor, 2017

Os resultados de FRX mostram que a escória de alumínio estudada, possui teor de alumínio superior a 68 %, 19 % de silício, 10 % de cálcio e 6 % de ferro. Segundo Takahashi (2006), o ferro e o silício são elementos que favorecem a formação de gases e por isso auxiliam na expansão do concreto celular autoclavado, a mesma autora afirma que a geração de gases do ferro é devido a redução do óxido de ferro.

O pó de alumínio obteve um percentual de 93 % de alumínio, 2 % de silício, 1 % de cálcio e 1 % de ferro.

Abaixo, na figura 9, podemos observar a morfologia das partículas da escória de alumínio obtidas por MEV.

**Figura 9 - Escória de alumínio.**

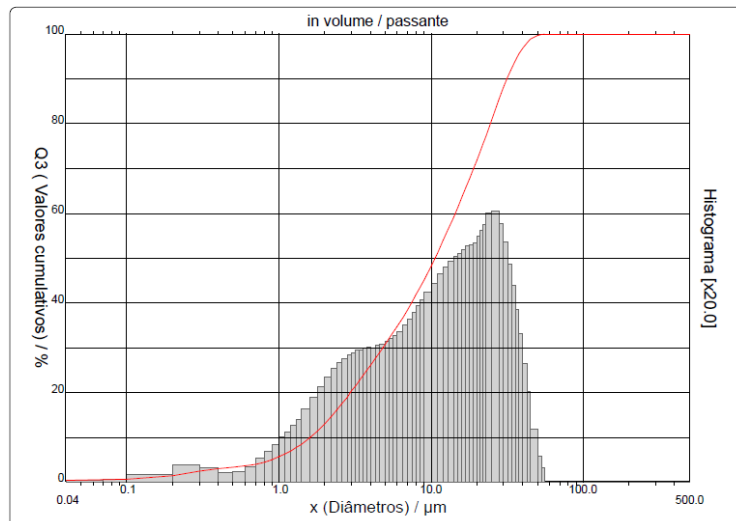


Fonte: Próprio autor, 2017.

É perceptível que o resíduo apresenta-se em dimensões submicrométricas, e regiões na forma aglomerada. Pode também ser visto que há alguns aglomerados de formatos irregulares.

O diâmetro médio dos grãos, e a sua a distribuição granulométrica é observada na figura 10.

**Figura 10 – Curva de distribuição granulométrica da escória de alumínio.**



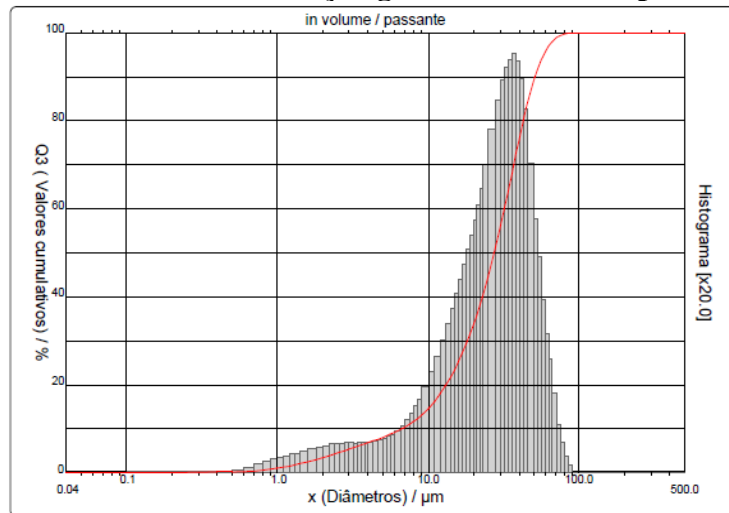
Fonte: Próprio autor, 2017.

O diâmetro médio obtido das partículas da escória de alumínio foi de 13,2 µm.

A figura 11 representa a curva de distribuição granulométrica do pó de alumínio proveniente da moagem de cavacos de alumínio.



**Figura 11 – Curva de distribuição granulométrica do pó de alumínio.**

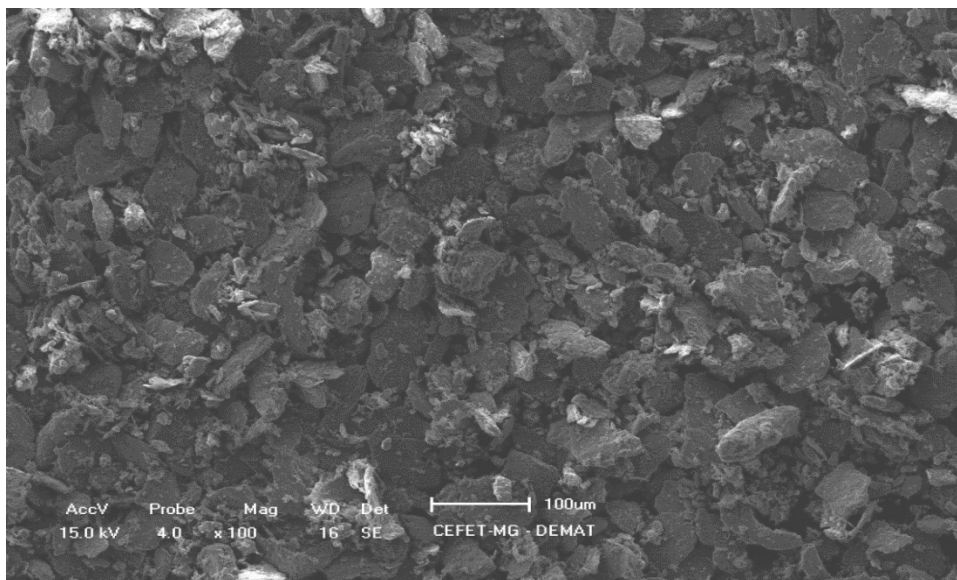


Fonte: Próprio autor, 2017.

A distribuição granulométrica do pó de alumínio é descrita pela imagem acima, o diâmetro médio obtido pela técnica de dispersão à laser das partículas do pó de alumínio foi de 28,45  $\mu\text{m}$ .

A imagem do pó de alumínio foi obtida pela técnica de microscopia eletrônica de varredura representada na figura 12 abaixo.

**Figura 12 – MEV do pó de cavaco.**



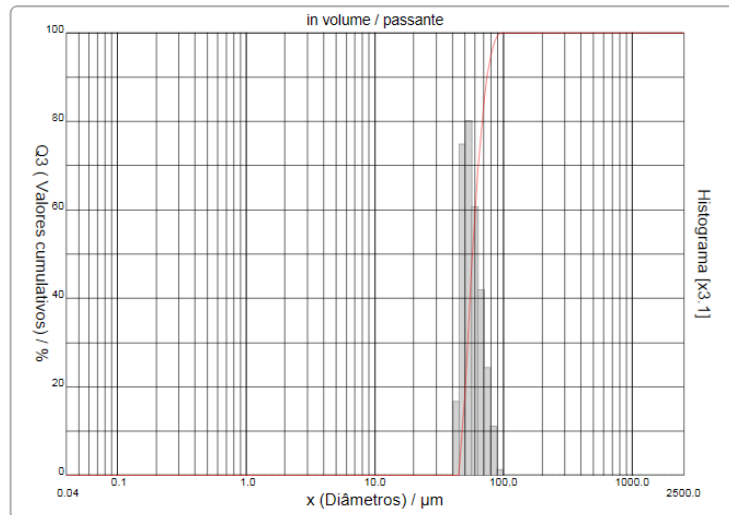
Fonte: Próprio autor, 2017.

Microscopia do pó de alumínio antes de passar pelo peneiramento com malha de abertura de 45  $\mu\text{m}$ , pode-se observar o comportamento achatado dos grãos de alumínio causado pelo processo de moagem.

## 5.2 Areia comum e areia de resíduo de fundição

A curva de distribuição granulométrica obtida para a areia de fundição é indicada pela figura 13 abaixo.

**Figura 13 – Curva de distribuição granulométrica da areia de fundição.**

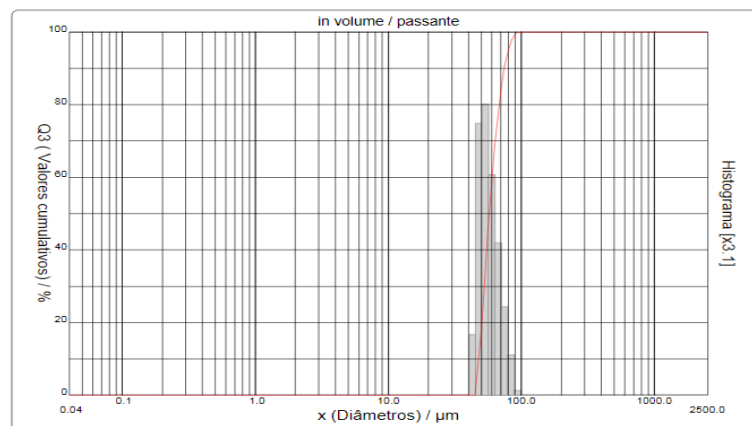


Fonte: Próprio autor, 2017.

A areia de fundição apresentou diâmetro médio de 59,66  $\mu\text{m}$ , apresentando 90% de sua composição na faixa de 74,79  $\mu\text{m}$ .

A curva de distribuição granulométrica da areia comum obtida pelo equipamento Cilas é apresentada pela figura 14 abaixo.

**Figura 14 - Curva de distribuição granulométrica da areia comum.**



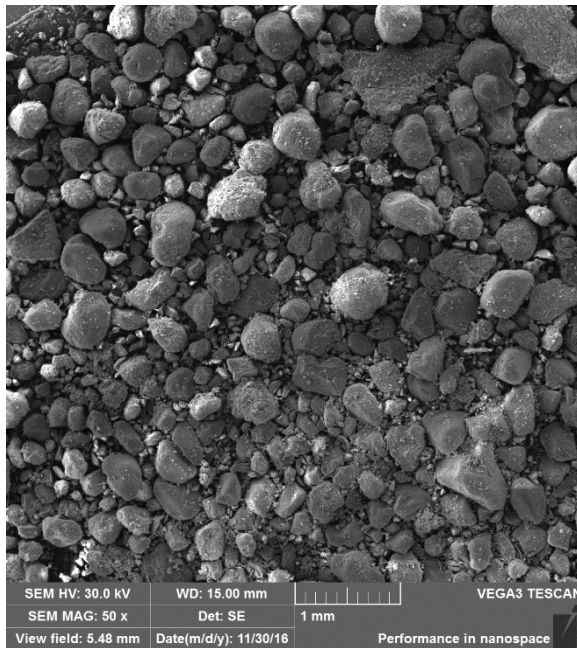
Fonte: Próprio autor, 2017.

A areia fina lavada de rio apresentou diâmetro médio de 58,95  $\mu\text{m}$ , apresentando 90% de sua composição na faixa de 73,30  $\mu\text{m}$ .

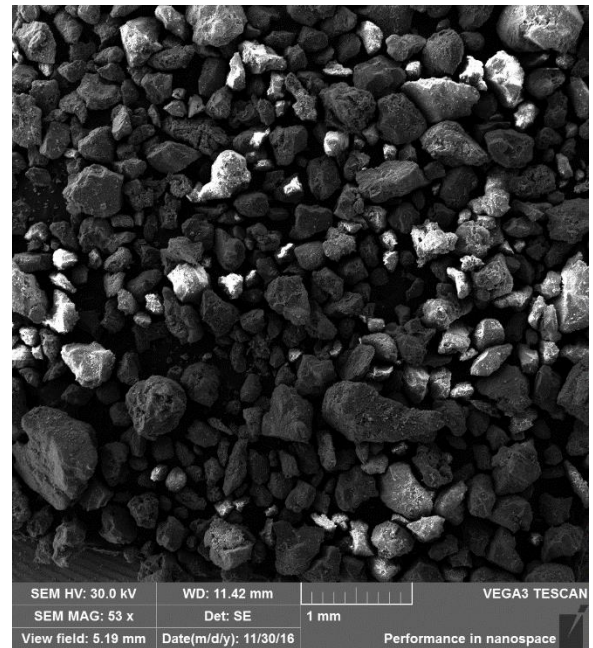
A morfologia dos grãos da areia comum e da areia de fundição foram analisadas por MEV como demonstrado na figura 15 abaixo.



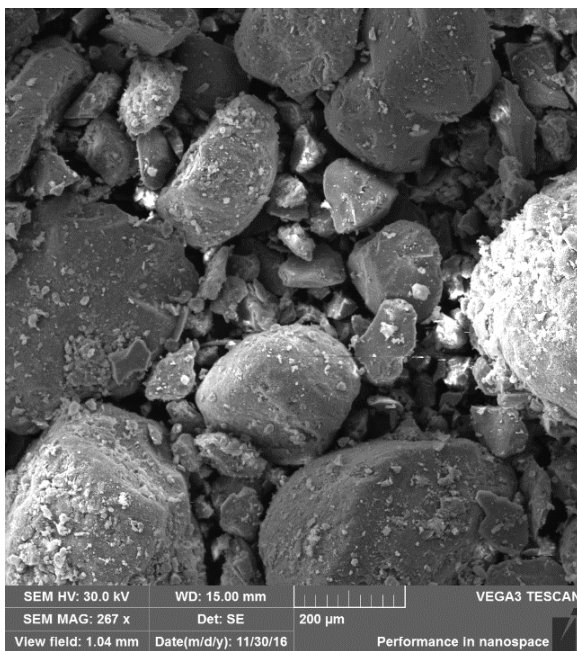
**Figura 15 – MEV da areia de fundição (a) e (c) e, areia comum em (b) e (d).**



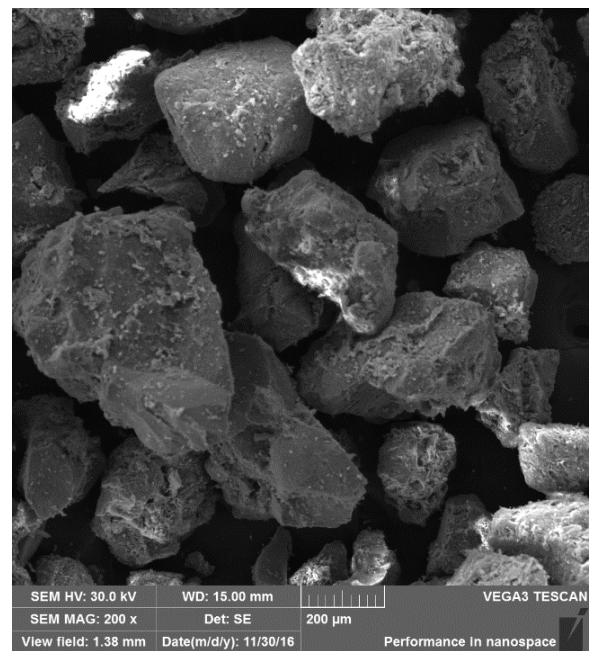
(a) ADF 50x.



(b) Areia comum 50x.



(c) ADF 200x.



(d) Areia comum 200x.

Fonte: Próprio autor, 2017.

A partir da análise por MEV foi observado que a areia de fundição apresentou razão de aspecto próxima de um, característica de esferoide, enquanto que a areia fina apresentou uma maior razão de aspecto.

A tabela 4 apresentar os resultados de FRX da ADF.

**Tabela 4 – Resultado de FRX da ADF**

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
Silício	69 %
Alumínio	20 %
Ferro	5 %
Enxofre	1 %

Fonte: Próprio auto, 2017.

Os resultados da análise química mostraram o predomínio de óxido de silício em 69 %, e 20 % alumínio, supostamente provenientes de vestígios do processo de fundição de alumínio e a presença de argilas (aluminossilicatos), os demais elementos traços são provenientes de aditivos de cura.

### **5.3 Ensaio de resistência à compressão e densidade aparente a seco**

Para cada amostra foram ensaiados 6 corpos de prova, e o resultado demonstrado é a média dos valores coletados.

Para a determinação da resistência mecânica pelo esforço de compressão foram realizados seis ensaios com descritos na Tabela 5.

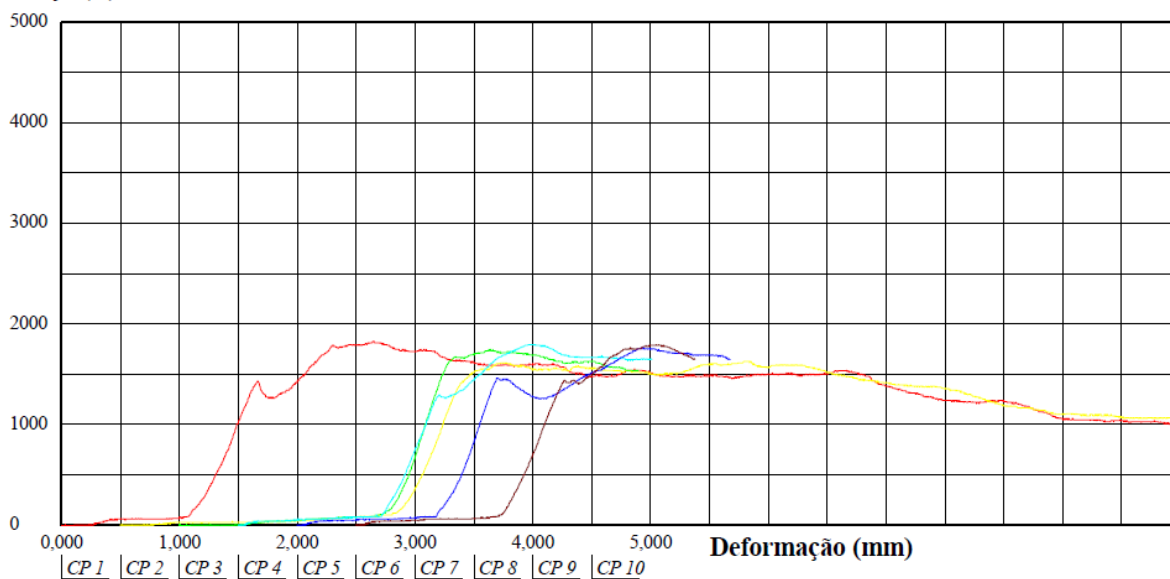
**Tabela 5 – Resultados da amostra 1em força máxima.**

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Força Máxima (N)</b>
CP 1	1830
CP2	1628
CP 3	1749
CP 4	1799
CP 5	1769
CP 6	1799

Fonte: Próprio autor, 2017.

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão e a força mínima foi obtida pelo corpo de prova 2, 1628 N e, a força máxima foi obtida pelo corpo de prova 1, 1830 N. O comportamento da curva força x deformação está indicado pela Figura 16 abaixo.

**Figura 16 – Curva força x deformação obtida em ensaio de compressão da Amostra 1.**



Fonte: Próprio autor, 2017.

Podemos observar que as amostras apresentaram rompimento após a deformação de 3 mm.

Para obter o resultado da resistência à compressão dos corpos de prova da amostra 3 foram confeccionados seis corpos de prova, a tabela 6 apresenta os resultados de força máxima de ruptura.

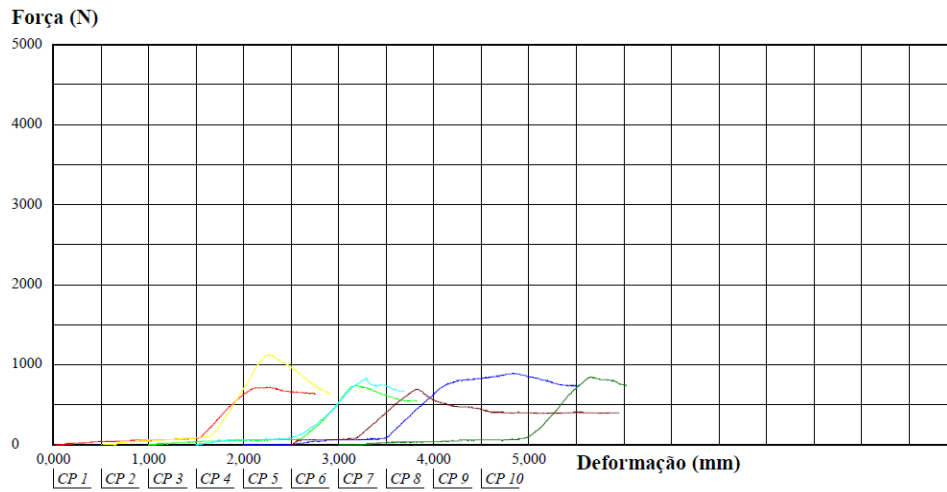
**Tabela 6 – Resultados do ensaio de compressão da Amostra 3.**

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Força Máxima (N)</b>
CP 1	728
CP2	1132
CP 3	748
CP 4	839
CP 5	900
CP 6	698
CP 7	849

Fonte Próprio autor, 2017.

O corpo de prova 2 suportou a mais alta força de ruptura, o corpo de prova 1 apresentou a menor força máxima de ruptura. A figura 17 mostra o comportamento dos corpos de prova durante o ensaio de compressão.

**Figura 17 – Curva de força de ruptura x deformação dos corpos de prova da amostra 3.**



Fonte: Próprio autor, 2017.

Como observado na curva força máxima de ruptura x deformação, os corpos de prova da amostra 3 romperam próximo a deformação de 2 mm.

Para as demais amostras foram confeccionados dois corpos de prova.

A tabela 7 mostra os resultados de compressão das amostras 2, 4, 5 e 6.

**Tabela 7 – Resultado do ensaio de compressão das amostras 2, 4, 5 e 6.**

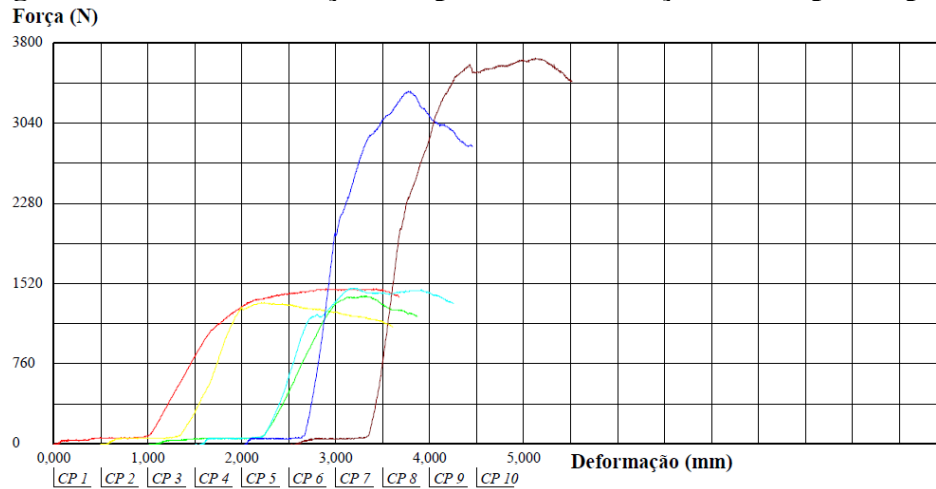
<b>Amostra</b>	<b>Corpo de Prova</b>	<b>Força Máxima (N)</b>
2	CP 1	910
	CP 2	960
4	CP 1	1476
	CP2	1344
5	CP 1	1405
	CP 2	1476
6	CP 1	3346
	CP 2	3659

Fonte: Próprio autor, 2017.

Os resultados dos ensaios de compressão das amostras 3, 4, 5 e 6 apresentaram uma dispersão inferior a 10 %. A amostra 3, que é composta pela areia de fundição apresentou menor resistência mecânica à compressão e, a amostra 6 apresentou a maior força máxima de ruptura.

Na figura 18 observamos o comportamento dos corpos de prova quando submetidos a um esforço de compressão.

**Figura 18 – Curva de força de ruptura x deformação dos corpos de prova.**



Observamos a ruptura dos corpos de prova a partir dos 3 mm de deformação.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de compressão foram tratados estatisticamente, foi calculado o desvio padrão amostral dos corpos de prova de cada amostra e apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8: Resultados do ensaio de compressão e da densidade das amostras.**

Amostra	Resistência compressão (MPa)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de areia	Tempo de pré-cura (horas)	% Al
1	0,90 ± 0,04	955,60	fina	24	0,25 escória
2	0,05 ± 0,01	476,88	ADF	24	0,25 escória
3	0,41 ± 0,06	720,97	fina	4	0,25 escória
4	0,56 ± 0,03	857,48	fina	24	0,1 cavaco
5	0,57 ± 0,02	864,32	fina	24	0,25 cavaco
6	1,40 ± 0,08	1077,80	fina	24	0,1 escória

Fonte: Próprio autor, 2017.

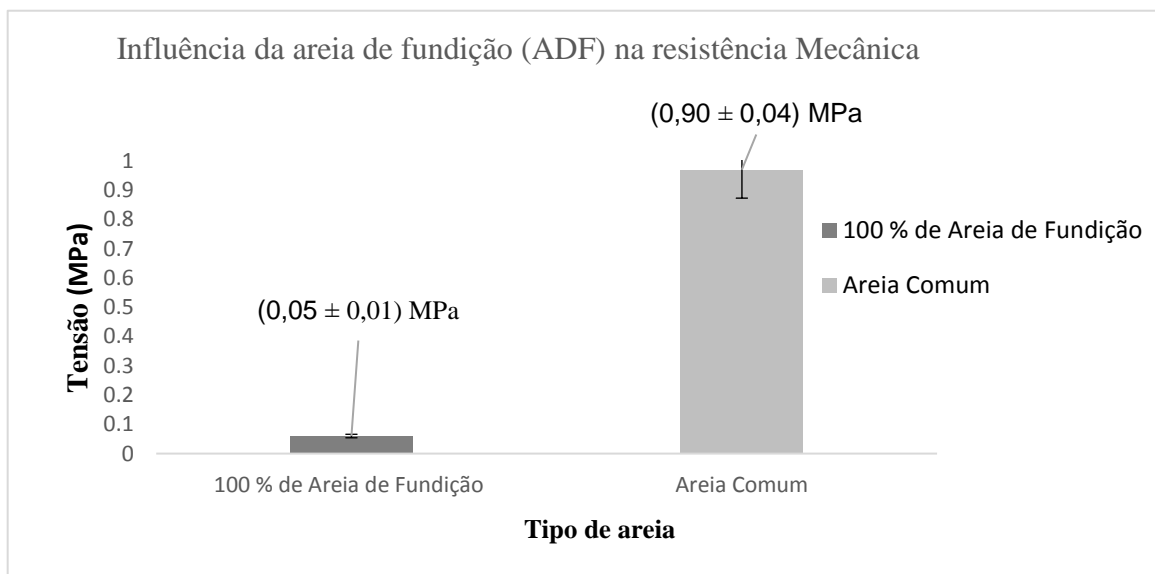
Foi constatado que a amostra que utilizou o percentual de 0,1 % de massa de alumínio apresentou maior resistência à compressão, no entanto a sua densidade foi superior em relação às outras amostras. A amostra 2, que continha 100 % de areia de fundição em sua composição, foi a que obteve a menor resistência à compressão.

Para fins de comparação, produzimos as amostras 1 e 2 com as mesmas condições de processamento e percentuais de composição, alteramos somente a areia utilizada, para a amostra

1 foi utilizada a areia comum, enquanto que para a areia 2 utilizamos areia de resíduo de fundição.

A influência da areia de fundição na resistência mecânica do concreto celular autoclavado está demonstrada na figura 19.

**Figura 19 – Resultado de resistência a compressão das amostras 1 e 2.**



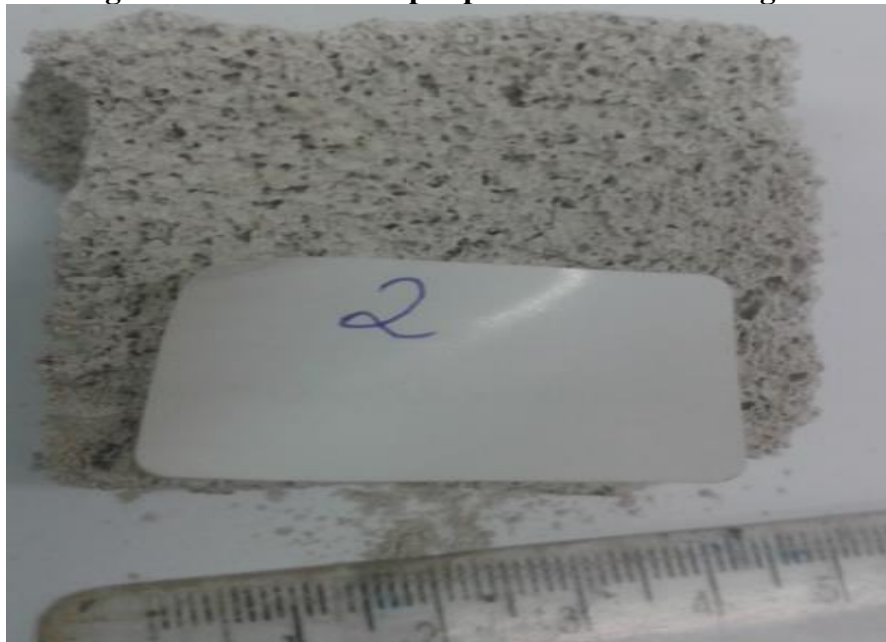
Fonte: Próprio autor, 2017.

O alto teor de alumínio presente na composição da ADF, pode ter relação com a baixa resistência mecânica observada, a indícios que o alumínio presente tenha contribuído para maior formação de gases.

Do ensaio de resistência à compressão observou-se que o resultado obtido da amostra 2 que utilizou a ADF foi no mínimo 10 vezes inferior aos obtidos das amostras que utilizaram a areia comum, como mostrado na figura 19.

A figura 20 abaixo, apresenta a imagem referente a amostra incorporada por ADF.

**Figura 20 – Amostra 2 após processo de autoclavagem.**

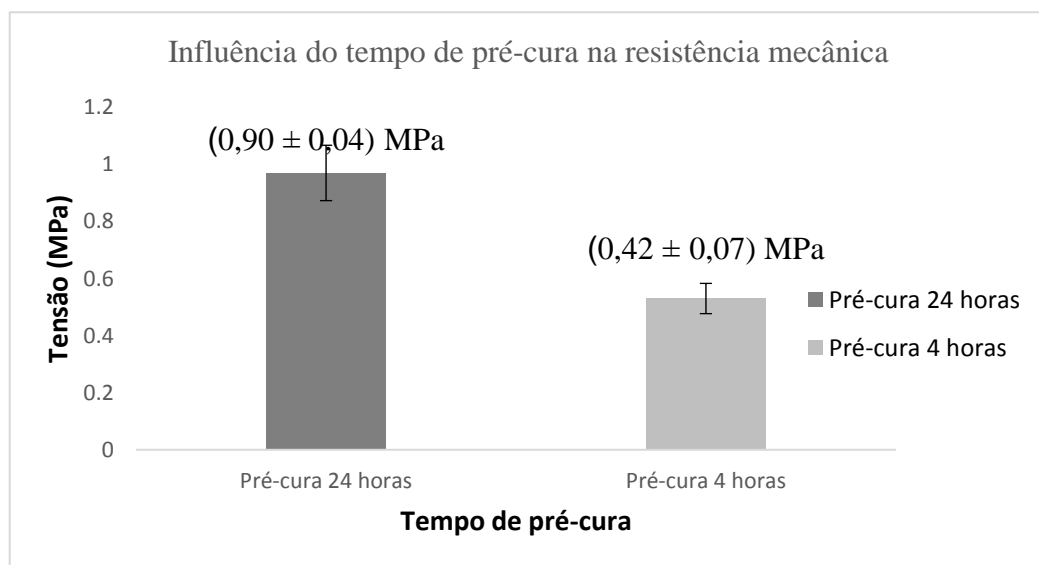


Fonte: Próprio autor, 2017.

Na figura 20, podemos observar que a amostra 2 apresentou uma coloração amarronzada após o processo de autoclavagem à 190 °C, e uma maior densidade de poros quando comparada a outras amostras.

Um fator determinante na preparação dos corpos de prova é a pré-cura, o que corresponde ao momento que antecede a autoclavagem, neste estudo estudamos dois tempos de pré-cura, 4 e 24 horas, a influência do tempo de cura está ilustrada na figura 21.

**Figura 21 – Resultado da influência do tempo de pré-cura do concreto celular autoclavado, amostras 1 e 3 respectivamente.**



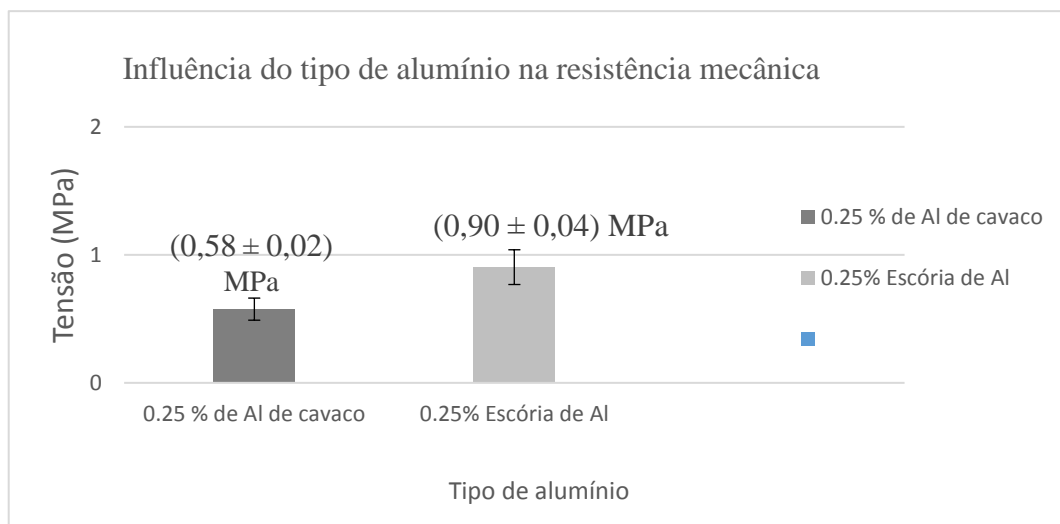
Fonte: Próprio autor, 2017



Como foi possível observar, as resistências mecânicas adquiridas pelos corpos de prova sofreram uma grande influência no tempo do processo de pré-cura, a resistência duplicou quando utilizamos o tempo de pré-cura de 24 horas.

Outro fator determinante neste estudo foi a utilização de duas fontes de aditivos expansores da argamassa, o pó de alumínio proveniente da moagem de cavacos de usinagem e o pó de alumínio de escória de alumínio moída. Na figura 22 podemos observar a influência da fonte de alumínio na resistência à compressão.

**Figura 22 – Influência do tipo de alumínio na resistência mecânica, amostras 5 e 1 respectivamente.**



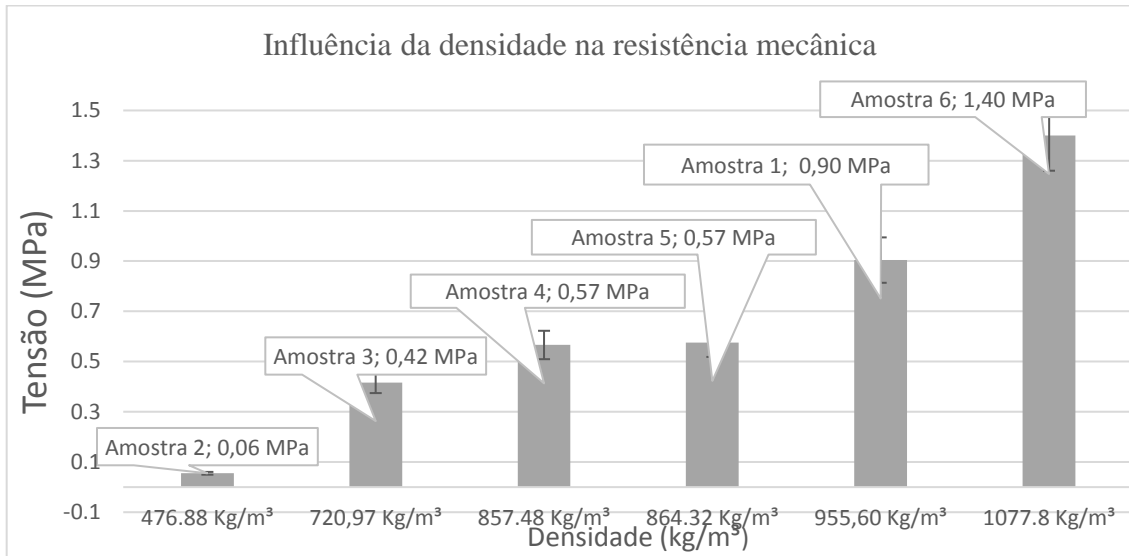
Fonte: Próprio autor, 2017.

Comparando-se o uso do pó de alumínio com a escória de alumínio, foi observado que a amostra que utilizou o cavaco expandiu mais, com isso a sua resistência mecânica foi 30 % inferior quando comparado com a amostra que utilizou a escória de alumínio que possui menor quantidade de alumínio.

A densidade é um fator de muita influência na resistência mecânica dos concretos celulares, a figura 23 apresenta uma relação da densidade das amostras com a resistência mecânica.



**Figura 23 – Influência da densidade na resistência mecânica do concreto celular autoclavado.**

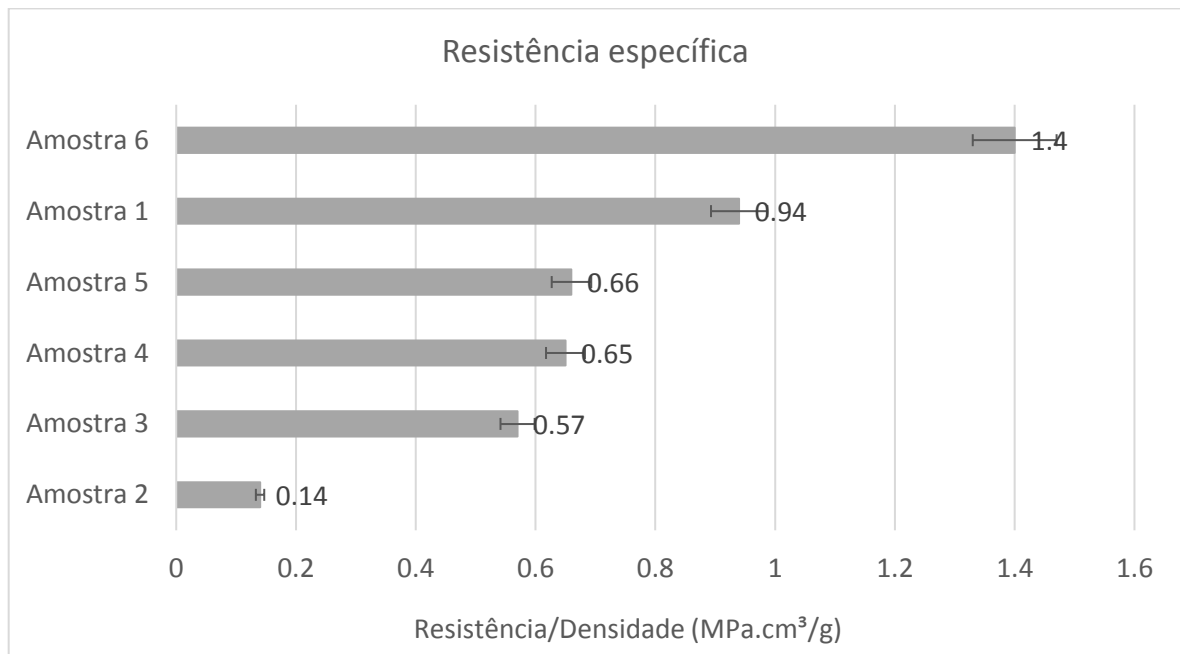


Fonte: Próprio autor, 2017.

Na figura 23, observa-se que a amostra 6, que corresponde ao traço que utilizou alumínio no percentual da massa em 0,1 % de alumínio, foi a que obteve maior resistência mecânica e maior densidade. Por outro lado, a que obteve menor densidade e menor resistência mecânica foi a amostra 2, produzida com 100 % de areia de fundição.

A figura 24 mostra a resistência específica das amostras analisadas.

**Figura 24 – Resistência específica das amostras.**



Fonte: Próprio autor, 2017.

A resistência específica da amostra 6 (com escória de alumínio) foi superior as demais, portanto a utilização de um percentual de alumínio aproximadamente a 0,1% em massa é vista como uma alternativa a produção de BCCA (Figura 24).

## 6. CONCLUSÃO

Através das técnicas de fundição e moagem foi possível o reaproveitamento (reciclagem) do alumínio, bem como o processamento dos cavacos de usinagem de alumínio; Com o uso do MEV foi observado que as razões de aspecto das partículas são morfológicamente diferentes, a medição da distribuição granulométrica por difração de laser mostrou que a escória e o pó de Al possuem tamanhos médios relativamente distintos, 13,20mm e 28,45mm, respectivamente. Já a ADF e areia fina possui o mesmo tamanho médio.

Os resultados da FRX mostraram que as análises elementares das matérias primas de partida mostrando que o teor de Al na escoria e no pó de Al são bem distintos 68 % e 93 %, respectivamente. As duas areias possuem composição química relativamente diferentes: a ADF tem 69 %Si e 20 %Al, enquanto a areia fina possui 57 % Si e 16 % Al.

Com o planejamento experimental foi possível através dos traços utilizados (cimento, cal, areia, aditivo - 1:1:3:x) obter corpos de prova para potencial emprego em alvenarias não estrutural e avaliar o efeito da condição processamento: pressão, tempo e temperatura (1,2MPa, 12 horas a 190°C) adequada para implementar a cura do BCCA.

A amostra 6 aparentemente atende os requisitos estabelecidos pela norma NBR 13438 em relação a resistência à compressão (1,40 MPa), enquanto as outras amostras atendem os requisitos da norma em relação a densidade.

A amostra 1 com 0,25% escória de Al apresentou resultados muito próximos aos requisitos das normas quanto a resistência à compressão (0,90 MPa), e em densidade (955,60 kg/m<sup>3</sup>).

## **7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Otimizar físico-quimicamente os pós de alumínio obtidos de escória para produção de BCCA aumentando sua característica como agente expensor e melhorando a homogeneização de poros.

Realizar ensaios físico-químicos nos corpos de prova determinando os melhores parâmetros morfológicos e distribuição de poros.

Realizar ensaios mecânicos de flexão 3 pontos para determinar suas propriedades mecânicas.

Avaliar outros traços e condições de pré-cura ou cura incrementando a resistência mecânica e diminuição da densidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13440. **Blocos de Concreto Celular Autoclavado** – Verificação da Densidade de Massa Aparente Seca. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13438: **Blocos de Concreto celular Autoclavado** - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. ABAL. **Guia Técnico do Alumínio**: geração e tratamento de escória: vol. 11 – São Paulo, 2007.

BARRETO, Matheus de Faria et al. Análise microestrutural de blocos de concreto celular autoclavado (BCCA) com o auxílio de métodos instrumentais. **Conexão ciência (Online)**, v. 7, n. 2, p. 38-63, 2012

CASTAGNET J.F., FERKEL H. **Stability of Alumina Ceramics Bonded with Nanoscaled Alumina Powder, Nanostruct.** Mater.12, 2003, p. 1041-1044.

JACÓE, Renata Borges; RODRIGUES, Conrado Soares. **Influência no tempo de autoclavagem nas propriedades físicas do concreto celular autoclavado.** 2014. 1-4 f. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG,

DINIZ, Adriana Gresielly Fabrini. **Elevação da Rentabilidade e Produtividade em Fundições de Alumínio Secundário**: uma proposta metodológica. Ponta Grossa. 2007. 15,18 p. Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2007.

FERRAZ, Fabiana de Carvalho. **COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO**: bloco de concreto celular autoclavado x bloco cerâmico. 2011. 72,85 p. Mestrado (Pós-Graduação em Construção Civil)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

FERREIRA, Oswaldo A. R.. **Concretos Celulares Espumosos.** 1ª. ed. São Paulo: (s.n.), 1987. 8,9 p.

GUERREIRO, M. D. Vitor; **Paredes de Alvenaria em Blocos de Concreto Celular Autoclavado**; Novembro/2002.

GUNEY, Y.; SARI, Y. D.; YALCIN, M.; TUNCAN, A.; DONMEZ, S. **Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete.** Waste Management, Vol. 30, n. 8–9, 2010, p. 1705–1713.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**, 6a ed, Rio de Janeiro : LTC, 2005.

ISU, N., ISHIDA, N. e MITSUDA, K. **Influence of quartz particle size on the chemical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete I: tobermorite formation.** Cement and Concrete Research, 25, p.243-348, 1995.

ISU, N., TERAMURA, S., ISHIDA, N. e MITSUDA, K. **Influence of quartz particle size on the chemical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete II: fracture toughness, strength and micropores.** Cement and Concrete Research, 25, p.249-254, 1995.

JUNIOR, Dorly Fernandes da Silva. **Efeito da Composição Química sobre as Características Mecânicas e Térmicas do Concreto Celular Autoclavado.** 2011. 56,58 p. Mestrado (Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

LAUKAITIS, A., FIKS, B. **Acoustical properties of autoclaved aerated concrete.** Applied Acoustics, 67, p.284-296, 2006

MARQUES, Carlos Antonio; MACHADO, Lucas Ticoski; DOMINGUINI, Lucas; BETIOLI, Murilo -. In: 1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul, 1., 2012, Santa Catarina, SC. **Caracterização de Resíduo Arenoso Fenólico de Fundação Comparado a Areia Natural para uso em Materiais Cimentícios...** (S.l.: s.n.), 2012. p. 1-1. v. 3.

PIOVESAN, A. Z.; GENELLI, C.; SILVA, M. L.; MASUERO, A. B. ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XII., 2008, Fortaleza - CE. **Utilização da Areia de Fundação para Fabricação de Blocos de Concreto para Pavimentação...** (S.l.: s.n.), 2008.

SCHEUNEMANN, Ricardo. **Regeneração de Areia de Fundação através de Tratamento Químico via Processo Fenton.** 2005. 11 p. Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Química)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SKOOG, D. A. ; HOLLER, F. J. ; NEINAM, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**, 5a ed, Porto Alegre: Bookman, 2002.

TAKAHASHI, Elisa Akiko Nakano . **Utilização da Escória de Alumínio na Fabricação de Argila Expandida.** 2006. 45, 46 p. Mestrado (IPEN)- Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 2006.

VARISCO, Marcelo Queiroz. **Análise do Desempenho de Blocos de Concreto Celular Autoclavado em um Sistema de Vedação Externa.** Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2014.

**Caracterização da matéria prima por FRX, MEV e Granulometria.**

**Processamento dos corpos de prova, pré-cura e autoclavagem.**

**Caracterização física dos corpos dos corpos de prova por densidade e resistência à compressão.**