

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DANIELA GALIOTTO PADOIN

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS DE UM TRAÇO
COMERCIAL DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM E SEM SUBSTITUIÇÃO
DE CINZA DE CASCA DE ARROZ.**

**Alegrete
2017**

DANIELA GALIOTTO PADOIN

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS DE UM TRAÇO
COMERCIAL DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM E SEM SUBSTITUIÇÃO
DE CINZA DE CASCA DE ARROZ.**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Luis Eduardo Kostascki

**Alegrete
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

P124e Padoin, Daniela Padoin

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS DE UM TRAÇO
COMERCIAL DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM E SEM SUBSTITUIÇÃO DE
CINZA DE CASCA DE ARROZ / Daniela Padoin Padoin.

111 p.

Dissertação (Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM ENGENHARIAS, 2017.

"Orientação: Luis Eduardo Kostaski ".

1. Concreto autoadensável. 2. Cinza de Casca de Arroz. I.
Título.

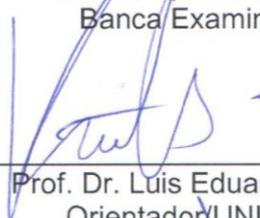
DANIELA GALIOTTO PADOIN

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS DE UM TRAÇO
COMERCIAL DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM E SEM SUBSTITUIÇÃO
DE CINZA DE CASCA DE ARROZ.**

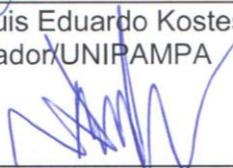
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Dissertação defendida e aprovada em: 24 de abril de 2017.

Banca Examinadora:



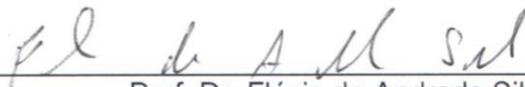
Prof. Dr. Luis Eduardo Kosteski
Orientador/UNIPAMPA



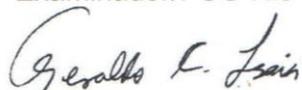
Prof. Dr. Wang Chong
Examinador/UNIPAMPA



Prof.ª Dr.ª Ana Claudia Costa
Examinador/UNIPAMPA



Prof. Dr. Flávio de Andrade Silva
Examinador/PUC-Rio



Prof. Dr. Geraldo Isaia
Examinador/UFSM

*Dedico este trabalho à Deus e
aos meus pais.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, por mais essa conquista;

Agradeço meus pais, Ivone e Aido e meu irmão Eduardo por todo o apoio, incentivo e paciência comigo;

Agradeço aos meus amigos, que sempre estiveram presentes, me ajudando no que fosse preciso e entendendo minha ausência;

Agradeço em especial ao meu orientador Prof. Dr. Luis Eduardo Kostascki pelas orientações, paciência e incentivo de sempre;

Aos demais professores, que no decorrer do trabalho me auxiliaram de alguma forma;

Aos técnicos de laboratório e voluntários que durante a realização dos ensaios me auxiliaram nos trabalhos;

À Unipampa, por proporcionar que todos os ensaios fossem realizados, em diferentes Campus da Universidade e pelo auxílio financeiro;

À empresa RITT Empreendimento Imobiliários Ltda por disponibilizar o traço de concreto para análise e incentivar a pesquisa;

À empresa Supertex pela doação dos materiais;

À todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Meu muito obrigada!

*“E não diga que a vitória está perdida
Se é de batalhas que se vive a vida
Tente outra vez..”
(Raul Seixas)*

RESUMO

Neste trabalho, foram estudadas as propriedades físicas, mecânicas, acústicas e térmicas de um traço de Concreto autoadensável (CAA) já utilizado por uma Usina de Concreto, e outros três traços com substituição de cimento *Portland* (CP) por Cinza de casca de arroz (CCA). O traço referência (sem substituição) foi utilizado na construção de um Edifício de parede de concreto. Os ensaios foram definidos a fim de ser possível a análise tanto da resistência à compressão e resistência à tração diametral, quanto o conforto térmico e acústico apresentado por esse material, quando comparado com o que é normatizado. Para isso, foram realizados os ensaios no estado fresco, garantindo as especificações de todas as propriedades exigidas para um concreto ser considerado autoadensável. Após essa caracterização, moldaram-se os corpos de prova necessários para todos os ensaios do estado endurecido, sendo corpos de prova cilíndricos (100x200mm) para ensaios mecânicos, cilíndricos (20x100mm) para ensaios acústicos e retangulares (300x300x100mm) para ensaios térmicos. No quesito de resistência à compressão, superou o *fck* estabelecido aos 28 dias, que era de 25 MPa. Analisando os valores encontrados para absorção e isolamento acústico, pode-se dizer que apresentaram resultados satisfatórios na menor faixa de frequência e, na maior, apresentaram alguns problemas que acredita-se serem referentes ao equipamento utilizado. No desempenho térmico, todos os traços, apresentaram resultados próximos entre si e a outros estudos da bibliografia e normas, não sendo influenciado pela substituição da CCA. Os resultados dos ensaios demonstraram que é possível substituir CP por CCA sem que haja prejuízo às características mecânicas os CAAs, e ainda obter ganhos econômicos. O melhor concreto, levando em conta todos os aspectos estudados, foi com 20% de substituição de CP por CCA.

Palavras chaves: Cinza de casca de arroz; Concreto autoadensável; Desempenho térmico; Desempenho acústico.

ABSTRACT

In this work the physical, mechanical, acoustic and thermal properties of a Self-consolidating concrete (SCC) mix design already used by a concrete plant and others three mix design with Portland cement (PC) replacement by Rice husk ash (RHA) were studied. The reference mix design (without replacement) was used in the construction of a concrete wall building. The experimental tests were defined in order to allow the analysis of both the compressive strength and diametral tensile strength, as well as the thermal and acoustic comfort presented by this material, Thus, the tests were realized in the fresh state, guaranteeing the specifications of all properties required for a concrete to be considered self-consolidating. After this characterization, the necessary specimens were molded for all the hardened state tests, being cylindrical specimens (100x200mm) for mechanical tests, cylindrical (20x100mm) for acoustic tests and rectangular (300x300x100mm) for thermal tests. The compressive strength exceeded the f_{ck} established at 28 days, which was 25 MPa. Analyzing the values found for absorption and acoustic insulation, it can be said that they presented satisfactory results in the lower frequency range and, in the higher, presented some problems that are believed to be referring to the equipment used. In the thermal performance, all the mix design present close results among themselves and other studies of the bibliography and norms, not being influenced by replacement of the RHA. The tests results demonstrated that it is possible to replacement PC for RHA without impairing the mechanical features of the SCCs as well as to obtain economic gains. The best concrete, taking into account all aspects studied, was with a 20% replacement of PC for RHA.

Key words: Rice husk ash; Self-consolidating concrete; Thermal performance; Acoustic performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- a) Pilares de fundação e b) Arcos compostos de 5 peças executados com CAA.....	20
Figura 2- Fôrma metálica.	25
Figura 3- Fôrma plástica com reforço metálico.	26
Figura 4- Diferença visual entre a) CCAM e b) CCAN.	27
Figura 5- Curvas granulométricas: cimento <i>Portland</i> CII-Z e Sílica de Casca de Arroz.....	28
Figura 6- Esquema de divisão do som ao encontrar um obstáculo.....	31
Figura 7- Curva Granulométrica do agregado miúdo	41
Figura 8- Curva Granulométrica do agregado graúdo.....	41
Figura 9- Silcca® Nobre	44
Figura 10- Difração de raio-x.....	44
Figura 11- Curva Granulométrica CCA x CPIV.	45
Figura 12- Aditivos superplastificante (ViscoCrete® 5700).	46
Figura 13- Tipos de corpos de prova para cada traço.....	48
Figura 14- Ensaio de espalhamento.....	49
Figura 15- Exemplos de segregação do material	50
Figura 16- Anel J.....	51
Figura 17- Caixa U	52
Figura 18- Ensaio funil V.	53
Figura 19- Ensaio à compressão.....	55
Figura 20- Ensaio à tração por compressão diametral.....	56
Figura 21- Materiais constituintes do esclerômetro: 1) Bigorna; 2) Pedra de desbaste; 3) Esclerômetro de reflexão.	57
Figura 22- Disposição das leituras do índice esclerométrico.	58
Figura 23- Equipamento AWA6290T.....	59
Figura 24- Amostras para absorção e isolamento acústico.....	59
Figura 25- Corpo de prova vedado com silicone.	60
Figura 26- Esquema do tubo de impedância.....	60
Figura 27- Encaixe das espumas para ensaio de isolamento acústico.	61
Figura 28- LaserComp.	61

Figura 29- Amostra para condutividade térmica.....	62
Figura 30- Comportamento dos traços – espalhamento.	64
Figura 31- Diâmetro de espalhamento x Percentual de CCA.....	65
Figura 32- Habilidade Passante caixa U	66
Figura 33- Tempo de escoamento – Funil V.	66
Figura 34- Comparação de resistência média à compressão axial com a idade do concreto.....	69
Figura 35- Valores médios de compressão axial.....	70
Figura 36- Comparação a) Resistência média à compressão diametral de cada traço para todas as idades, com b) Médias geral compressão axial para cada idade.	73
Figura 37- Histograma dos dados de índices esclerométricos	75
Figura 38- Distribuição espacial do CP1 (a) e do CP2 (b).....	76
Figura 39- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço REF.	78
Figura 40- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço 10%.	78
Figura 41- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço 20%.	79
Figura 42- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço 30%.	79
Figura 43- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço DALCIN 15%. ..	79
Figura 44- Médias de absorção acústica.....	80
Figura 45- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço REF.....	81
Figura 46- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço 10%.....	82
Figura 47- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço 20%.....	82
Figura 48- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço 30%.....	82
Figura 49- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço DALCIN 15%. ..	83
Figura 50- Médias de isolamento acústico.	83
Figura 51- Médias de isolamento acústico – Comparativo.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Coeficientes de absorção acústica.....	33
Tabela 2- Valor do isolamento acústico de diversos materiais.....	34
Tabela 3- Especificações de reboco.	35
Tabela 4- Resultados de isolamento acústico.	35
Tabela 5- Valores de condutividade térmica (Maioria dados de Young, Hugh D.). ...	37
Tabela 6: Densidade, condutividade térmica e calor específico dos materiais constituintes das vedações.	37
Tabela 7- Massa específica dos agregados.	42
Tabela 8- Composição do Aglomerante.	43
Tabela 9- Exigências Físicas e Mecânicas.	43
Tabela 10- Exigências químicas do Aglomerante.	43
Tabela 11- Composição química da CCA.	45
Tabela 12- Traço do concreto dosado na Usina de Concreto e executado em laboratório.	47
Tabela 13- Requisitos para classificação do CAA – Espalhamento.....	50
Tabela 14- Requisitos para classificação do CAA – Anel J.....	51
Tabela 15- Requisitos para classificação do CAA – Funil V.....	54
Tabela 16- Valores de tempo de escoamento pelo funil V recomendados por diversos autores.	54
Tabela 17- Especificações faixas de frequência.	59
Tabela 18- Resultados dos CAAs no estado fresco.	63
Tabela 19- Resultados de compressão axial.....	68
Tabela 20- Análise da Variância (ANOVA) para a resistência à compressão axial dos CAAs com substituição parcial de Cimento <i>Portland</i> por Cinza de Casca de Arroz..	68
Tabela 21- Taxa de crescimento das resistências (Valores em MPa/dia).....	71
Tabela 22- Resultados à tração por compressão diametral.	72
Tabela 23- Análise da Variância (ANOVA) para a resistência à compressão diametral dos CAAs com substituição parcial de Cimento <i>Portland</i> por Cinza de Casca de Arroz.....	72
Tabela 24- Resultados do índice esclerométrico.....	74
Tabela 25- Valores médios de coeficiente de absorção para todos os traços.	77

Tabela 26- Comparativo entre materiais utilizados na construção – isolamento acústico.	85
Tabela 27- Valores de condutividade térmica.	85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo Geral.....	18
1.2 Objetivos Específicos	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Características e aplicações do CAA	19
2.1.1 Características gerais.....	19
2.1.2 Aplicações.....	20
2.1.3 Materiais.....	20
2.1.3.1 <i>Cimento</i>	21
2.1.3.2 <i>Adições minerais</i>	22
2.1.3.3 <i>Agregados</i>	22
2.1.3.4 <i>Aditivos</i>	23
2.1.4 Vantagens e desvantagens do CAA.....	23
2.1.5 Tipos de lançamentos e fôrmas	24
2.2 Cinza de Casca de Arroz (CCA).....	26
2.2.1 Estudos do uso da CCA no concreto	29
2.3 Acústica dos materiais.....	31
2.3.1 Fenômenos acústicos	31
2.3.2 Estudos sobre absorção e isolamento acústico	34
2.4 Condutividade térmica.....	36
2.4.1 Estudos sobre condutividade térmica.....	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 Matéria Prima	40
3.1.1 Agregados.....	40
3.1.1.1 <i>Composição granulométrica</i>	40
3.1.1.2 <i>Massa específica</i>	42
3.1.2 Materiais aglomerantes	43
3.1.2.1 <i>Cimento Portland</i>	43
3.1.2.2 <i>Cinza de Casca de arroz</i>	44
3.1.3 Aditivo superplasticante	46
3.2 Produção de amostras	46
3.2.1 Traço do CAA.....	46

3.2.2	Concreto produzido	47
3.3	Ensaio no estado fresco	48
3.3.1	Ensaio de Espalhamento (slump flow)	49
3.3.2	Anel J	51
3.3.3	Caixa U.....	52
3.3.4	Funil V	53
3.4	Ensaio mecânicos.....	54
3.4.1	Resistência à compressão axial	55
3.4.2	Resistência à tração por compressão diametral.....	56
3.4.3	Ensaio de esclerometria de reflexão	57
3.5	Ensaio físicos.....	59
3.5.1	Ensaio Acústicos	59
3.5.2	Ensaio de absorção térmica	61
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	63
4.1	Propriedades no estado fresco.....	63
4.1.1	Considerações dos resultados reológicos no estado fresco do CAA	67
4.2	Ensaio Mecânicos.....	67
4.2.1	Ensaio à compressão axial	67
4.2.2	Ensaio à tração por compressão diametral	72
4.2.3	Ensaio de Esclerometria de reflexão.....	73
4.3	Propriedades físicas	77
4.3.1	Ensaio acústicos.....	77
4.3.1.1	<i>Absorção acústica</i>	77
4.3.1.2	<i>Isolamento Acústico</i>	81
4.3.2	Ensaio de condutividade Térmica	85
4.4	Resultados da viabilidade econômica quanto à substituição de CP por CCA	87
4.5	Traço com substituição de melhor desempenho	88
5	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
5.1	Conclusões.....	89
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	92
	REFERÊNCIAS.....	93
	ANEXO A	100
	ANEXO B	101
	ANEXO C	102

ANEXO D	107
---------------	-----

1 INTRODUÇÃO

No começo da década de 2000, o mercado da construção civil teve um aquecimento, onde os consumidores se tornaram mais exigentes e esclarecidos, e com isso, o uso de sistemas construtivos diferenciados, que buscam por prazos de execução reduzida e com qualidade, foram implementados nas construtoras a fim de suprir as necessidades dos consumidores.

As paredes de concreto moldadas *in loco* são uma alternativa eficiente, prática e de qualidade para essas situações, pois o prazo de execução pode ser reduzido em até 30%. Elas surgiram na década de 1970, porém, como na época não se possuía demanda suficiente para tornar o sistema construtivo viável economicamente, o mesmo apenas era utilizado em locais com incidência de abalos sísmicos.

Nesse sistema, se faz uso de concreto fluido ou autoadensável para a concretagem de toda a sua estrutura em função da sua trabalhabilidade. Há, porém, uma preocupação em relação ao conforto térmico e acústico desse tipo de sistema construtivo quando comparado com uma estrutura de alvenaria. A NBR 15575 (ABNT, 2013) é a norma brasileira que determina o desempenho e conforto da estrutura em diferentes aspectos, tanto de execução, quanto de disposição do local, dentre outros. Já a NBR 10152 (ABNT, 1987) é a norma brasileira que dá embasamento para o conforto acústico das edificações (CARVALHO, 2012). E a NBR 15520 (ABNT, 2003) é a norma brasileira sobre o desempenho térmico das edificações.

Para tentar diminuir o custo de uma obra realizada com esse sistema, seria interessante, se for possível, minimizar o consumo de cimento sem modificar as características do concreto. Para realizar este estudo, aproveita-se um traço já utilizado por uma Usina de Concreto, com o qual se realizou um edifício de parede de concreto em Alegrete, e se estuda a substituição do cimento por cinza de casca de arroz (CCA). A CCA é um produto de qualidade e disponível em grande escala na região.

Desta forma o presente trabalho de pesquisa estuda as características de um traço já utilizado em uma Usina de Concreto, tanto referente a seu comportamento físico, mecânico, térmico e acústico, assim como as características apresentadas pelo mesmo traço quando substituído cimento *portland* por CCA.

Os resultados de propriedades mecânicas obtidos nesses traços foram comparados entre eles e com o traço desenvolvido por Dalcin *et al* (2015). Os resultados obtidos de propriedades físicas (térmicas e acústicas) para os traços foram comparados entre eles, com o traço de Dalcin *et al* (2015), com paredes de alvenaria e com valores normatizados.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar as propriedades mecânicas e físicas (térmicas e acústicas) de uma parede de concreto executada com concreto autoadensável, com traço já utilizado em uma edificação na cidade de Alegrete-RS com e sem substituição de CCA, compará-las entre eles e com as de paredes de alvenaria, com relação as propriedades físicas.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes:

- Caracterização dos materiais utilizados na elaboração do CAA, com e sem adição de CCA;
- Caracterização do CAA através de ensaios mecânicos de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral;
- Determinação da capacidade de isolamento e absorção acústica para a parede de CAA, com e sem adição de CCA e comparação com ensaios já realizados em alvenaria convencional e estrutural. Determinação da capacidade de absorção térmica para a parede de CAA, com e sem adição de CCA.
- Determinação do índice esclerométrico;
- Comparativo das propriedades mecânicas encontradas para uma parede de concreto autoadensável, com e sem adição de CCA;
- Comparativo das propriedades físicas encontradas para uma parede de concreto autoadensável, com e sem adição de CCA com uma parede de alvenaria convencional e estrutural.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características e aplicações do CAA

2.1.1 Características gerais

Segundo a NBR 15823 (ABNT, 2010), existem algumas características que o concreto precisa ter para ser denominado como Concreto Autoadensável (CAA). São elas: fluidez, habilidade de passar por obstáculos e resistência a segregação, ou seja, um concreto fluído e plástico. Essa plasticidade se dá pelo fato de serem utilizados aditivos superplastificantes ou modificadores de viscosidade na composição do CAA (NBR 15823:2010).

A fluidez torna a este concreto capaz de fluir sob o seu próprio peso, de tal maneira que preenche o vazio, mesmo havendo reforço/armadura densa, sem que seja necessária a vibração interna ou externa do material (NBR 15823:2010).

O quesito de resistência de segregação é pelo fato de a mistura do CAA permanecer homogênea tanto no transporte, quanto no lançamento do concreto, bem como no momento em que estiver em repouso (NBR 15823:2010).

Originalmente o CAA foi desenvolvido no Japão, no ano de 1986, pelo professor Hajime Okamura, da Kochi University of Technology. A finalidade inicial era de compensar a falta de mão de obra qualificada na construção civil do país, a qual estava causando sérios problemas de durabilidade das estruturas em concreto. O concreto especial, no caso o CAA, foi a solução encontrada, possibilitando assim um aumento de durabilidade e confiabilidade das estruturas de concreto (OKAMURA E OUCHI, 2003). Conforme a EFNARC (2002), o CAA possui diversos fatores que economicamente o tornam mais viável, como por exemplo:

- Construção mais rápida;
- Redução da mão de obra local;
- Melhores acabamentos da superfície;
- Melhor durabilidade;
- Níveis de ruído reduzidos;
- Ambiente de trabalho mais seguro.

2.1.2 Aplicações

O CAA é utilizado normalmente em locais onde é difícil de aplicar o concreto convencional, podendo ser espalhado ou lançado por guas ou bombas.

Conforme o estudo realizado por Tutikian e Dal Molin (2008) sobre o uso do CAA, entre 1993 e 2003, 67% das obras desse período fizeram uso do mesmo pelas características e vantagens em relação a parte técnica da mistura. Quando comparadas com o concreto convencional, 14% optaram pelo CAA pela questão custo e redução da mão de obra e 10% entenderam a viabilidade por ser um material inovador.

A Figura 1 apresenta exemplos mostrados por Walraven apud Tutikian e Dal Molin (2008) de obras, onde fez-se uso do CAA, pilares de fundação e arcos compostos por 5 peças de 13 metros. Ambas as estruturas eram executadas anteriormente com concreto convencional, o que apresentava vários problemas e dificuldades na sua execução, principalmente no que estava relacionado à vibração do concreto, pois eram peças muito compridas.

Figura 1- a) Pilares de fundação e b) Arcos compostos de 5 peças executados com CAA.



a)



b)

Fonte: Walraven apud Tutikian e Dal Molin (2008).

2.1.3 Materiais

Os materiais utilizados para fabricar o CAA são praticamente os mesmos dos utilizados nos concretos convencionais (cimento, água, agregados, adições e aditivos), com a diferença de que é acrescentada uma maior quantidade de materiais finos (adições minerais ou fillers) e de aditivos superplastificantes, para que

o concreto se comporte conforme esperado, com as características e propriedades que o definem principalmente no estado fresco (REPETTE, 2008).

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008,) é necessário ter cuidado com a escolha dos materiais que serão utilizados já que cimentos e agregados possuem variação nas suas composições e propriedades. Ainda afirmam que não existem regras claras que determinam a utilização dos materiais, porém, de forma técnica é possível perceber que eles afetam, tanto durabilidade, quanto propriedades reológicas e mecânicas.

Podem ser utilizados aditivos superplastificantes, os quais permitem uma fluidez desejável, e aditivos modificadores de viscosidade que são capazes de aumentar a estabilidade, podendo impedir a exsudação e segregação no concreto (ABESC, 2015).

Tutikian e Helene (2011) dizem que o aumento de teor de finos ocorre pelo fato de que o CAA necessita se movimentar por grandes distâncias horizontais. Essa adição ou substituição do material fino melhora a trabalhabilidade e diminui a segregação do material e, em contrapartida, ainda diminui custos de produção do concreto.

2.1.3.1 *Cimento*

Como mencionado anteriormente, é utilizado o mesmo cimento que nos demais tipos de concretos, não havendo critérios específicos que definem o melhor tipo para o CAA. Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), o melhor cimento é aquele que apresenta a menor variabilidade possível quanto à resistência mecânica.

Conforme Gjorv apud Tutikian e Dal Molin (2008), a necessidade de água e a trabalhabilidade da mistura são pontos que o tipo de cimento influencia, isso se dá por dois motivos: a quantidade de aluminato tricálcico (C_3A) presente no mesmo e a granulometria, sendo que quanto menor o teor de C_3A , melhor será o controle reológico e conseqüentemente a trabalhabilidade se mantém por um período maior. Quando o percentual de C_3A é maior do que 10% corre-se o risco de perder a fluidez da mistura logo no início, ou seja, a aplicação do CAA se torna inviável. No quesito finura do cimento, quanto maior a superfície específica do cimento, maior será a quantidade dessas partículas em contato com a água, o que por conseqüência,

diminui a distância e aumenta a frequência de colisão entre elas, isso reduz a tensão de escoamento e aumenta a tensão de viscosidade da mistura.

2.1.3.2 *Adições minerais*

O uso das adições minerais no CAA é de grande valia, pois elas influenciam na resistência e na porosidade do concreto. Basicamente a resistência mecânica depende diretamente da porosidade, da distribuição do tamanho e da forma desses poros (SILVA, 2005).

Também, pelo fato do CAA possuir uma elevada resistência à segregação, o uso das adições minerais e/ou aditivos modificadores de viscosidade auxiliam na coesão da mistura e evitam a segregação do agregado graúdo. Além disso, elas aumentam a resistência e durabilidade do concreto, tanto física quanto quimicamente. As adições minerais precisam ter áreas superficiais maiores que o material que está sendo substituído, no caso o cimento. Elas são classificadas em dois grupos, de acordo com a ação físico-química, que são: adições minerais quimicamente ativas (tanto material pozolânico, quanto cimentício, ex: cinza volante, pozolana natural, sílica ativa, cinza de casca de arroz e metacaulim) e sem atividade química (filers) (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

2.1.3.3 *Agregados*

Segundo Okamura e Ouchi (2003), os agregados utilizados são os mesmos do concreto convencional, apenas tendo cuidado com o diâmetro do material, onde se recomenda que partículas menores que 0,125mm sejam consideradas como material fino, o que influencia no comportamento reológico do CAA. Também o diâmetro máximo deve ser analisado, pois normalmente o CAA é utilizado em locais com alta taxa de armadura, não podendo assim, possuir diâmetros muito elevados.

A qualidade da mistura é garantida pelo controle de qualidade dos materiais, sempre fazendo o monitoramento dos finos, da umidade e absorção de água, para que se mantenham constantes as características.

2.1.3.4 Aditivos

Tutikian, Isaia e Helene (2011) citam que os aditivos químicos plastificantes têm como função melhorar as propriedades do concreto sem que haja a necessidade de aumentar o consumo de água. Desta forma, ele contribui para o aumento da resistência mecânica e durabilidade da mistura. Isso, mantendo a consistência e reduzindo o consumo de cimento para uma mesma resistência e consistência.

Normalmente, no CAA, são utilizados superplastificantes e modificadores de viscosidade, podendo também fazer uso de incorporadores de ar, dependendo da necessidade.

Os superplastificantes atuam como redutores de água, sendo essencial o seu uso em CAA, já que possuem em sua composição materiais que permitem reduzir a água consideravelmente, garantindo uma trabalhabilidade elevada no concreto. São inúmeras as marcas e tipos de aditivos superplastificantes direcionados basicamente para CAA.

Conforme citado por Tutikian e Dal Molin (2008), os modificadores de viscosidade são produtos à base de polissacarídeos, os quais possuem cadeias poliméricas de alto peso molecular ou de base inorgânica. São utilizados no concreto para impedir a segregação e limitar a perda de água da mistura. Porém, seu uso não é obrigatório nos CAA, sendo sempre necessário fazer os ensaios prévios para verificar a necessidade e a compatibilidade dele com os aditivos utilizados.

2.1.4 Vantagens e desvantagens do CAA

Esse tipo de concreto traz inúmeras vantagens de forma direta ou indireta na construção civil. Dentre elas, podem-se descrever as citadas em ABESC (2015).

- Redução do custo de aplicação por m³ de concreto
- Garantia de excelente acabamento em concreto aparente
- Permite bombeamento em grandes distâncias horizontais e verticais
- Otimização de mão de obra
- Maior rapidez na execução da obra

- Melhoria nas condições de segurança na obra
- Eliminação da necessidade de espalhamento e de vibração
- Aumento nas possibilidades de trabalho com fôrmas de pequenas dimensões
- Maior durabilidade das fôrmas
- Antecipação nas operações de cura
- Facilidade no nivelamento da laje

Além disso, conforme cita Coutinho (2011), existem outras características de total importância, como por exemplo, a redução de acidentes de trabalhos, pois o número de trabalhadores diminui consideravelmente. Somam-se a isso ganhos ambientais como a diminuição da poluição sonora e maior aproveitamento dos materiais. Porém, para que todas essas vantagens sejam reais, o controle do CAA deve ser rigoroso, tanto na dosagem, quanto lançamento e características do estado fresco.

Deve-se levar em consideração também que, quando são adicionados materiais finos no CAA, as propriedades melhoram em diferentes aspectos, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido. E isso ocorre pelo fato das partículas de cimento e dos demais finos reagirem mais rapidamente com a água, aumentando a resistência do concreto e melhorando a compacidade da pasta, o que, por consequência, dificulta a ação dos agentes externos agressivos, pois os vazios no mesmo são menores (TUTIKIAN E DAL MOLIN, 2008).

2.1.5 Tipos de lançamentos e fôrmas

Por se tratar de um concreto altamente fluido, as fôrmas para o CAA necessariamente precisam ser bem vedadas e quando possuem uma altura elevada, na sua parte inferior, o enrijecimento deve ser maior, em função da alta pressão gerada nas fôrmas, já que é dispensada a vibração do concreto (COUTINHO, 2011).

Conforme Missurelli e Massuda (2009) citam “As fôrmas são estruturas provisórias cujo objetivo é moldar o concreto fresco compondo-se assim as paredes estruturais. A resistência a pressões do lançamento de concreto até a sua

solidificação é fator decisivo. Para isso, as fôrmas devem ser estanques e favorecer rigorosamente a geometria das peças que estão sendo moldadas”.

Além disso, conforme é descrito na NBR 16055 (ABNT, 2012), o sistema de fôrmas necessariamente deve vir acompanhado do projeto, pois a montagem deve ser rigorosa, para evitar qualquer problema durante a concretagem. Todas as dimensões, prumos e alinhamentos devem ser conferidos, para que seja garantida a geometria dos elementos estruturais.

Os tipos de fôrmas mais empregados nesse sistema construtivo são as fôrmas metálicas (quadros e chapas metálicas), mistas (metálicas com compensado) e placas plásticas (chapas plásticas com reforço metálico). Cada uma com seus diferenciais, alterando basicamente seus materiais e a forma de instalação (CIMENTO ITAIMBE, 2010).

Com o uso cada vez mais evidente das fôrmas, iniciou-se a busca por um CAA que satisfaça as necessidades desse tipo de obra, pois as fôrmas possuem um valor elevado, e então, quanto menos a pressão exercida nas mesmas, maior será a vida útil. A depender do tipo de fôrma, ela é utilizada de 500 a duas mil vezes (COUTINHO, 2011).

Uma das fôrmas mais utilizadas é a fôrma metálica, apresentada na Figura 2. E a Figura 3 apresenta a fôrma plástica com reforços metálicos.

Figura 2- Fôrma metálica.



Fonte: Própria autoria.

Figura 3- Fôrma plástica com reforço metálico.



Fonte: Própria autoria.

2.2 Cinza de Casca de Arroz (CCA)

Existem diversas cinzas que podem ser utilizadas no concreto, como por exemplo, a cinza volante, cinza de casca de arroz e a cinza do bagaço de cana, pois são subprodutos resultantes de empresas que fazem a queima dos mesmos para fins de geração de energia. Para que seu uso seja viável, a queima tem temperatura controlada e se busca pela maior finura possível do material, para que a resistência do concreto possa ser elevada (ISAIA *et al.*, 2010).

Dentro destas cinzas, no presente trabalho, será tratada a cinza de casca de arroz (CCA), já que a região do pampa gaúcho tem uma grande produção de arroz sendo, inclusive, o destino de sua casca um problema.

A casca de arroz (CA) pode ser aproveitada de diferentes formas. Uma delas é a geração de energia através da queima da CA, alternativa esta que se torna viável tanto pelo ponto de vista tecnológico, quanto econômico e ecológico. Isso ocorre já que a casca é um produto abundante e o CO₂ gerado na queima volta para o ciclo de carbono da biosfera terrestre, não prejudicando o meio ambiente (FOLETTO *et al.*, 2005).

Sendo assim, seu uso no concreto, o maior consumidor do cimento, deve ser aproveitado. Porém é preciso ter a garantia de que o material produzido e disponível no mercado seja realmente adequado para o consumo no concreto, por isso, a grande variedade de estudos sobre a viabilidade e busca pela melhor qualidade da CCA (ISAIA *et al*, 2010).

Ainda conforme cita Isaia *et al* (2010), muitos engenhos de arroz no Brasil descartam a cinza como resíduo no meio ambiente, o que conseqüentemente gera poluição ambiental. O fato de haver um investimento inicial em equipamentos que garantam o controle de qualidade é um dos motivos pela falta de interesse no beneficiamento do produto.

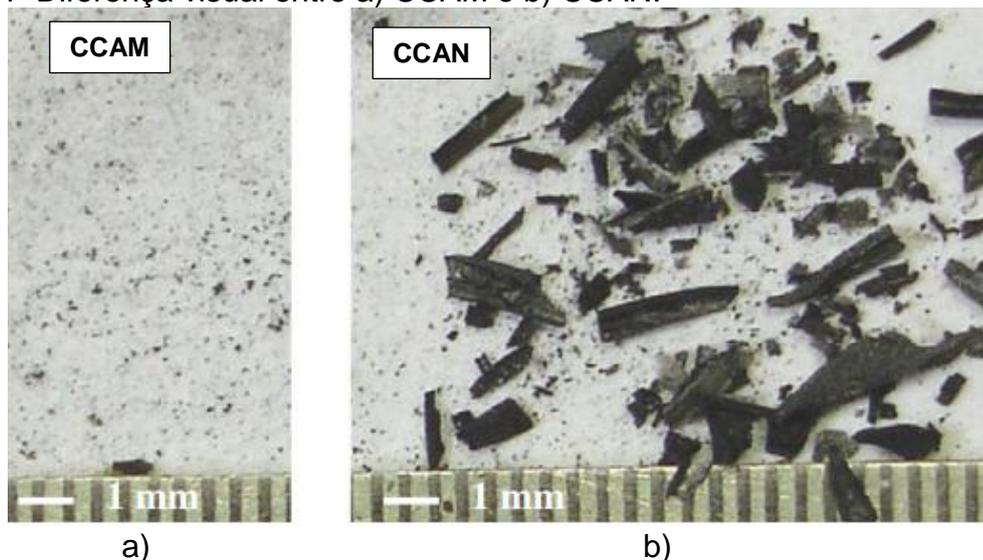
Basicamente as CCA, podem ser utilizadas na mistura de duas formas:

- CCA de forma natural (CCAN): Onde o material é utilizado na forma *in natura*, não sendo necessário fazer uso de nenhum processo de moagem após sua queima, o que seria mais sustentável.

- CCA com moagem prévia (CCAM): Onde após a queima o material passa por uma moagem prévia.

A Figura 4, a e b, apresenta a diferença visual encontrada entre a CCAM e CCAN, respectivamente.

Figura 4- Diferença visual entre a) CCAM e b) CCAN.



Fonte: Zerbino, Giaccio, Isaia (2011).

As características da CCA a depender das condições de queima do material apresentam composições químicas diferenciadas. A sílica está presente em todas as partes da casca de arroz, principalmente localizada nas protuberâncias da epiderme

externa. Toda a CCA tem a presença de sílica, porém, a partir de 90% a mesma é considerada pura.

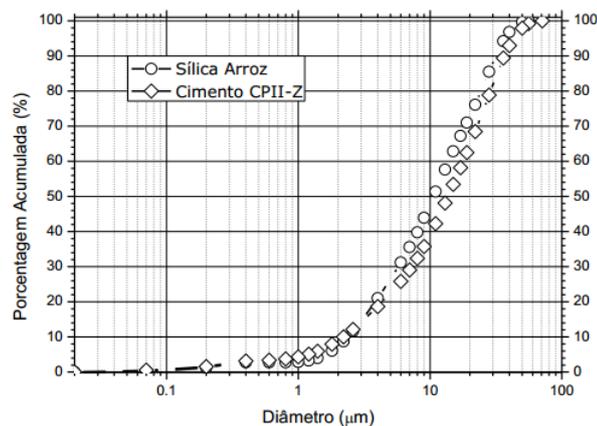
Os avanços, principalmente em relação a queima e tratamento da cinza, influenciaram e incentivaram a pesquisa, bem como a utilização desse material. Conforme citado por Silva (2009), um produto silicoso ou sílico-aluminoso é obtido quando a cinza é adequadamente processada.

Quando a queima é realizada de forma controlada, é possível a obtenção de sílica altamente reativa (JAMES e RAO, 1986). Essa queima elimina o carbono residual presente na CCA (cerca de 15%), sendo possível obter em torno de 95% de sílica pura. A qualidade da CCA é mensurada pela alta superfície específica, tamanho e pureza de partícula (FOLETTO *et al*, 2005).

A temperatura, o tempo, a taxa de aquecimento e a atmosfera de calcinação são fatores que influenciam as propriedades físico-químicas e a estrutura morfológica do material.

A CCA produzida na região do Pampa Gaúcho, conforme analisado por Marangon *et al* (2013), possui uma granulometria muito próxima a do cimento CP V ARI-RS, e com diâmetro inferior a da cinza volante. Sendo considerada como pozolana, pelas suas características químicas, conforme Figura 5.

Figura 5- Curvas granulométricas: cimento *Portland* CPII-Z e Sílica de Casca de Arroz.



Fonte: Marangon *et al* (2013).

Conforme Collatto (2011) concluiu, a partir de seus testes que experimentou com substituições de 2%, 4%, e 6%, a dosagem ideal de substituição de cimento por CCA é de 3%, um valor intermediário entre as dosagens ideais (2 e 4%). Sendo que nesse percentual, obteve redução de 8,5% no consumo de cimento. Podendo ainda

ser maior, sem prejudicar o desempenho do concreto, reduzindo o custo excessivo do consumo de cimento.

Também Dalcin *et al.* (2015) realizou pesquisas com substituições de 5%, 10%, 15% e 20%, onde, levando em consideração os resultados dos ensaios mecânicos realizados, bem como estudo econômico, a melhor substituição encontrada foi de 15%, pois manteve bons os resultados no estado reológico, teve aumento nas características mecânicas e diminui o custo do traço.

2.2.1 Estudos do uso da CCA no concreto

Segundo Tiboni (2007), a busca pela utilização da CCA no concreto não é algo recente. A primeira pesquisa que se tem conhecimento foi de 1924, na Alemanha, onde o autor Beagle apresentou um estudo generalizado sobre o uso de CA no concreto. Entre 1940 e 1950, diversos autores realizaram blocos confeccionados com cimento *Portland* e cinza de casca de arroz. No ano de 1973, na Bélgica, Mehta foi o responsável pela primeira patente sobre o assunto. Outras pesquisas por Tiboni (2007) citas são apresentadas a seguir.

No ano de 1976, Pitt, realizou estudos sobre o controle de combustão em leito fluidizado, o que garante um maior controle e qualidade da CCA. E a primeira substituição do cimento *Portland* por CCA em concreto que se tem conhecimento ocorreu em 1978, na Índia, por Mehta e Pirtz. Em 1979, também na Índia, Prakash, pesquisou o uso de CCA em alvenarias e fundações.

Na Ásia, em 1981, Cook, estudou a fluência e retração de concretos de cimento *Portland* com adição de CCA. Em 1982, no Japão, foi estudado a produção e o emprego de CCA como material cimentício. Em 1984, o tema em estudo em Israel foi o efeito da queima e moagem nas propriedades de argamassa.

Mehta, no ano de 1994, nos EUA, realizou batentes relativas a produtos altamente duráveis com cinzas, onde foram substituídos de 5 a 30% de cimento por CCA. No Brasil, em 1995, Isaia testou e estudou o efeito de misturas binárias e ternárias de Pozolanas em Concreto de Alto Desempenho. Paya, no ano de 2001, na Espanha, realizou a determinação da sílica amorfa na CCA por um rápido método analítico.

No ano de 2003, no Brasil, Prudêncio *et al.*, fez uma revisão sobre o CCA, incluindo processos de queima e tratamentos realizados para a obtenção de sílica

de casca de arroz. Isaia, em 2005, pesquisou a cinza de casca de arroz no: Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. Também Isaia, no ano de 2010, pesquisou a viabilidade do emprego da cinza de casca de arroz em concreto estrutural, e em 2011, empregou a cinza de casca de arroz sem processamento no concreto.

Além desses, outros autores, principalmente nas últimas décadas, pesquisam diferentes maneiras de introduzir o CCA no concreto, como por exemplo, a produção de CCA em forno de leito fluidizado e o emprego em pastas, argamassas e concretos de cinzas produzidas sem controle das condições de queima, estudo realizado por Cincotto *et al.* (1990).

Conforme citado por Mehta apud Dalcin (2016), os concretos que apresentam um alto teor de cimento estão mais suscetíveis a fissuras, bem como a menor capacidade de absorver deformações. Isso ocorre devido o aumento da retração química, da retração térmica e do módulo de elasticidade. Ou seja, o consumo excessivo de cimento no traço, além de gerar um custo maior, também, poderá comprometer a durabilidade do concreto. Esse é um dos fatores que potencializam a substituição parcial de cimento por um material pozolânico, o que torna o concreto menos suscetível a apresentar fissuras e ainda garante uma zona de transição mais resistente e mais durável (DALCIN, 2016).

Conforme algumas pesquisas citadas por Mehta (1992) pode ser substituído até 70% do cimento de um traço de concreto convencional por CCA, porém, para que se tenha vantagens e aumento de resistência, basta substituir de 10% a 20%. Nessas quantidades já se tem um aumento de resistência mecânica considerável, bem como a diminuição da permeabilidade frente aos agentes agressivos, como por exemplo, cloretos, sulfatos e CO₂, sem causar nenhum outro efeito contrário ou prejudicial ao concreto (MEHTA, 1992).

Tutikian e Helene (2011) ainda citam que, no Brasil, algumas adições minerais são utilizadas na produção de cimento como substituição parcial do clínquer, como é o caso da cinza volante, argila calcinada e escória de alto-forno.

Existem alguns aspectos que dificultam o uso da CCA no concreto, como por exemplo, a coloração. Ela acaba se tornando um problema estético, por ser mais escura. Porém isso pode ser contornado com a utilização de produtos químicos que possibilitam o clareamento do concreto.

Outro fator é a demanda de água que, conforme Almeida (2008) aumenta para manter a mesma trabalhabilidade nos concretos com a adição ou substituição da CCA em relação ao concreto produzido com cimento puro. Isso ocorre em função da CCA ser um material muito fino. Sendo assim, o ganho da resistência se dá pela ação físico-química do mesmo.

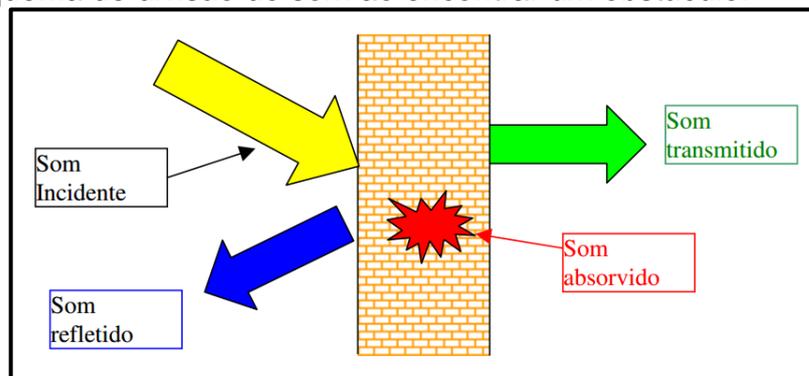
2.3 Acústica dos materiais

Segundo Flach (2012), se define acústica como uma ciência que estuda as manifestações do som. Portanto, é levado em consideração nas análises das propriedades acústicas dos materiais, a reflexão, absorção e transmissão do som pelos materiais.

2.3.1 Fenômenos acústicos

Os fenômenos que as ondas sonoras enfrentam no caminho da fonte emissora até o receptor são o som absorvido, o som refletido e o som transmitido. Sendo que, o receptor pode receber tanto ondas diretas da fonte emissora, quanto ondas indiretas. Quando o som incide na superfície, ele é absorvido, refletido ou refratado, a depender das características do material, conforme apresentado na Figura 6 (FERNANDES, 2002).

Figura 6- Esquema de divisão do som ao encontrar um obstáculo.



Fonte: Fernandes (2002).

Absorção acústica

A capacidade de absorção sonora de um material ou meio é o que determina a qualidade acústica dos ambientes. Essa capacidade irá variar muito a depender das propriedades do material (GERGES, 2000).

Segundo Fernandes (2002), a propriedade dos materiais, que não permite que o som seja refletido por uma superfície é denominada de absorção.

A absorção acústica é capaz de diminuir a reflexão das ondas sonoras, possibilitando assim a atenuação ou a eliminação do nível de reverberação. Dessa forma é possível também diminuir os níveis de pressão sonora presentes no ambiente (FLACH, 2012).

O som é absorvido sempre que entrar em contato com um objeto físico, pois quando isso ocorre, o objeto irá vibrar, dispersando energia da onda sonora, e também em decorrência da perda por fricção dentro do material. Quando um material possui uma grande quantidade de área de interação disponível, ele é considerado um bom absorvente de som, como é o caso da lã de vidro, tecidos, cortiça, dentre outros, que são materiais porosos (LAZZARINI, 1998).

Considerando esses fatores, os materiais que são absorventes necessitam ser mais leves, de estrutura fibrosa ou porosa, para que o som perca energia quando bater nos vazios presentes no material (CARVALHO, 2006).

Conforme Almeida (2008) cita, a fração que incide no ambiente e é absorvida é chamada de coeficiente de absorção acústica (α).

A Tabela 1 apresenta alguns dos coeficientes de absorção acústica estabelecidos pela NBR 12179 (ABNT 1992) de alguns materiais utilizados na construção civil. Estes coeficientes variam entre valores de 0 a 1 sendo que o valor do coeficiente de absorção é diretamente proporcional ao ruído absorvido pelo material.

Tabela 1- Coeficientes de absorção acústica.

Material	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Materiais de construção, usuais, densos						
Revestimentos, pintura						
Reboco áspero, cal	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Reto pesado suspenso (de gesso)	0,02	-	0,03	-	0,05	-
Estuque	0,03	-	0,04	-	0,07	-
Superfície de concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Revestimento de pedras sintéticas	0,02	-	0,05	-	0,07	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	-	0,02	-
Revestimento aderente de vidro	0,04	-	0,03	-	0,02	-
Revestimento de vidro espaçado a cada 5cm de parede	0,25	0,20	0,10	0,05	0,02	0,02
Assoalhos						
Tapetes de borracha	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Taco colado	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17

Fonte: NBR 12179 (ABNT 1992, p.5).

Conforme apresentado na Tabela 1, cada material possui um valor coeficiente de absorção acústica (α) a depender das propriedades que o compõe. Conforme a NBR 12179 (ABNT, 1992), esse valor é definido para cada frequência (Hz), podendo variar a depender da frequência que o material é submetido.

Isolamento acústico

O isolamento acústico, ou o som refletido, segundo Carvalho (2006) é determinado a partir da capacidade dos materiais de impedirem a passagem da onda sonora de um ambiente para outro, como se formassem uma espécie de obstáculo. Essa característica é evidente em alguns materiais, normalmente os mais pesados, como por exemplo, o concreto, vidro e chumbo. Isso ocorre porque segundo a “Lei das Massas”, quanto maior a massa da superfície, menor é a possibilidade de vibração entre as moléculas.

Ainda, a definição de isolamento acústico conforme NBR 12179 (ABNT 1992) é de que o mesmo é o processo que tende a evitar a entrada ou saída de ruídos e sons de um ambiente.

Um isolamento, para ser eficaz, é necessário, segundo a lei de Berger, fazer uso de material isolante que possua uma resistividade acústica o mais diferente possível do meio que se deseja isolar (NEUBAUER, 2009).

A tabela 2, extraída da NBR 12179 (ABNT 1992), mostra os valores do isolamento acústico de diversos materiais.

Tabela 2- Valor do isolamento acústico de diversos materiais.

Material	Isolamento acústico (500hz) (dB)
Alvenaria de tijolo maciço (e = 10cm)	45
Alvenaria de tijolo maciço (e = 20cm)	50
Alvenaria de tijolo maciço (e = 30cm)	53
Alvenaria de tijolo maciço (e = 40cm)	55
Alvenaria de tijolo furado (e = 25cm)	10
Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-Board" (e=12mm)	18
Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-Board" com camada de ar intermediária de 10cm	30
Chapas ocas de gesso (e = 10cm)	24
Compensado de madeira (e = 6mm)	20
Compensado de madeira (e = 6mm) duas placas com camada de ar intermediária de 10cm	25
Concreto – laje entre pavimentos	68
Vidro de janela (e = 2 a 4mm)	20 a 24
Vidro grosso (e = 4 a 6mm)	26 a 32
Vidro de fundição (e = 3 a 4mm) uma placa	24
Vidro de fundição (e = 4 a 6mm) duas placa com camada de ar intermediária	36

Fonte: NBR 12179 (ABNT 1992, p.5).

2.3.2 Estudos sobre absorção e isolamento acústico

Existem vários materiais que podem melhorar as propriedades acústicas de um determinado ambiente. O uso desses materiais é definido a depender do local de utilização ou ainda da finalidade desejada.

Ensaio realizados por Flach (2012) tiveram como finalidade a análise da absorção acústica nas argamassas, onde ocorreu a substituição parcial da areia por resíduos de madeira da construção civil, casca de arroz e resíduos da indústria calçadista. A partir das análises, percebeu-se que, os CPs com menor densidade aparente, apresentaram maiores coeficiente de absorção sonora, como por exemplo, nos que foram utilizados compósitos de compensado resinado e de casca de arroz. Percebeu-se também, que nos compósitos que possuem os resíduos, o coeficiente de redução de ruído (NRC) foi superior quando comparado com o compósito de referencia (0% de resíduo).

As substituições parciais realizados foram de 5%, 10%, 25% e 50% de cada material diferente, todos apresentando resultados melhores de absorção acústica que o compósito referencia, ou seja, aparentemente os resíduos podem influenciar na absorção acústica da argamassa.

Conforme apresentado por Flach (2012), o melhor comportamento acústico foi o com substituição de compensado resinado e o pior foi com os CPs com substituição de contraforte. Essa diferença na absorção acústica pode ser justificada pela configuração física dos resíduos, que seriam as cavidades oriundas dos espaços, poros e estruturas das fibras. Sendo assim, a tendência seria de quanto maior o percentual de resíduo substituído no compósito, maior a quantidade de cavidades encontradas na face dos CPs, por consequência, uma maior absorção sonora. Isso foi obtido pelo compensado resinado e pela casca de arroz, mas não para o contraforte.

Foram realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC – UFSM ensaios de isolamento acústico em blocos cerâmicos, blocos de concreto e tijolo convencional. Para os mesmos foram utilizadas argamassa industrial para assentamento e revestimento; e os revestimentos foram em argamassa de reboco grosso. Outras especificações, referentes ao reboco externo e interno são apresentadas na Tabela 3. E os resultados encontrados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3- Especificações de reboco.

Material	Reboco externo (cm)	Reboco interno (cm)
Bloco de concreto 14x19x19 – 4 MPa	2,5	1,5
Bloco de concreto 14x19x39 – 4 MPa	2,5	1,5
Bloco cerâmico 14x19x19 – 7 MPa	2,5	1,0
Bloco cerâmico 14x19x29 – 10 MPa	2,5	1,0
Tijolo 6 furos 9x14x19 – 1,5 MPa	2,5	1,5

Fonte: Estudo UFSM.

Tabela 4- Resultados de isolamento acústico.

Material	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Bloco de concreto 14x19x19 – 4 MPa	39,5	39,8	45,1	50,3	56,1	65,2
Bloco de concreto 14x19x39 – 4 MPa	39,1	38,5	43,9	49,6	55,9	59,8
Bloco cerâmico 14x19x19 – 7 MPa	33,8	34,2	35,5	42,3	48,3	55,1
Bloco cerâmico 14x19x29 – 10 MPa	37,0	33,8	36,4	41,9	48,8	57,4
Tijolo 6 furos 9x14x19 – 1,5 MPa	39,2	37,5	41,3	47,8	56,0	57,4

Fonte: Própria autoria.

Um estudo realizado por Medina (2016) teve como principal interesse a análise dos parâmetros que influenciam o concreto leve, em relação às propriedades acústicas. Nesse, a análise foi realizada com substituição de 0 a 100%, do agregado graúdo por agregados de borracha, obtidos de diferentes pneus reciclados. Foram

testados dois tipos de materiais: o Crumb Rubber (CR); ou partículas de borracha; e fibras parcialmente revestidas com FCR (fibras plásticas e aço, misturadas com pequenas partículas de borracha). Percebeu-se que a combinação de aço com as fibras têxteis contaminadas com pó de borracha possui maior absorção acústica do que os concretos emborrachados. Também, mesmo o concreto se tornando mais leve, com a substituição de CR e FCR, o isolamento acústico é melhorado. Ou seja, em síntese, pode ser substituído de 80 a 100% do agregado graúdo, por agregados de borracha para melhorar as propriedades acústicas, porém não é indicado para função estrutural.

Neubauer (2009) realizou uma análise comparativa entre diferentes sistemas de pisos flutuantes de madeira natural submetidos a ruído de impacto, em diferentes composições, as quais são utilizadas na construção civil. Percebeu-se que, quando utilizado a tábua corrida de ipê, para o assoalho, com contrapiso obteve-se uma melhora no isolamento ao ruído de impacto. Sendo que o melhor material resiliente para isolamento de ruído foi a lã de vidro, o qual atingiu 9dB a menos do que o piso flutuante, sem a utilização do material resiliente e sem contrapiso e 16dB do piso flutuante com contrapiso.

A fim de analisar os coeficientes de absorção acústica, incluindo a transmissão, para materiais combinados, Bujoreanu *et al.* (2017), fez um estudo experimental sobre esses materiais combinados. E como resultado, verificou que os materiais que possuíam materiais têxteis em sua composição, obtiveram melhores propriedades de absorção. Já, as placas de gesso, com uma única camada de qualquer um dos materiais analisados, obtiveram propriedades melhores do que materiais com poliestireno. Percebeu-se por fim, que a densidade das placas, influenciou mais do que a própria espessura do material utilizado.

2.4 Condutividade térmica

Segundo a Ashrae (2005), pode-se dizer que o conforto térmico é obtido quando se tem uma satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Isso se dá por uma série de fatores, como por exemplo, os materiais utilizados para a construção do ambiente.

Uma das propriedades dos materiais que influenciam no conforto térmico das edificações é a condutividade térmica, a qual é definida por Senger (2012) como

sendo uma propriedade física dos materiais que é descrita como a habilidade dos mesmos de conduzir calor.

A faixa de condutividade dos materiais, conforme cita Gonzáles (2002), é ampla, possuindo grande variação a depender do material, podendo ficar entre 0,026 W/mk (espuma de poliuretano) e 389 W/mk para o cobre.

Os chamados materiais isolantes térmicos são aqueles que possuem um valor baixo de condutividade térmica, a qual é influenciada diretamente pelos vazios presentes no material. Quanto maior for o valor, melhor condutor ele será considerado e por consequência, menor será a sua resistência térmica.

A Tabela 5 apresenta alguns dos valores encontrados para a condutividade térmica de materiais utilizados na construção civil.

Tabela 5- Valores de condutividade térmica (Maioria dados de Young, Hugh D.).

Material	Condutividade térmica (W/mk)*
Aço	50,2
Vidro comum	0,8
Concreto	0,8
Fibra de vidro	0,04
Poliestireno	0,033
Madeira	0,12-0,04

*A maioria dos dados são de Young, Hugh D., University Physics, 7th Ed. Table 15-5.

Porém, a NBR 15520 (ABNT, 2003), leva em consideração a densidade do material para a determinação da condutividade térmica, conforme é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Densidade, condutividade térmica e calor específico dos materiais constituintes das vedações.

Material	Densidade (Kg/m³)	Condutividade térmica (W/mk)
Cerâmica	1800-2000	1,05
Concreto	2200-2400	1,75
Argamassa	1800-2100	1,15

Fonte: Adaptado de NBR 15520 (ABNT, 2003).

2.4.1 Estudos sobre condutividade térmica

Uma das buscas no campo da construção civil é a redução dos índices de condutividade térmica, para isso, são testados diferentes materiais que atuem como isolantes térmicos.

Um estudo desenvolvido por Pessette e Pelisser (2012), onde fez-se uso da borracha, com substituição de 10 e 20% do volume de concreto, pode-se perceber que, o índice de condutividade térmica do concreto foi reduzido em aproximadamente 20% com o uso de 10% de borracha. Já para as argamassas, com os mesmos percentuais de substituição, teve uma redução de 60%, quando do uso de 20% de borracha. Ou seja, constatou-se que todas as placas com substituição de borracha melhoram o isolamento térmico.

A média para a condutividade térmica do concreto encontrada sem nenhuma substituição foi de 1,38W/mk, já para o concreto com 10% de substituição reduziu para 1,12W/mk. Já para a argamassa sem substituição, o valor encontrado era de 2,05W/mk e reduziu para 0,82 com 20% de substituição.

Pesquisa realizada por Angelin (2014) apresentou o estudo de concretos leves estruturais, elaborados com duas graduações distintas de argila expandida. O mesmo, realizou 5 traços distintos. Verificou-se que os valores da condutividade térmica são diretamente influenciados pelo valor da massa específica do concreto, especialmente pelo teor de argila, onde o aumento da condutividade térmica ocorre com o aumento da massa específica. Também, quanto maior o teor de argila, maior a condutividade térmica.

Além disso, os índices obtidos no ensaio de condutividade térmica nos concretos com 100% de argila expandida foram menores em comparação ao concreto sem argila expandida nacional, sendo que, apresentou um valor máximo de condutividade térmica de 1,00W/mK (ANGELIN, 2014).

Não só nas edificações se tem uma preocupação em relação ao conforto térmico, mas também no clima urbano como um todo, o qual é influenciado pela superfície impermeável e seu nível de exposição ao sol, aos tipos de pavimentos e a densidade das edificações. Uma pesquisa realizada por Villar Filho *et al.*(2014) buscou analisar na cidade de João Pessoa – PB, os diferentes tipos de revestimentos utilizados nas vias e sua influencia climática.

Villar Filho *et al.*(2014), verificou que as características superficiais e as de exposições aos ventos predominantes locais das vias urbanas contribuem significativamente para as condições microclimáticas, onde, o ganho de calor pelas superfícies horizontais é superior as demais superfícies verticais independente da época do ano e da posição solar, em locais de baixa latitude, onde o sol incide perpendicularmente durante todo o ano. Verificou-se também, que esses ganhos de

calor sofrem alterações durante o ano e que as superfícies asfaltadas nos horários de maiores temperaturas do ar, podem apresentar temperaturas superficiais até 5°C mais elevada do que em outros horários.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta como foi realizada a caracterização dos materiais utilizados na produção dos concretos em análise, a dosagem dos mesmos e os métodos experimentais utilizados no estudo, tanto do estado fresco, quanto do estado endurecido.

Entende-se a dificuldade de reproduzir um concreto autoadensável já estudado e utilizado em obras, como é esse caso. Por isso, tentou-se buscar os materiais mais próximos do utilizado pela Usina de Concreto, a fim de obter parâmetros similares.

3.1 Matéria Prima

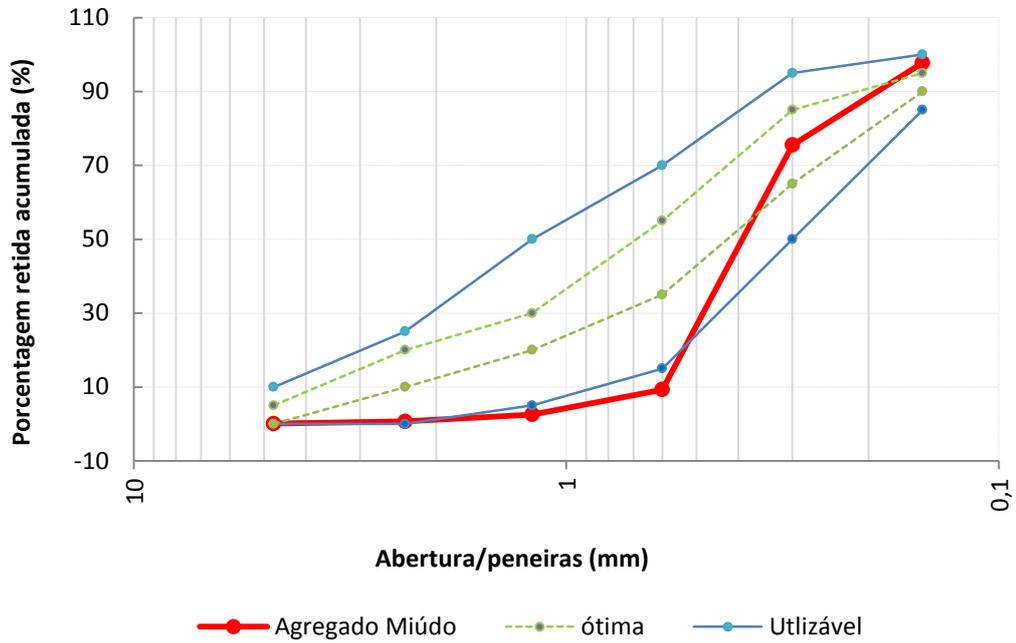
3.1.1 Agregados

3.1.1.1 Composição granulométrica

Como agregado miúdo, foi utilizada areia média, comercializada na cidade de Alegrete –RS, proveniente de Manoel Viana - RS pela Areeira Bairro. De agregado graúdo, utilizou-se o pedrisco, comercializado na cidade de Alegrete –RS, sendo britada na Pedreira Pedra Rosada localizada também na cidade de Alegrete –RS.

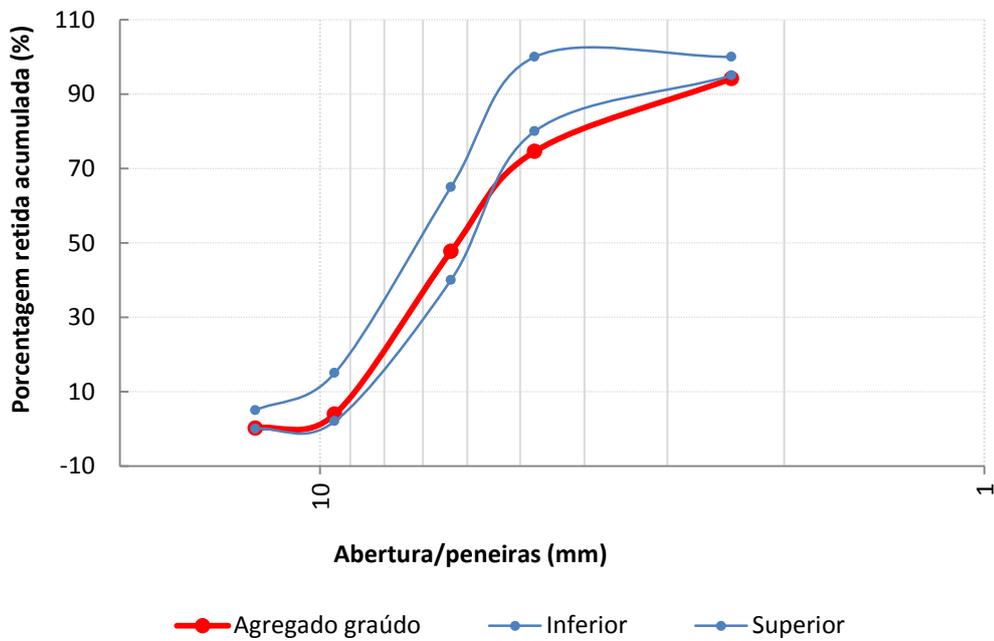
Inicialmente foi realizada, no Laboratório de Engenharia Civil – UNIPAMPA – Campus Alegrete, a composição granulométrica dos agregados a serem utilizados, conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 7217 (ABNT, 1987). Foram separados em torno de 2kg do agregado graúdo e 0,5kg do agregado miúdo para a realização deste ensaio. A Figura 7 mostra a curva de distribuição granulométrica do agregado miúdo e a Figura 8 do agregado graúdo, para ambos, estão plotados os limites de composição, estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

Figura 7- Curva Granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Própria autoria

Figura 8- Curva Granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Própria autoria

De acordo com a Figura 7 e Figura 8, os diâmetros máximos dos agregados miúdo e graúdo são 2,36mm e 9,5mm, respectivamente. O módulo de finura do agregado miúdo é de 1,84.

Além disso, pode ser observado que no agregado graúdo a distribuição está praticamente toda ela dentro do limite estabelecido pela norma, já o agregado miúdo está um pouco distorcido, de acordo com o ensaio realizado, com material com granulometria de 1,2mm e 0,6mm. Como o traço foi testado com esse material, obtiveram-se bons resultados com os ensaios no estado fresco e a resistência à compressão ficou acima do esperado, não foi trabalhado com acréscimo de material.

Um dos fatores que pode ter influenciado o bom desempenho do CAA, mesmo sem o acréscimo de material, é a característica dos agregados utilizados, que, pela sua granulometria diversificada, podem preencher bem os vazios um do outro. Assim, por exemplo, tirando os finos em excesso do agregado graúdo e colocando esses no agregado miúdo, os dois agregados ficam com boa composição. Desta forma, não importa que cada agregado por separado fique fora dos limites de mistura de todos, eles têm uma granulometria diversificada, a qual permite preencher os vazios e gerar um esqueleto granular coeso.

3.1.1.2 *Massa específica*

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada conforme procedimentos descritos na NBR 9775 (ABNT, 2012), a qual é realizada por meio do frasco de *Chapman*. Já para os agregados graúdos, utilizou-se a NBR NM 53 (2009), pela qual se determina a massa específica. A Tabela 7 apresenta os valores da massa específica dos agregados.

Tabela 7- Massa específica dos agregados.

Material	Massa Específica (g/cm³)
Agregado Miúdo	2,66
Agregado Graúdo	3,50

Fonte: Própria autoria.

3.1.2 Materiais aglomerantes

3.1.2.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para o traço foi o CP IV-32 Votoran. Afim de reprodução mais semelhante ao traço, o mesmo foi doado pela Usina de Concreto. Este cimento é pozolânico e apresenta resistência de 32 MPa. A composição, exigências físicas e mecânicas, são apresentadas nas Tabelas 8, 9 e 10, respectivamente, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 8- Composição do Aglomerante.

Tipo	Sigla	Classe	Norma	Clínquer+ gesso	Calcário	Pozolana
IV	CP IV	32	5736	45 a 87%	0 a 5%	15 a 50%

Fonte: Votorantim Cimentos (2015).

Tabela 9- Exigências Físicas e Mecânicas.

Finura		Tempo de pega		Expansibilidade		Resistência a Compressão (MPa)			
Resíduo na Peneira 75µm (%)	Área Específica (m²/kg)	Início (h)	Término (h)	À frio (mm)	À quente (mm)	1 dia	3 Dias	7 dias	28 dias
≤8,0		≥1	≤12(1)	≤5	≤5	-	≥10	≥20	≥32

Fonte: Votorantim Cimentos (2015).

*(1) Ensaio Facultativo

Tabela 10- Exigências químicas do Aglomerante.

Resíduo Insolúvel (%)	Perda ao Fogo (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	CO ₂ (%)	S(%)
-	≤4,5	≤6,5	≤4,0	≤3	-

Fonte: Votorantim Cimentos (2015).

A massa específica do cimento é de 2,91 g/cm³ obtida como os procedimentos descritos na NBR NM 23 (2000) a qual faz uso do frasco de *Le Chatelier*.

A distribuição granulométrica do cimento foi determinada pelo ensaio de granulometria a laser. A amostra foi ensaiada no Laboratório de Farmacologia, da UNIPAMPA – Uruguaiana, utilizando-se o equipamento granulômetro a laser da marca Malvern, modelo Mastersizer 2000. O ensaio foi realizado com dispersão por via úmida (dispersante Ethanol), analisado em uma faixa de tamanho de partículas

de $0.02\mu\text{m}$ a $2000\mu\text{m}$. Esta curva é apresentada na Figura 11, onde é comparada com a granulometria apresentada pela CCA.

3.1.2.2 Cinza de Casca de arroz

Utilizou-se, na substituição do cimento, a Silcca® Nobre, um dos tipos de CCA. O material utilizado é produzido pela Sílica Verde do Arroz Ltda, empresa localizada na cidade de Alegrete – RS e comercializada pelo Grupo Pilecco Nobre.

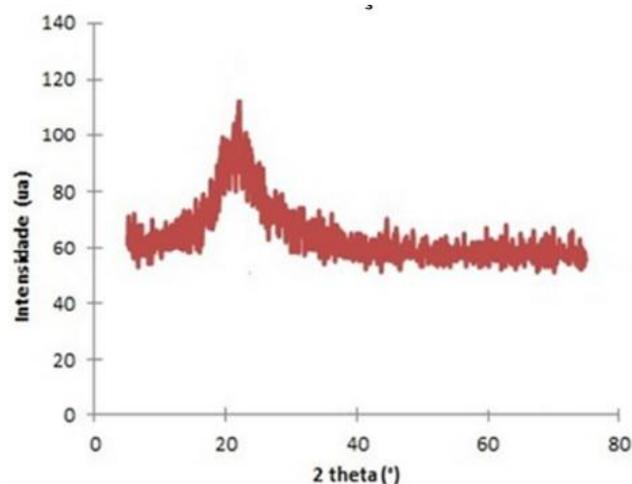
Figura 9- Silcca® Nobre



Fonte: Própria autoria.

Conforme encontrado por Marangon *et al* (2013), a área superficial da CCA é de aproximadamente $21000\text{m}^2/\text{kg}$. Outra característica encontrada pelos autores citados é que, a partir da análise de difração de raio-x, pôde-se perceber que o material em estudo apresenta uma estrutura predominante amorfa, isso é representado pela Figura 10, onde pode ser percebido pelos alargamento dos picos e aparecimento de bandas.

Figura 10- Difração de raio-x.



Fonte: Marangon *et al*. (2013)

Também, como apresentada na Figura 11, foi realizado o ensaio de massa específica da CCA, conforme normatizado pela NM 23/2001, onde se utiliza o frasco de *Le Chatelier*. Nesse, foi encontrado o valor de 2,16g/cm³.

A Tabela 11 apresenta as características químicas da cinza de casca de arroz, assim como os valores de perda ao fogo que são fornecidas pelo fabricante.

Tabela 11- Composição química da CCA.

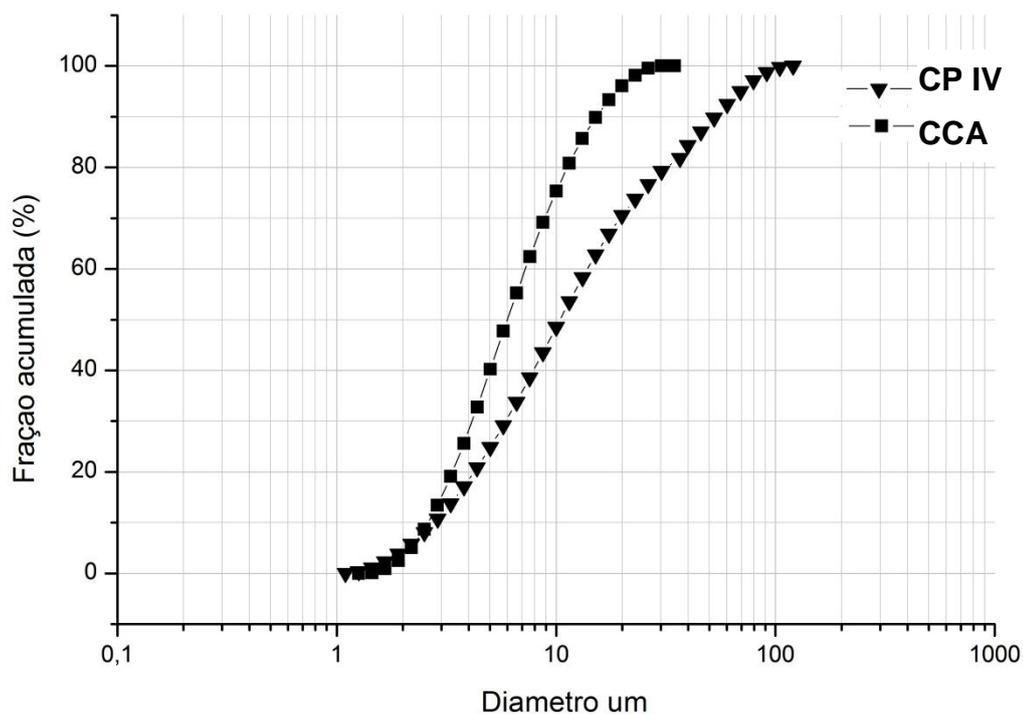
Perda ao Fogo (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO ₃ (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)
3,50	91,48	0,00	0,05	0,32	0,15	0,04	0,36	1,40	0,32	0,45

Fonte: Pilecco Nobre.

A distribuição granulométrica da CCA foi realizada no laboratório de Farmacologia, da UNIPAMPA – Uruguiana. O equipamento granulométrico a laser da marca Malvern foi utilizado para tal procedimento. O mesmo faz uso de etanol, como material dispersante. A faixa do tamanho das partículas é de 0.02µm a 2000µm.

Percebeu-se assim, conforme apresentado na Figura 11, que a CCA possui uma granulometria mais fina quando comparado com o cimento.

Figura 11- Curva Granulométrica CCA x CPIV.

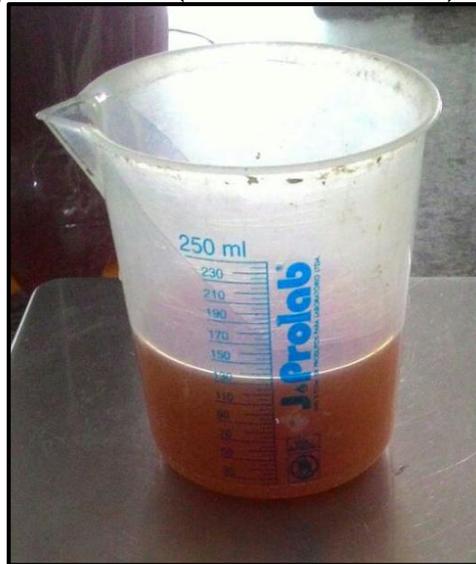


Fonte: Própria autoria.

3.1.3 Aditivo superplastificante

Neste estudo, fez-se o uso do aditivo superplastificante ViscoCrete® 5700 (Figura 12), da Sika. Seu uso é indicado para concreto de alta resistência inicial, concreto de alto desempenho (CAD) e concreto autoadensável (CAA). O mesmo segundo fabricante atende os requisitos da norma NBR 11768 (ABNT, 2011), nos tipos SP-I N e SP-II N.

Figura 12- Aditivos superplastificante (ViscoCrete® 5700).



Fonte: Própria autoria.

Quando utilizado, permite uma alta taxa de redução de água, mantendo uma excelente fluidez e coesão da massa.

Este aditivo possui uma densidade de aproximadamente $1,07\text{kg} \pm 0,02$ kg/litro.

3.2 Produção de amostras

3.2.1 Traço do CAA

Foi utilizado como referência o traço de concreto autoadensável fornecido pela Usina de Concreto, desenvolvido para obter um f_{ck} de 25 MPa. A relação água cimento é de 0,5 como definido pela Usina.

Este traço foi modificado fazendo a substituição de 10%, 20% e 30% de cimento em peso por CCA, permanecendo todos os outros materiais iguais. Também foi produzido o traço ótimo encontrado no trabalho de Dalcin *et al* (2015), o qual foi de 15% de substituição de CCA, para um concreto de 45MPa.

Na tabela 12 são apresentados os concretos realizados em laboratório para o presente trabalho.

Tabela 12- Traço do concreto dosado na Usina de Concreto e executado em laboratório.

Material (Kg)	Referência Ref.	10% subst. 10%	20% subst. 20%	30% subst. 30%	Dalcin (2015) 15%
Cimento	400,00	360,00	320,00	280,00	305,75
CCA	0,00	40,00	80,00	120,00	53,96
Água	210,00	210,00	210,00	210,00	184,51
Superplastificante	3,20	3,20	3,20	3,20	8,46
Agregado Miúdo	731,00	731,00	731,00	731,00	877,69
Agregado Graúdo	904,00	904,00	904,00	904,00	877,69
Cinza Volante	-	-	-	-	63,48
MVA	-	-	-	-	0,026

Fonte: Própria autoria.

3.2.2 Concreto produzido

Para a realização da mistura, foi utilizada a betoneira. A sequência de produção adotada foi:

- 1º) Limpar qualquer material existente na parte interna do misturador e umedecê-lo.
- 2º) Colocar no misturador o agregado graúdo com uma quantidade pequena de água, apenas para umedecer o agregado.
- 3º) Em seguida, acrescentar o agregado miúdo e o material cimentício, misturar até ficar homogêneo.
- 4º) Após a mistura dos materiais secos, adicionar cerca de 80 % da água de mistura.
- 5º) Adicionar o superplastificante.
- 6º) Adicionar o restante de água.
- 7º) Misturar até ficar homogênea e no aspecto de CAA.

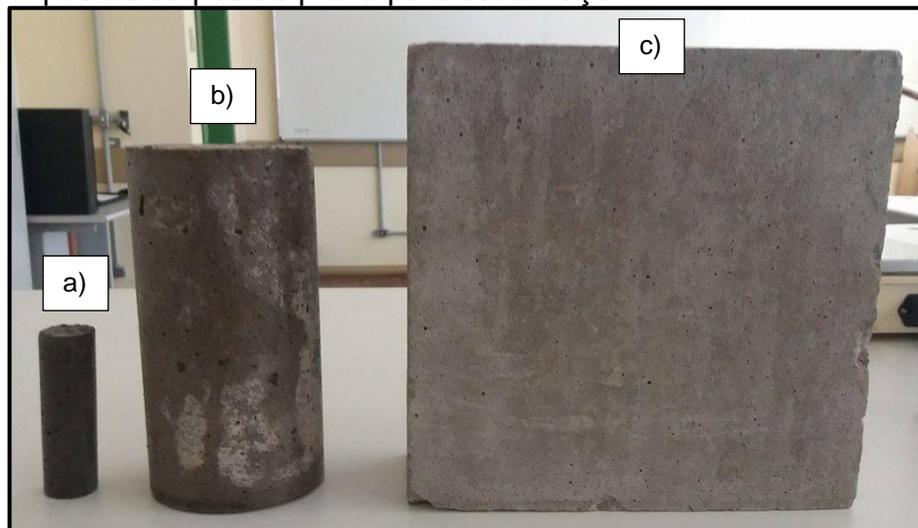
Ao todo foram produzidos 30 corpos de prova cilíndricos 100x200mm, 3 corpos de prova quadrados 250x250x100 e 3 corpos de prova cilíndricos 29x100mm para cada traço em estudo, para os ensaios de 7,28,56 e 91 dias.

Os corpos de prova foram moldados e curados conforme descrito na NBR 5738 (ABNT, 2015), o qual exige que os mesmos sejam mantidos até o início dos ensaios em câmara úmida, com no mínimo 95% de umidade relativa do ar, atingindo toda a sua superfície livre, com temperatura de $(23 \pm 2^\circ\text{C})$.

A Figura 13 apresenta os três tipos de corpos de prova produzidos para cada traço em estudo, sendo o a) 29x100mm; b)100x200mm e c)300x300x100mm.

O primeiro corpo de prova (a) foi produzido para o ensaio de isolamento e absorção acústica para a frequência de 50 a 1600 Hz, o segundo corpo de prova (b) para o isolamento de absorção acústica para a frequência de 500 a 6300 Hz. Já o ultimo corpo de prova (c) para o ensaio térmico.

Figura 13- Tipos de corpos de prova para cada traço.



Fonte: Própria autoria.

3.3 Ensaios no estado fresco

Para a caracterização do concreto autoadensável produzido, foram realizados ensaios no estado fresco, que são diferenciados do concreto convencional, justamente pelo fato de ser necessário analisar as características de fluidez, viscosidade, habilidade passante e a resistência à segregação. Tais ensaios são definidos e especificados pela NBR 15823 (ABNT, 2010), constituída por seis partes que determinam a forma de realização de cada ensaio.

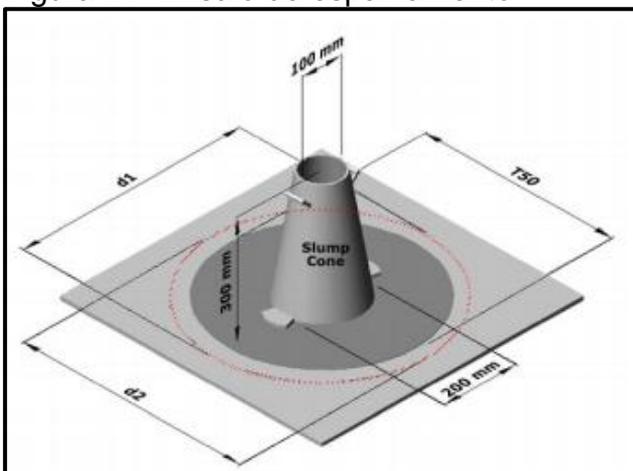
Os principais ensaios de caracterização no estado fresco são:

3.3.1 Ensaio de Espalhamento (slump flow)

Segundo a NBR 15823-2 (2010), esse ensaio é usado para avaliar a fluidez da amostra do concreto em estudo. É um dos ensaios mais utilizados, podendo ser realizado de forma fácil tanto no laboratório, quanto no campo. A partir dele é possível a verificação do preenchimento do CAA nas fôrmas. O equipamento utilizado é o mesmo do ensaio de tronco de cone *Abrams*, porém, nesse é medido o espalhamento do concreto e o tempo de escoamento.

O ensaio consiste em preencher o tronco de cone com o concreto autoadensável, sem fazer uso de qualquer compactação, após esse preenchimento, o tronco é erguido, lentamente, de tal forma, que o concreto flua e se estenda no centro da placa plana e rígida posicionada abaixo do tronco de cone, e então, determina-se a média de dois diâmetros perpendiculares do círculo que se forma, que é o espalhamento do concreto. (CAVALCANTI, 2006).

Figura 14- Ensaio de espalhamento



Fonte: Cavalcanti (2006, p. 53).



Fonte: Própria autoria.

De acordo com Alencar *et al* (2008), outro fator que pode ser observado por este ensaio é se há segregação ou não do material, isso é realizado de forma visual, verificando se o agregado graúdo está distribuído de forma homogênea em toda a mistura. Essa verificação pode ser percebida na Figura 15, onde são mostrados 4 tipos diferentes de mistura; onde:

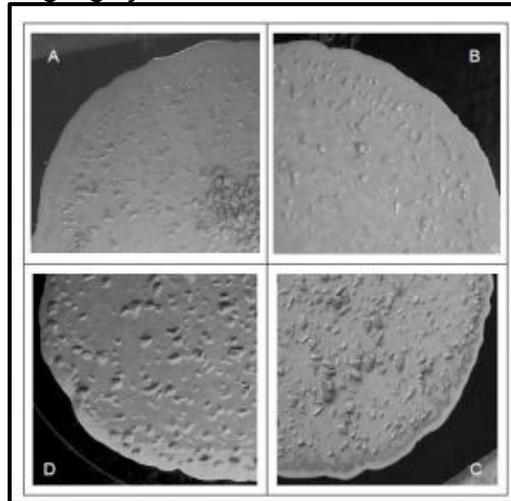
A) mistura apresenta alto nível de segregação com concentração centralizada de agregados graúdos, apenas contendo argamassa nas extremidades.

B) mistura com moderado nível de segregação, onde a brita não conseguiu acompanhar a argamassa até a extremidade da placa.

C) mistura com uma pequena exsudação de água, que pode ser notada na extremidade da mesma.

D) mistura adequada, como boa fluidez e coesão.

Figura 15- Exemplos de segregação do material



Fonte: Alencar *et al* (2008).

Os valores normatizados para tal ensaio são apresentados na Tabela 13:

Tabela 13- Requisitos para classificação do CAA – Espalhamento.

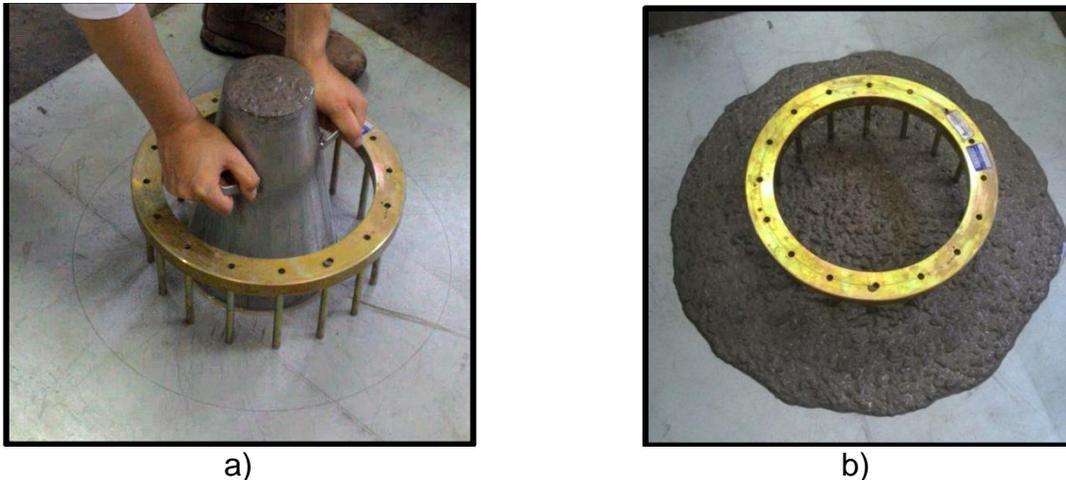
Classes de espalhamento do CAA		
Classe	Espalhamento (mm)	Aplicação
SF1	550 a 650	Estruturas não armada ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre. Concreto autoadensável bombeado. Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto autoadensável.
SF2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes.
SF3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm).

Fonte: Adaptado de NBR 15823 (ABNT, 2010).

3.3.2 Anel J

Segundo a NBR 15823-2 (2010), esse ensaio é usado para avaliar a habilidade passante do material. Este ensaio é realizado com o mesmo aparato do ensaio anterior, ou seja, o tronco de cone *Abrams*, onde inicialmente também o concreto é introduzido no cone e segue-se o mesmo procedimento do ensaio de espalhamento, o diferencial é que no seu entorno é posicionado o anel J, conforme é mostrado na Figura 16-a. O tronco de cone é retirado e a amostra irá fluir por entre os dentes do anel, conforme Figura 16-b.

Figura 16- Anel J



Fonte: Própria autoria.

O resultado do ensaio consiste em determinar a diferença entre o diâmetro médio encontrado no ensaio de espalhamento e o diâmetro médio encontrado a partir das medidas realizadas em duas direções perpendiculares nesse ensaio de anel J.

Os valores normatizados para tal ensaio são apresentados na Tabela 14:

Tabela 14- Requisitos para classificação do CAA – Anel J.

Classes de habilidade passante do CAA		
Classe anel J	Anel J (mm)	Aplicações
PJ1	24 a 50	Adequado para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.
PJ2	0 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de 60 mm a 80 mm.

Fonte: Adaptado de NBR 15823 (ABNT, 2010).

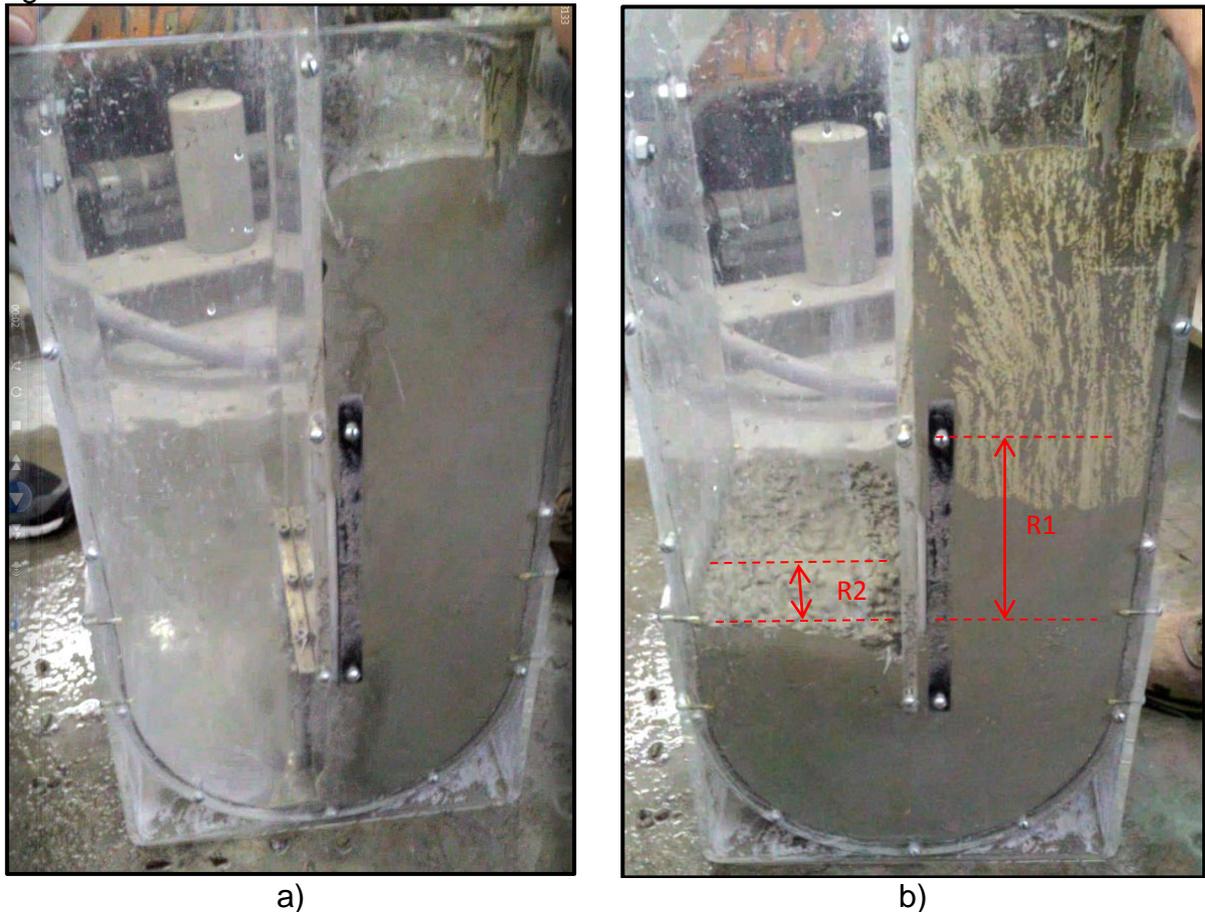
3.3.3 Caixa U

Este ensaio possibilita avaliar a habilidade de preenchimento do CAA, também, consiste em caracterizar a prevenção da segregação, o autonivelamento e a capacidade de preencher todos os espaços (MARANGON, 2006).

Neste ensaio, o concreto é introduzido no aparato em queda livre, de tal forma que o tubo U fique completamente preenchido, sem que haja nenhuma compactação, conforme pode ser observado na Figura 17-a.

Quando a porta que separa os dois compartimentos é aberta, o concreto flui, escoando para o outro compartimento (Figura 17-b), quando o movimento estabilizar, medem-se R_1 e R_2 , sendo o material que ficou a esquerda e o material que ficou a direita do compartimento, conforme Figura 17-b.

Figura 17- Caixa U



Fonte: Própria autoria.

Essa diferença de altura entre as duas superfícies horizontais do concreto é dita como altura de preenchimento, e deve ficar entre 0 e 30mm, sendo que, quanto

menor a altura, maior a habilidade de preenchimento que o concreto possui (VIEIRA, 2010).

3.3.4 Funil V

Este ensaio consiste em medir o tempo para que um determinado volume de concreto escoe até o orifício inferior do funil. O mesmo é utilizado para determinação da viscosidade do concreto autoadensável, pela medida do tempo de escoamento de uma massa de concreto através do funil V.

O ensaio consiste em preencher todo o aparato com concreto até a sua borda (Figura 18), com o orifício inferior completamente fechado. Após o preenchimento, o orifício é aberto, e mede-se o tempo de esvaziamento total do funil (CAVALCANTI, 2006).

Figura 18- Ensaio funil V.



Fonte: Própria autoria.

Os valores normatizados para tal ensaio são apresentados na Tabela 15:

Tabela 15- Requisitos para classificação do CAA – Funil V.

Classes de viscosidade plástica aparente do CAA		
Classe Funil V	Funil V (s)	Aplicação
VF1	<9	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação. Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.
VF2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as fôrmas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.

Fonte: Adaptado de NBR 15823 (ABNT, 2010).

Os valores encontrados na bibliografia, para valores de tempo de escoamento pelo funil V recomendados por diversos autores é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16- Valores de tempo de escoamento pelo funil V recomendados por diversos autores.

Referências	Tempo (s)	
	Mínimo	Máximo
EFNARC (2002)	6	12
Gomes (2002)	10	15
Gomes et al. (2003a)	7	13
Araújo et al (2003)	6	12
Noor e Uomoto (1999)	9,5	9,5
Peterson (1988 e 1999)	5	15

Fonte: Adaptado de Tutikian e Dal Molin (2008).

3.4 Ensaios mecânicos

Do concreto produzido foram retirados trinta corpos de prova cilíndricos (diâmetro 100mm, altura 200mm), para cada traço, para a realização dos ensaios mecânicos de resistência à compressão e de resistência à tração por compressão diametral. Sendo que foram destinados 6 corpos de prova para cada idade (7, 28, 56 e aos 91 dias).

3.4.1 Resistência à compressão axial

Inicialmente, os corpos-de-prova, foram armazenados em câmara úmida, com controle de temperatura e umidade, mantidos nesse local até a idade de ruptura, a fim de realizar corretamente o processo de cura dos mesmos.

Para o ensaio de resistência à compressão foi utilizada a máquina de ensaio universal da marca EMIC com capacidade de 200KN (Figura 19). Sendo que, para que o ensaio reproduza um valor confiável, os corpos de prova (CP), necessariamente precisam estar com as faces perfeitamente rematadas para não gerar respostas indevidas, conforme é citado na NBR 5738 (2015). Para isto, as faces foram retificadas com a Retificadora Automática para Corpo de prova – Mod: RCP Automática, do laboratório de Eng. Civil Unipampa.

Figura 19- Ensaio à compressão.



Fonte: Própria autoria.

Além disso, conforme é descrito na NBR 5739 (ABNT, 2007), antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e dos CP's foram limpas e secas antes do CP ser colocado em posição de ensaio. Quando posicionado foi bem centralizado no prato inferior com auxílio dos círculos concêntricos de referência.

O carregamento de ensaio foi aplicado de forma contínua, sem choques, com uma velocidade de carregamento de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s, sendo que essa velocidade

foi mantida constante durante todo o ensaio. O mesmo foi interrompido quando houve uma queda da força, a qual indicou a ruptura.

A resistência à compressão é calculada através da seguinte equação:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

f_c = resistência à compressão, em MPa;

F= resistência máxima alcançada, em N;

D= diâmetro do corpo de prova, em mm.

3.4.2 Resistência à tração por compressão diametral

Para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, foi utilizada a máquina de ensaio universal da marca EMIC com capacidade de 200KN.

O ensaio, baseado de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 1994), consiste em posicionar o corpo de prova, de tal forma, que permaneça em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da máquina de compressão.

Conforme é apresentado na Figura 20 e estipulado pela NBR 7222 (ABNT, 1994), são posicionadas duas tiras de chapa dura de fibra de madeira (especificadas na NBR 10024-2012). Após isso, os pratos da máquina são ajustados até obter uma compressão suficiente para manter em posição o CP.

Figura 20- Ensaio à tração por compressão diametral.



Fonte: Própria autoria.

A resistência à tração por compressão diametral é calculada através da seguinte equação:

$$f_c = \frac{2F}{\pi \cdot d \cdot L} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

f_c = resistência à tração por compressão diametral, em MPa;

F= resistência máxima obtida no ensaio, em N;

d= diâmetro do corpo de prova, em mm;

L= altura do corpo de prova, em mm.

3.4.3 Ensaio de esclerometria de reflexão

Este ensaio é não-destrutivo, e mede a dureza superficial do concreto, fornecendo assim elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. O mesmo é regido pela NBR 7584 (ABNT, 2012).

O aparelho necessário para a execução deste ensaio é o esclerômetro, um equipamento leve e de fácil manuseio. Porém conforme cita Pereira (2010), os valores nem sempre são precisos, pois seu resultado depende da uniformidade da superfície, da condição de umidade, da carbonatação superficial e da rigidez do elemento estudado.

Para esse ensaio foi utilizado o esclerômetro de reflexão Schmidt (Figura 21), o qual é constituído por uma pedra de desbaste, bigorna e o corpo do equipamento.

Figura 21- Materiais constituintes do esclerômetro: 1) Bigorna; 2) Pedra de desbaste; 3) Esclerômetro de reflexão.



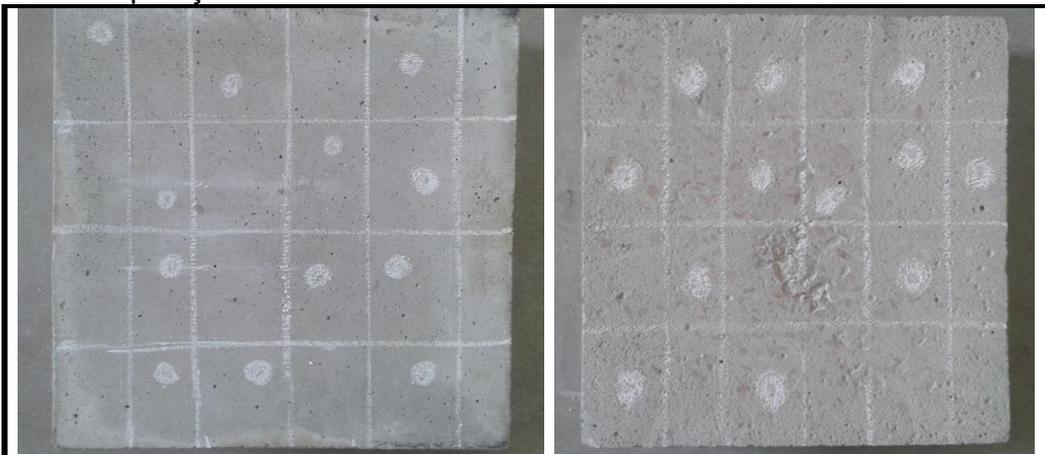
Fonte: Fontana (2015, p.24).

Conforme é descrito pela NBR 7584 (ABNT, 2012), o esclerômetro de reflexão é constituído por uma massa-martelo que impulsionada por mola, se choca através de uma haste, com ponta em forma de calota esférica, com a área de ensaio. Uma parte da energia de impacto é utilizada na deformação permanente provocada na área de ensaio e outra atua de forma elástica, possibilitando que o martelo retorne ao seu estado inicial. Em decorrência disso, admite-se que quanto maior a dureza da superfície em ensaio menor será a parcela referente à deformação permanente e por consequência maior será a reflexão do martelo.

Para iniciar o ensaio, a superfície do concreto ensaiada deve estar seca, limpa e plana. A partir disso, o equipamento é posicionado de tal maneira, que seja possível o operador pressionar o êmbolo contra a superfície de concreto, quando o êmbolo e o martelo são empurrados para o interior da superfície, a trava libera o martelo, assim, o mesmo aplica uma energia de impacto no êmbolo a qual é transmitida ao concreto. O martelo se movimenta retornando ao seu estado inicial com a mesma intensidade, possibilitando a leitura da medida de impacto refletido, também chamada de índice esclerométrico.

Este ensaio foi realizado em dois (2) corpos de prova retangulares (250x250x100mm) de cada traço. Sendo que, os pontos são inicialmente definidos no corpo de prova, sendo aleatórios, conforme a Figura 22. Nesse, foram realizadas 12 leituras em cada.

Figura 22- Disposição das leituras do índice esclerométrico.



Fonte: Própria autoria.

3.5 Ensaios físicos

3.5.1 Ensaios Acústicos

Para ambos os ensaios acústicos, absorção e isolamento, a norma utilizada como base foi a ISO 10534-1 (1996), já que não foram encontradas normas brasileiras que apresentam o ensaio.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Mecânica Aplicada da UNIPAMPA - Campus Alegrete com o equipamento AWA6290T (Figura 23), o qual trabalha com duas faixas de análise da frequência, de 50 Hz a 1600 Hz e a outra de 500 Hz a 6300 Hz. Os corpos de prova são diferentes a depender da faixa em análise. As especificações estão apresentadas na Tabela 17:

Tabela 17- Especificações faixas de frequência.

Faixa	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Amostras
50 Hz a 1600 Hz	10	2,9	3
500 Hz a 6300 Hz	10	10	3

Fonte: Própria autoria.

Figura 23- Equipamento AWA6290T.



Fonte: Própria autoria.

As amostras de 10 cm de diâmetro foram retiradas dos corpos de prova cilíndricos (100x200mm), já as amostras de 2,9 cm de diâmetro, em função da dificuldade de encontrar serra copo compatível, foram concretadas em tubos metálicos com esse diâmetro. As amostras podem ser observadas na Figura 24.

Figura 24- Amostras para absorção e isolamento acústico.



Fonte: Própria autoria.

O ensaio de absorção acústica consiste em posicionar a amostra no tubo de impedância, devidamente vedado com silicone, conforme Figura 25. Este tubo possui um alto falante e dois microfones por onde passa a onda sonora. A onda se movimenta no interior do tubo, marcando sempre à distância em relação a sua posição original. Quando iniciado o ensaio, o equipamento gera um ruído branco, que contém todas as faixas de frequência, este ruído é amplificado e emitido pelo autofalante no interior do tubo, e então, os microfones fazem a leitura do ruído. Além disso, os microfones fazem a leitura do espectro que é refletivo, e então, o software calcula o coeficiente de absorção da amostra (ISO 10534-1, 1996).

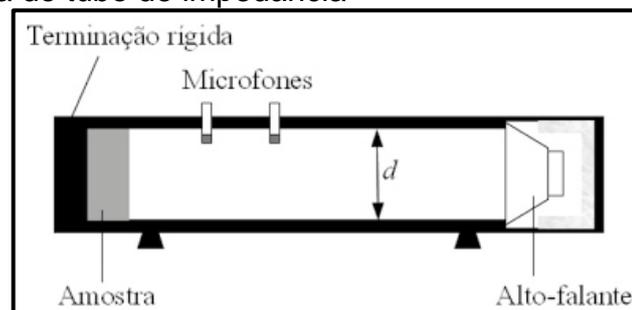
Figura 25- Corpo de prova vedado com silicone.



Fonte: Própria autoria.

A Figura 26 apresenta uma representação do tubo de impedância utilizado no ensaio de absorção sonora segundo a norma ISO 10354-1 (ABNT, 1996).

Figura 26- Esquema do tubo de impedância



Fonte: ISO 10534-1 (1996)

Já para o ensaio de isolamento acústico, foi utilizado o mesmo equipamento, porém, sua montagem é diferente: ao invés de dois microfones, são utilizados quatro. Para evitar que o som refletido seja medido novamente pelos últimos dois

microfones, no final do tubo, são posicionadas 5 espumas de alta capacidade de absorver som, conforme Figura 27 (ISO 10534-1 - 1996).

Figura 27- Encaixe das espumas para ensaio de isolamento acústico.



Fonte: Pachla (2015).

3.5.2 Ensaio de absorção térmica

O ensaio de absorção térmica foi realizado no Laboratório de Mecânica Aplicada da UNIPAMPA - Campus Alegrete no equipamento *LaserComp* (Figura 28). Este equipamento segue as normas ISDO 8302, ASTM C177 e EN 1946 e apresenta alta precisão com uma estabilidade de temperatura na superfície de 0.01 °C, sendo que o mesmo trabalha com o Método de Placa quente protegida. Para este ensaio, foram produzidas 3 amostras de mesma medida nas duas dimensões de (250x250x100mm) de concreto, conforme Figura 29. Por restrições do equipamento, as amostras precisam necessariamente ser de mesma medida nas duas dimensões. A temperatura para realização dos ensaios foi de 20°C para a placa fria (inferior) e de 40°C para a placa quente (superior).

Figura 28- LaserComp.



Fonte: Própria autoria.

Figura 29- Amostra para condutividade térmica.



Fonte: Própria autoria.

O corpo de prova foi colocado no compartimento demonstrado na Figura 28, e a porta frontal foi fechada. A partir daí, o software calcula o valor da condutividade térmica (k), pela equação abaixo.

$$K = \frac{N \cdot Q \cdot \Delta x}{\Delta T} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

K = condutividade térmica em $m.W/m.K$;

N = fator de calibração do equipamento em $W/(m.K.cm)$;

ΔT = diferença entre a temperatura das placas quente e fria em mV

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Objetiva-se nesse capítulo analisar as propriedades físicas e mecânicas dos diferentes concretos autoadensáveis em estudo. O traço considerado referência é o mesmo que utilizado na construção de prédios na cidade de Alegrete, do qual se fez a substituição parcial, em massa, do cimento CP IV pela CCA. Comparando assim, tanto propriedades do estado fresco, que viabilizem a execução e utilização do CAA, quanto às questões relacionadas à resistência e desempenho térmico e acústico.

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos com os traços antes mencionados e também com o traço ótimo desenvolvido por Dalcin *et al* (2015), e a comparação do desempenho térmico e acústico das paredes de concreto realizadas com esses concretos com as paredes de alvenaria convencional e estrutural.

4.1 Propriedades no estado fresco

Para a avaliação da trabalhabilidade e características do concreto autoadensável produzido, foram realizados ensaios no estado fresco, os quais são diferenciados do concreto convencional, justamente pelo fato de ser necessário analisar as características de fluidez, viscosidade, habilidade passante e a resistência à segregação. Dos 4 ensaios realizados, 3 são normatizados pela NBR 15823 (ABNT, 2010), o outro não possui normatização brasileira, sendo então definido pela EFNARC (2002).

Os resultados encontrados para tais ensaios em cada traço desenvolvido, bem como do traço ótimo de Dalcin *et al* (2015), são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18- Resultados dos CAAs no estado fresco.

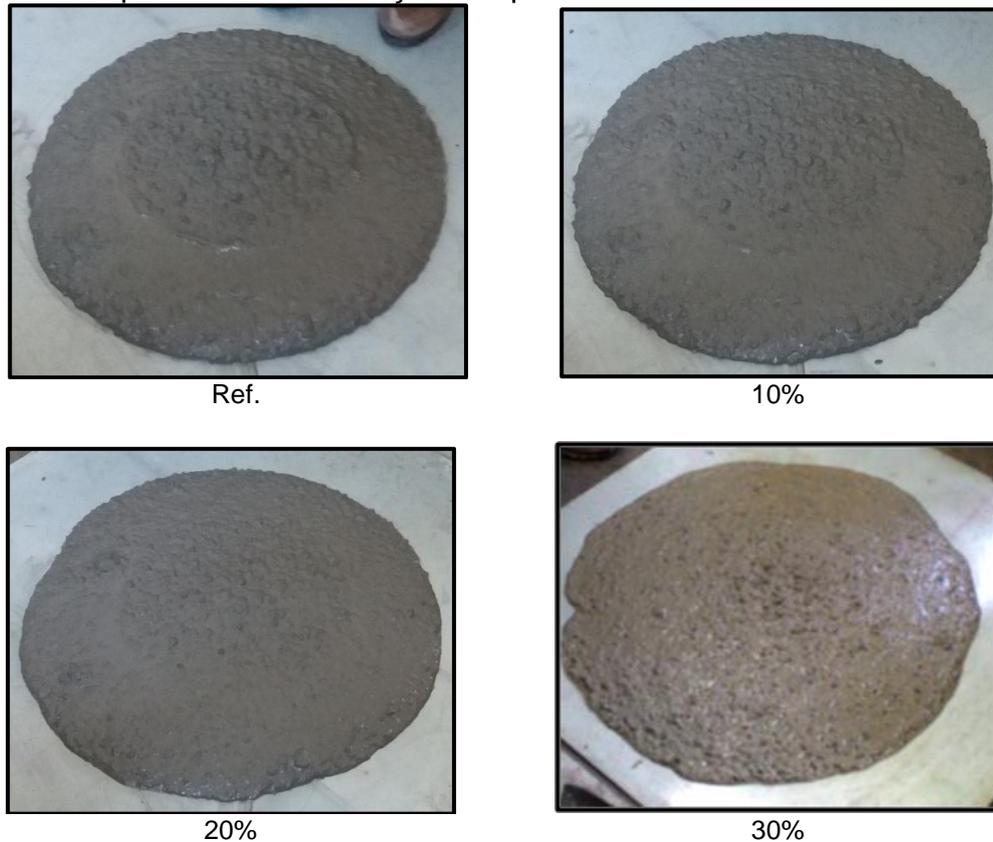
Traço	Espalhamento (mm)	Anel J (mm)	Funil V (s)	Caixa U (R1-R2)(mm)
Ref.	665	20	11	1,5
10%	635	25	11	2,0
20%	597	22	11	4,0
30%	525	50	17	8,0
Dalcin (15%)	690	40	10	2,0
NBR 15823	550-850	0-50	Máx 25	Máx 30,0

Fonte: Própria autoria.

Percebeu-se que, com o aumento da substituição da CCA, em todos os ensaios, o material foi perdendo algumas propriedades do CAA, principalmente no

quesito de trabalhabilidade. Porém, apenas o traço com 30% de substituição teve um valor de espalhamento menor do que o normatizado, impossibilitando em partes, o uso desse concreto como CAA. A variação da medida de espalhamento (média entre dois diâmetros de fluxo) foi de 525 à 665. Todas as misturas se mantiveram sem segregação, garantindo a homogeneidade das mesmas, conforme pode ser percebido pela Figura 30.

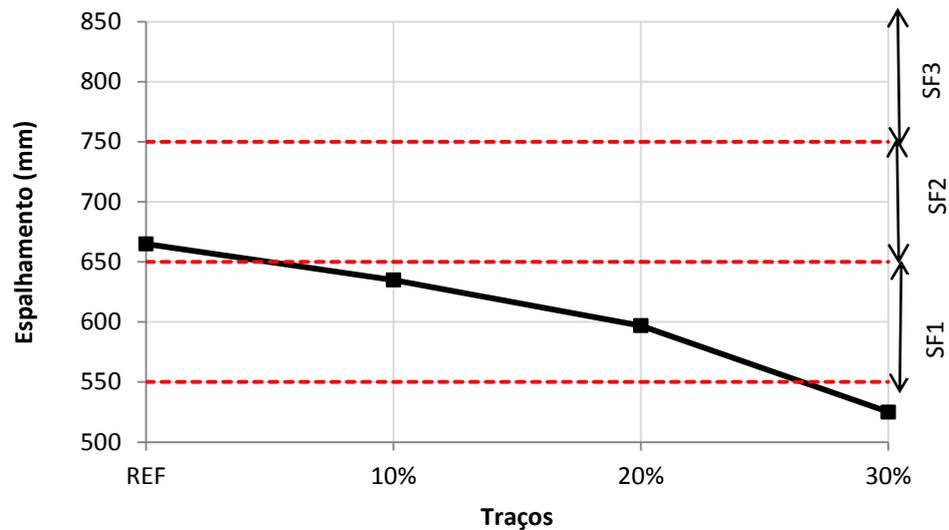
Figura 30- Comportamento dos traços – espalhamento.



Fonte: Própria autoria.

Fazendo um comparativo entre o diâmetro de espalhamento obtido e o percentual de CCA substituído no traço, é possível perceber que na medida em que aumenta esse percentual, o diâmetro de espalhamento decresce, alterando a propriedade de fluidez do concreto. Isso pode ser verificado na Figura 31.

Figura 31- Diâmetro de espalhamento x Percentual de CCA.



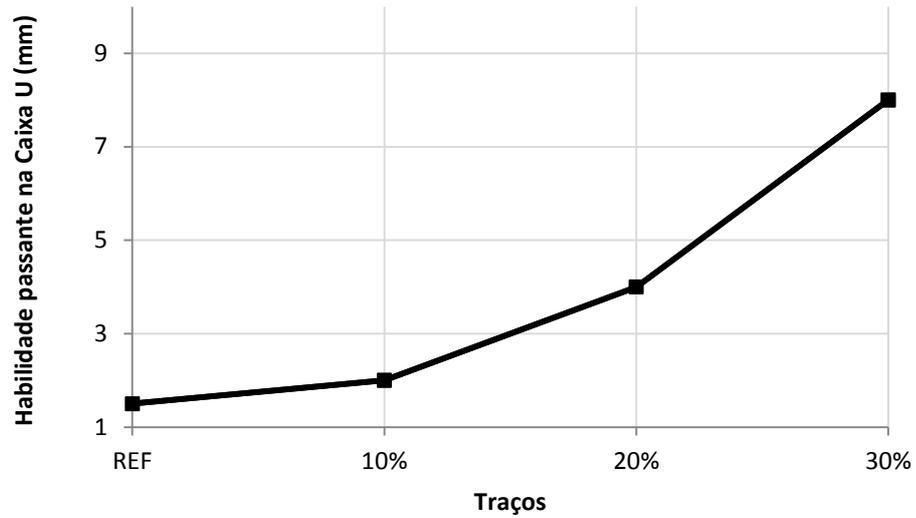
Fonte: Própria autoria.

A perda da trabalhabilidade se dá pelo fato da CCA conter partículas muito similares ao do cimento, porém, com uma área superficial maior, o que exige um aumento no consumo da água da mistura.

Percebe-se, a partir da Figura 31, que a maioria dos traços se manteve na Classe SF1, a qual é indicada para estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, onde a concretagem é realizada a partir de um ponto mais alto, com deslocamento livre. Apenas o traço de 30% ficou abaixo dos valores normatizados, não podendo ser utilizado como concreto autoadensável.

Na Figura 32 esta representado o gráfico da habilidade passante na Caixa U. O ensaio foi realizado com a finalidade de analisar e verificar a habilidade passante do concreto quando deparado com obstáculos, no caso, barras de aço. Percebe-se que a medida que aumenta o percentual de substituição, a habilidade passante diminui, apresentado pela curva crescente da Figura 32.

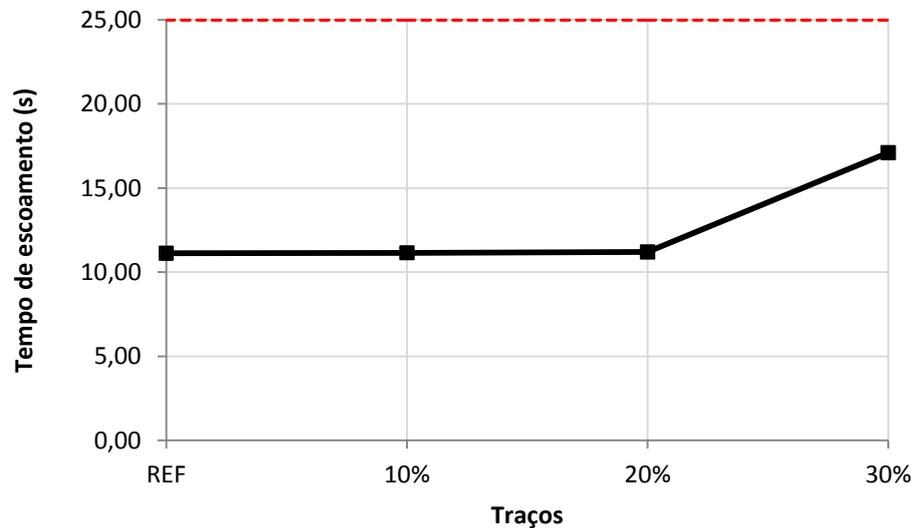
Figura 32- Habilidade Passante caixa U



Fonte: Própria autoria.

Na Figura 33, é apresentado o gráfico do tempo de escoamento, obtido através do ensaio do Funil V. Onde, o ensaio foi filmado, para que fosse possível obter esses tempos de escoamento das misturas, a partir das gravações.

Figura 33- Tempo de escoamento – Funil V.



Fonte: Própria autoria.

Percebe-se que todos os traços estão abaixo do limite máximo, de 25s, ou seja, seu tempo de escoamento está coerente para um concreto considerado autoadensável.

Porém, diversos autores conforme apresentado na bibliografia (Tabela 16), a medida considerada por eles, fica entre 5 e 15s, ou seja, novamente o traço com 30% de substituição, não é considerado um CAA.

4.1.1 Considerações dos resultados reológicos no estado fresco do CAA

Considerando os resultados reológicos obtidos no estado fresco do CAA em todos os traços desenvolvidos, utilizando a CCA, percebeu-se que há uma redução da fluidez causada por essa substituição, o que influencia diretamente na classificação do concreto, ou seja, sua utilização. Em resumo, conforme aumenta o percentual de substituição de CCA, menor será a obtenção de um CAA fluido.

Em comparação com o traço ótimo encontrado por Dalcin *et al* (2015), percebe-se que o mesmo é mais fluido quando comparado com os traços desenvolvidos. Essa propriedade pode ser explicada pelo fato de ser utilizado outros materiais na mistura, como a cinza volante e o modificador de viscosidade, que influenciam na coesão e na não segregação da mesma. O traço com 30% de substituição no ensaio de espalhamento é definido como não autoadensável, ficando fora das classes estabelecidas por norma.

4.2 Ensaio Mecânicos

Para a determinação das propriedades do concreto no estado endurecido, foram verificadas as resistências à compressão axial e as resistências à tração por compressão diametral de todos os traços produzidos. Os resultados dos ensaios mecânicos foram analisados com base em análise estatística para auxiliar as conclusões obtidas.

4.2.1 Ensaio à compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado nas idades de 7, 28, 56 e 91 dias, conforme citado na metodologia. Foram ensaiados 3 corpos de prova em cada idade. Os resultados de todos os ensaios se encontram no Anexo A. A média dos resultados encontrados é apresentada na Tabela 19, bem como o coeficiente de variação entre as amostras.

Tabela 19- Resultados de compressão axial.

Traço	Tensão 7 dias (MPa) - CV (%)	Tensão 28 dias (MPa) - CV (%)	Tensão 56 dias (MPa) - CV (%)	Tensão 91 dias (MPa) - CV (%)
Ref.	17,15 – 6,09	27,68 – 3,47	31,59 – 8,33	33,11 – 12,28
10%	17,76 – 1,11	25,92 – 8,97	32,30 – 5,66	36,01 – 7,86
20%	15,05 – 3,73	27,78 – 7,39	38,94 – 5,12	39,19 – 16,94
30%	13,00 – 8,46	27,77 – 6,67	34,92 – 6,22	35,41 – 3,44

Fonte: Própria autoria.

É possível perceber que o traço, mesmo com as substituições, atingiu a resistência estimada de 25 MPa, aos 28 dias. Sendo que nessa idade, o menor valor encontrado foi com a substituição de 10% e os demais, permaneceram muito próximos um dos outros.

Todos os dados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial dos CAAs foram utilizados para realizar uma análise com o método estatístico ANOVA, apresentados na Tabela 20.

Tabela 20- Análise da Variância (ANOVA) para a resistência à compressão axial dos CAAs com substituição parcial de Cimento *Portland* por Cinza de Casca de Arroz.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	F crítico
% CCA	59.465	3	19.822	3.025	2.901
Idade	3056.485	3	1018.828	155.504	2.901
Interação	146.198	9	16.244	2.479	2.189
Erro	209.657	32	6.552		
Total	3471.805	47			

Notas: SQ – soma quadrada; GL – grau de liberdade; MQ = SQ/GL – média quadrada; F – valor calculado de F; Fcrítico – valor tabelado de F para nível de significância 0,05.

Fonte: Própria autoria.

Com um nível de significância 0,05, que significa um grau de confiança superior a 95%, as médias populacionais dos Fatores Idade, % de CCA substituída e as Interações entre ambos os fatores são significativamente diferentes. Como a interação entre os dois fatores também é significativa, indica que o efeito da percentagem de CP substituído por CCA muda com o decorrer do tempo.

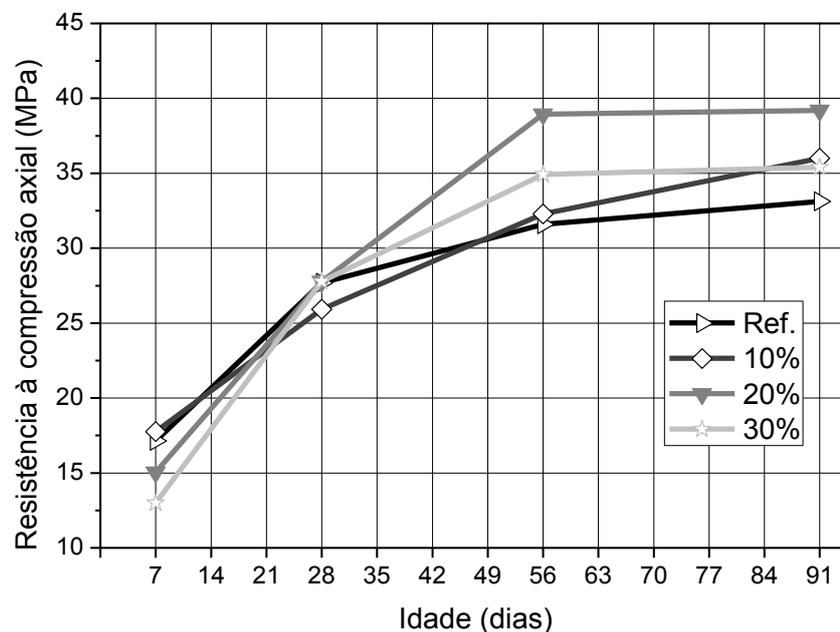
Para realizar uma comparação múltipla de médias se utiliza como limite de decisão 3 desvios padrões das médias, $\pm 4,43$ MPa ($3 * \sqrt{MQ_{Erro}/n}$); segundo Ribeiro e Ten Caten (2011).

Analisando o efeito da idade, se constatou que, somente depois dos 56 dias, não se encontraram diferenças estatísticas entre os resultados dos ensaios. Mas, analisando o efeito da substituição, é possível detectar que somente há diferença significativa entre o concreto de referência com substituição de 20% de CP por CCA.

Isto se deve a grande variabilidade encontrada em algumas das amostras, talvez aumentando o número delas seja possível ter certeza estatística de diferença entre os outros níveis do experimento (entre o referência e 10% ou 30% de substituição, por exemplo).

Na Figura 34, apresenta a variação da resistência à compressão axial dos diferentes traços analisados aos 7, 28, 56 e 91 dias, isto é a influencia da idade nos resultados.

Figura 34- Comparação de resistência média à compressão axial com a idade do concreto.

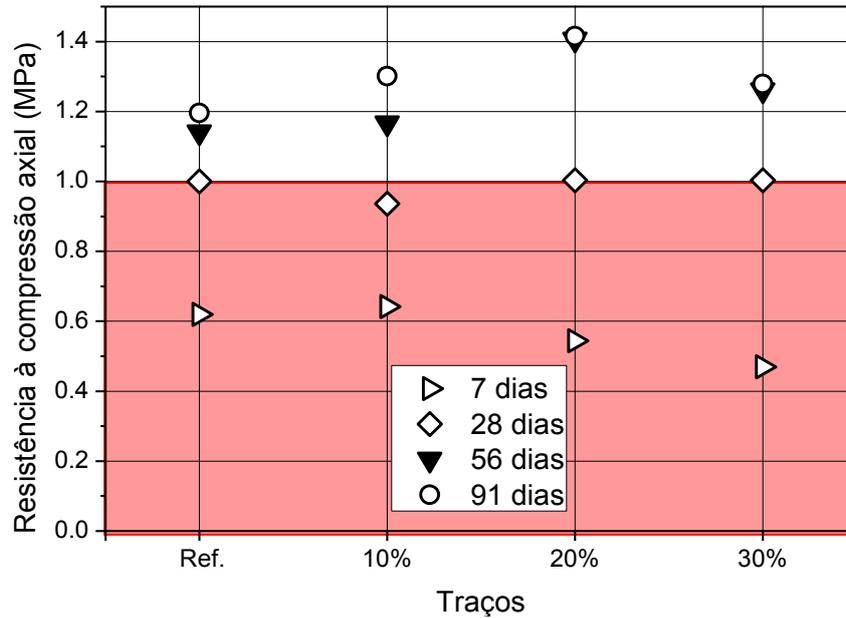


Fonte: Própria autoria.

É possível perceber que a resistência aumenta com a idade, independente do percentual de CCA substituída. Também se observa que, o comportamento de todas as curvas está de acordo com o esperado, onde a resistência do concreto aumenta consideravelmente até os 28 dias, sendo que se mantém praticamente o mesmo dos 56 dias em diante.

Para analisar a influência das percentagens de substituição e sua interação com a idade, optou-se por normalizar os resultados em relação à resistência do concreto de referência aos 28 dias (27,68 MPa). Desta forma, a Figura 35 mostra os valores médios de resistência à compressão axial para cada porcentagem de substituição analisada, e para cada idade.

Figura 35- Valores médios de compressão axial.



Fonte: Própria autoria.

A resistência média à compressão axial do CAA do traço referência obtida aos 7 dias, ficou próxima do traço com 10% de CCA. Para esta idade, quanto mais cimento se substituiu por CCA, menor foi a resistência à compressão axial obtida no concreto. Observa-se, então, que nas baixas idades o responsável pelo aumento de resistência é o cimento.

Aos 28 dias, não se observa diferença de resistência à compressão axial entre os quatro concretos analisados, sendo levemente inferior a resistência do CAA com substituição de 10% de CP por CCA.

Entre os 56 e os 91 dias, não há diferenças estatisticamente significativas entre as idades, porém entre os CAAs sim há diferenças. Pode-se observar que o concreto com 20% de substituição de CP por CCA tem mais resistência que todos os outros, inclusive que o concreto de referência.

Em geral, os traços com substituição parcial de CP por CCA obtiveram ganho de resistência à compressão axial com aumento da idade, isso se deve ao fato do material pozzolânico necessitar de $C-H + H_2O$ para reagir. Sendo assim, o CP reage e forma $C-S-H + C-H$ e este CH (hidróxido de cálcio) juntamente com a presença de H_2O formam novos produtos de hidratação, CSH (silicatos de cálcio hidratados) adicional. As partículas do CCA, por ser um material mais fino, reagem com o CH de forma mais lenta, produzido pelas reações de hidratação do cimento e também

pela finura da CCA. Isso potencializa o aumento das resistências em relação ao traço referência.

Os resultados apresentados anteriormente, na Figura 35, mostram também que todos os traços onde foi realizada a substituição da CCA apresentaram valores muito próximos uns dos outros em todas as idades. Observa-se que o traço com 20% de substituição em todas as idades apresentou valores superiores aos demais. Isto está relacionado com a análise estatística, que diz que somente essa substituição tem diferença estatística com o concreto de referência.

Conforme citado por Krug (2011) nas substituições que realizou, o teor de substituição da CCA influencia nas propriedades do estado endurecido, sendo que as misturas de 20% se mantiveram com valores superiores as de 10%, sendo assim, o aumento do teor se mostrou favorável quanto o desempenho da resistência a compressão axial.

Segundo os resultados obtidos, substituições maiores apresentam valores de resistência à compressão axial inferiores que as de 20%, porém seguem sendo levemente superiores que as resistências do concreto sem nenhuma substituição.

Na Tabela 21, estão apresentadas as taxas de crescimento das resistências médias à compressão nos períodos estudados, ou seja, inclinação da curva da Figura 34.

Tabela 21- Taxa de crescimento das resistências (Valores em MPa/dia).

Período	REF	10%	20%	30%
0/7	2,45	2,54	2,15	1,86
7/28	0,50	0,39	0,61	0,70
28/56	0,14	0,23	0,40	0,26
56/91	0,04	0,11	0,01	0,01

Fonte: Própria autoria.

Pode-se dizer que a taxa inicial, no que se refere à hidratação do cimento, está influenciada tanto pela quantidade de cimento quanto pela compactidade da mistura, a qual diminui com o aumento da substituição da CCA. Como não existe diferença estatística entre o concreto de referência e a substituição de 10%, pode-se dizer que algum dos corpos de prova de referência não foi corretamente hidratado ou faltou misturar mais para que ocorra uma mistura melhor, já que substituindo 10% de cimento por sílica se obteve a mesma resistência inicial.

4.2.2 Ensaio à tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral foi realizado nas idades de 7, 28, 56 e 91 dias, conforme citado na metodologia. Foram ensaiados 3 corpos de prova em cada idade. Os resultados de todos os ensaios se encontram no Anexo B. A média dos resultados encontrados e o coeficiente de variação são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22- Resultados à tração por compressão diametral.

Traço	Tensão 7 dias (MPa) - CV (%)	Tensão 28 dias (MPa) - CV (%)	Tensão 56 dias (MPa) - CV (%)	Tensão 91 dias (MPa) - CV (%)
Ref.	1,65 – 3,36	1,65 – 20,86	2,69 – 4,08	2,72 – 12,03
10%	1,48 – 12,49	2,33 – 12,03	2,41 – 9,00	2,98 – 5,96
20%	1,37 – 8,82	2,06 – 17,24	2,77 – 26,14	3,21 – 32,19
30%	1,22 – 4,89	2,72 – 6,47	2,66 – 21,21	2,72 – 13,86

Fonte: Própria autoria.

Todos os dados obtidos nos ensaios de resistência à compressão diametral dos CAAs foram utilizados para realizar uma análise com o método estatístico ANOVA, apresentados na Tabela 23.

Tabela 23- Análise da Variância (ANOVA) para a resistência à compressão diametral dos CAAs com substituição parcial de Cimento *Portland* por Cinza de Casca de Arroz.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	F crítico
% CCA	0.210	3	0.070	0.422	2.901
Idade	14.981	3	4.994	30.081	2.901
Interação	2.633	9	0.293	1.762	2.189
Erro	5.312	32	0.166		
Total	23.137	47			

Notas: SQ – soma quadrada; GL – grau de liberdade; MQ = SQ/GL – média quadrada; F – valor calculado de F; Fcrítico – valor tabelado de F para nível de significância 0,05.

Fonte: Própria autoria.

Com um nível de significância 0,05, que mostra um grau de confiança superior a 95%, somente as médias populacionais da Idade são significativamente diferentes. Desta forma, para a resistência à tração por compressão diametral, não há diferença entre substituir, ou não, CP por CCA.

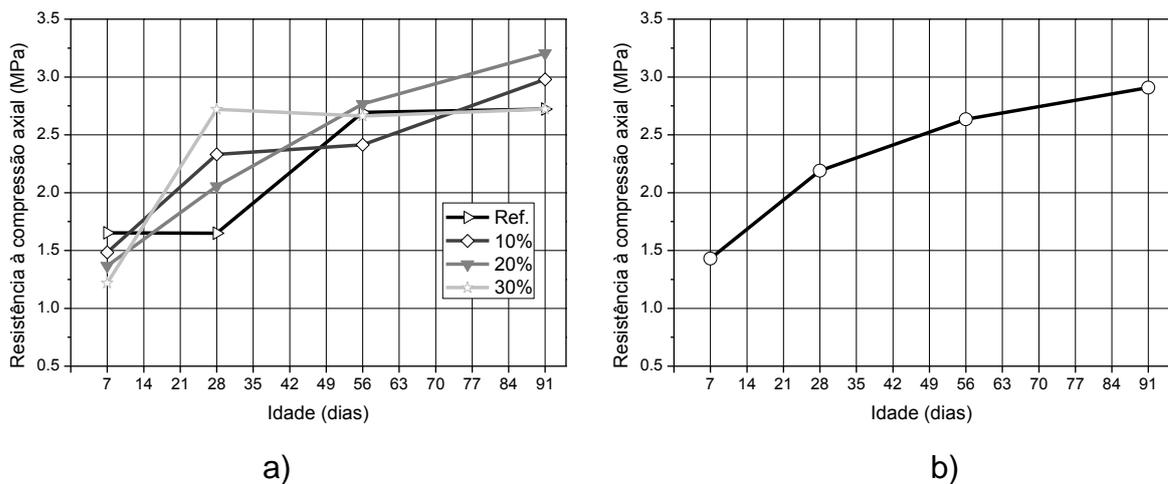
A Figura 36 - a apresenta a resistência média à compressão diametral dos diferentes traços analisados aos 7, 28, 56 e 91 dias, isto é a influência da idade nos

resultados. Como a percentagem de substituição de CP por CCA não é estatisticamente significativa, a Figura 36 - b mostra as médias gerais para cada idade.

Percebe-se, através da Figura 36 - a, que os valores de resistência à tração por compressão diametral dos traços ficaram todas muito próximas, apenas tendo uma variação considerável entre elas aos 28 dias. Na Figura 36 - a, ainda se observa, que com o aumento das idades, o valor continua aumentando, apenas o traço com 30% de substituição, se mantém quase constante a partir dos 28 dias.

As resistências baixas encontradas do concreto de referência aos 28 dias podem ser devidas a falhas na concretagem, temperatura no momento de moldado ou até o próprio tipo de ensaio que apresenta muita variabilidade.

Figura 36- Comparação a) Resistência média à compressão diametral de cada traço para todas as idades, com b) Médias geral compressão axial para cada idade.



Fonte: Própria autoria.

É possível perceber que a resistência a tração por compressão diametral aumenta com a idade, independente do percentual de CCA substituída.

4.2.3 Ensaio de Esclerometria de reflexão

Como mencionado no Capítulo 3, foram ensaiados dois (2) corpos de prova retangulares (250x250x100mm) de cada traço e realizada a média do índice esclerométrico de cada. Estes ensaios foram realizados logo aos 28 dias. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24- Resultados do índice esclerométrico.

Traço	REF		10%		20%		30%		D15%	
	CP1	CP2								
Ponto n°	IE									
1	29	-26	-24	28	28	28	28	28	40	42
2	34	30	28	28	32	28	28	28	-34	40
3	32	28	31	30	28	28	32	28	-34	42
4	32	32	30	30	-35	30	32	-32	40	44
5	34	33	29	28	-26	-34	-35	29	40	40
6	34	31	-32	-36	32	-35	32	-26	40	-50
7	32	-35	30	-26	-35	-34	28	29	42	41
8	-38	-36	30	32	-26	29	-26	29	39	44
9	31	31	32	30	29	32	-35	31	39	46
10	-28	29	28	31	-26	28	-26	-26	-44	46
11	30	29	26	28	28	-26	31	30	40	44
12	-28	28	26	28	-26	29	32	31	40	42
Média + 10%	35,02	33,73	31,72	32,54	32,18	33,09	33,46	31,81	43,27	47,76
Média - 10%	28,65	27,60	25,95	26,63	26,33	27,08	27,38	26,03	35,40	39,08
Méd.aritmética	32,00	30,11	28,67	29,30	29,50	29,00	30,38	29,22	40,00	42,82
K	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
IE	31,04	29,21	27,81	28,42	28,62	28,13	29,46	28,35	38,80	41,53
IE médio	30,12		28,11		28,37		28,90		40,17	

Fonte: Própria autoria.

Pode-se perceber que o IE do traço referência é maior do que os valores encontrados para os demais. Porém, se comparamos o IE entre os traços que tiveram a substituição da CCA, percebe-se um pequeno aumento no IE médio à medida que foi sendo aumentado o percentual de substituição de CCA.

Utilizando a curva ajustada por Machado *et al.* (2009) seguindo a Equação, na qual:

$$f_c = 0,026 IE^{2,044} \quad \text{Eq. (4)}$$

podemos encontrar que a resistência a compressão para o concreto de referência a 28 dias seria de 27,41 MPa, que é muito próximo ao obtido nos ensaios de compressão axial 27,68 MPa (ver Tabela 18).

O valor calculado a partir dos IE para os outros traços da 23,80 MPa, 24,25 MPa e 25,19 MPa para substituições de 10, 20 e 30% de CP por CCA. Estes valores também são próximos porém um pouco menores dos obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial.

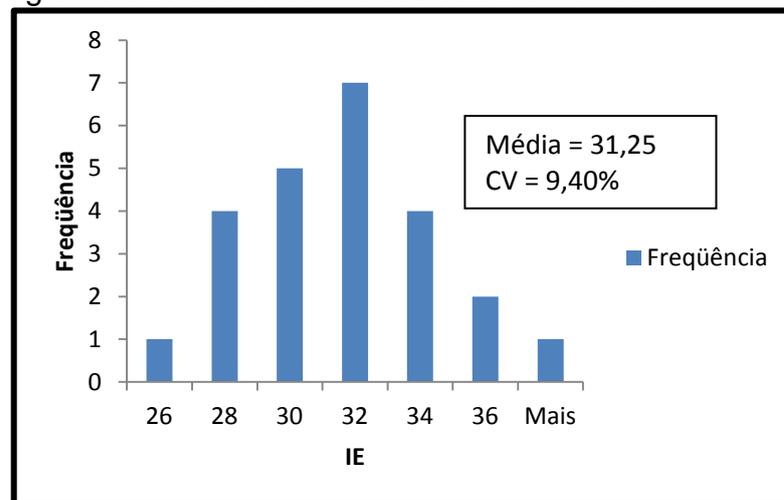
O traço de concreto reproduzido de Dalcin *et al* (2015) tinha uma resistência média a compressão axial aos 14 dias de 41,39 MPa e, segundo dados dos autores, obteve aos 28 dias uma resistência a compressão média de 46,21 Mpa. Utilizando o

ajuste apresentado por Machado *et al.* (2009), a partir dos dados do IE, daria 49,35 Mpa, valor próximo ao obtido pelos autores.

Este estudo completo do IE está no trabalho de Junges (2016), e se apresentam aqui um resumo do trabalho obtido analisando somente o concreto de referência, sendo que este ponto é um desenvolvimento em paralelo a esta dissertação, sendo um subproduto da mesma. Procura-se medir o comprimento de correlação que teria cada tipo de concreto, isto é a distancia até a qual seria possível considerar que as propriedades como dureza, resistência ou módulo de elasticidade como correlacionadas. Para isto se utilizaram as medições do esclerômetro e se fez uma análise de variância espacial dos dados. Como o objetivo não é avaliar a esclerometria do concreto, mas de analisar a distribuição espacial dos dados, optou-se por manter todos os dados obtidos no ensaio.

A Figura 37 mostra o histograma com os dados dos índices esclerométricos dos CP1 e CP2 do concreto de referência apresentados na Tabela 24.

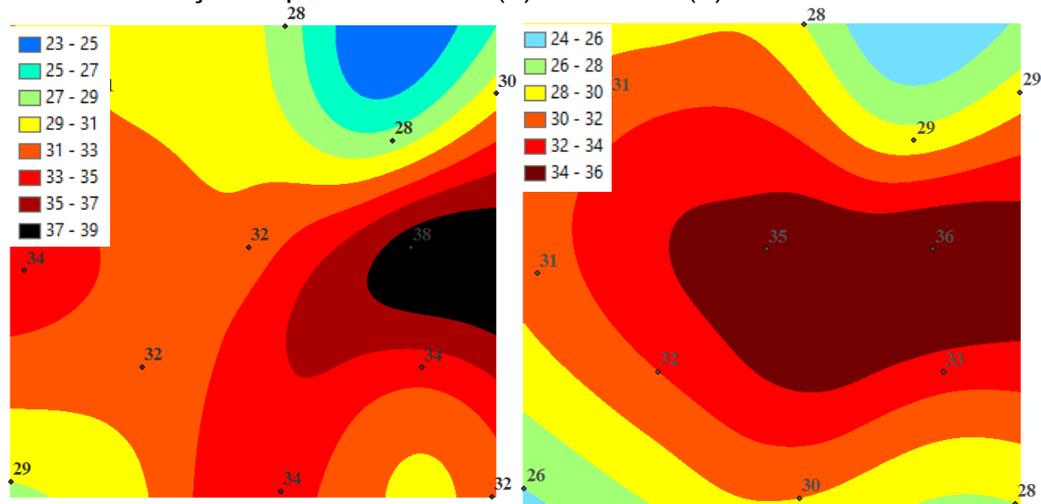
Figura 37- Histograma dos dados de índices esclerométricos



Fonte: Própria autoria.

A Figura 38 mostra a distribuição espacial dos dois corpos de prova.

Figura 38- Distribuição espacial do CP1 (a) e do CP2 (b).



Fonte: Própria autoria.

Com estes dados não é possível encontrar o comprimento de correlação do concreto devido a que a distância entre as medições é grande, em média 7,7 cm.

Assim, no trabalho realizado por Junges (2016), se faz medições com índice esclerométrico cada 1 cm e desta forma se encontra para este concreto um comprimento de correlação da ordem de 5 cm, que equivale a quase 4 vezes o diâmetro máximo do agregado graúdo.

4.2.4 Considerações dos resultados dos ensaios mecânicos do CAA

Considerando apenas os resultados mecânicos obtidos, pode-se concluir que a quantidade de substituição de CP por CCA ideal é de 20%, pois, tanto a resistência à compressão axial, quanto a resistência à tração por compressão diametral foram as maiores quando comparadas com os demais traços, apenas apresentando valor inferior na resistência obtida aos 7 dias. Porém, os demais traços atingiram resistência superior à 25 MPa, valor mínimo estimado para os 28 dias.

Quando considerada a idade de 28 dias, todos os traços apresentaram valores muito próximos, apenas o traço de 10% possui valor inferior. Podendo assim, considerar que no quesito exclusivamente de comportamento mecânico, todos os traços podem ser utilizados.

4.3 Propriedades físicas

4.3.1 Ensaios acústicos

4.3.1.1 Absorção acústica

Os ensaios de absorção acústica foram executados em um tubo de impedância considerando a frequência em escala logarítmica. Como o equipamento é sensível, foram realizados vários ensaios para a mesma amostra, a fim de conseguir o maior número possível de dados.

Com isso, optou-se por considerar todos os valores resultantes do ensaio para as 3 amostras, e realizada a média dos valores. A Tabela 25 apresenta esses valores médios, bem como, valores normalizados para a superfície de concreto. Os valores de todos os ensaios estão apresentados no Anexo C.

Tabela 25- Valores médios de coeficiente de absorção para todos os traços.

Frequência (Hz)	Traços					Superfície de concreto (Norma)
	REF	10%	20%	30%	DALCIN (15%)	
50	0,23	0,16	0,16	0,22	0,18	
63	0,24	0,19	0,18	0,20	0,20	
80	0,19	0,17	0,15	0,20	0,21	
100	0,22	0,16	0,21	0,18	0,16	
125	0,20	0,14	0,17	0,15	0,14	0,02
160	0,15	0,19	0,13	0,10	0,12	
200	0,14	0,18	0,11	0,10	0,10	
250	0,11	0,16	0,09	0,09	0,09	0,03
315	0,14	0,15	0,13	0,16	0,15	
400	0,19	0,34	0,18	0,21	0,23	
500	0,06	0,02	0,07	0,03	0,07	0,03
630	0,10	0,03	0,04	0,03	0,06	
800	0,10	0,03	0,04	0,02	0,05	
1000	0,08	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03
1250	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	
1600	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	
2000	0,10	0,03	0,06	0,07	0,07	0,04
2500	0,08	0,02	0,04	0,04	0,06	
3150	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	
4000	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03	0,07
5000	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	
6300	0,04	0,02	0,02	0,05	0,04	

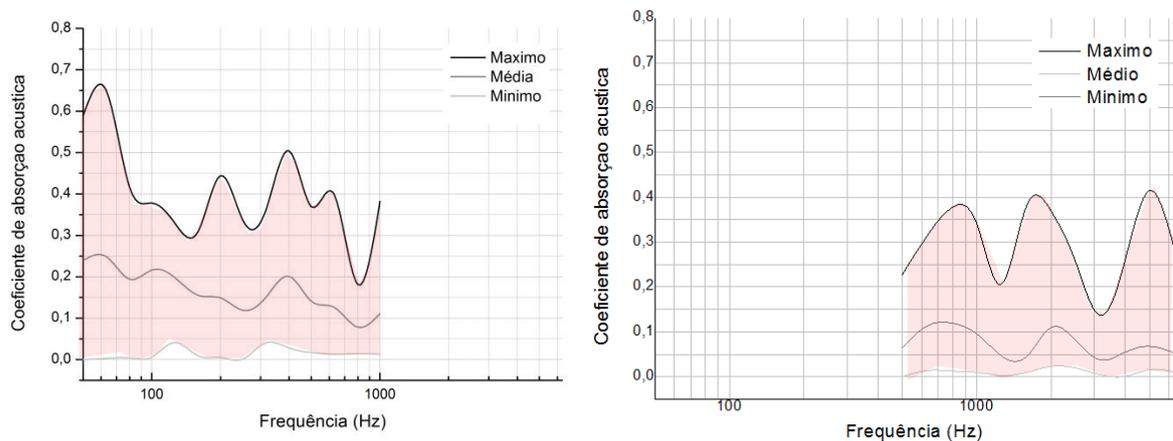
Fonte: Própria autoria.

Fazendo um comparativo com os valores de coeficiente de absorção acústica encontrados com os apresentados na Tabela 25, considerando apenas as frequências demonstradas em vermelho (que são as apresentadas pela norma), pode-se concluir:

- Superfície de concreto: Análise semelhante ao reboco áspero. O desempenho deste tipo de superfície é ainda menor que o reboco. Apenas percebe-se que em o traço 10%, possui duas frequências (500 e 2000 Hz) com valor baixo. Todos os traços permanecem com valor inferior na frequência de 4000 Hz.

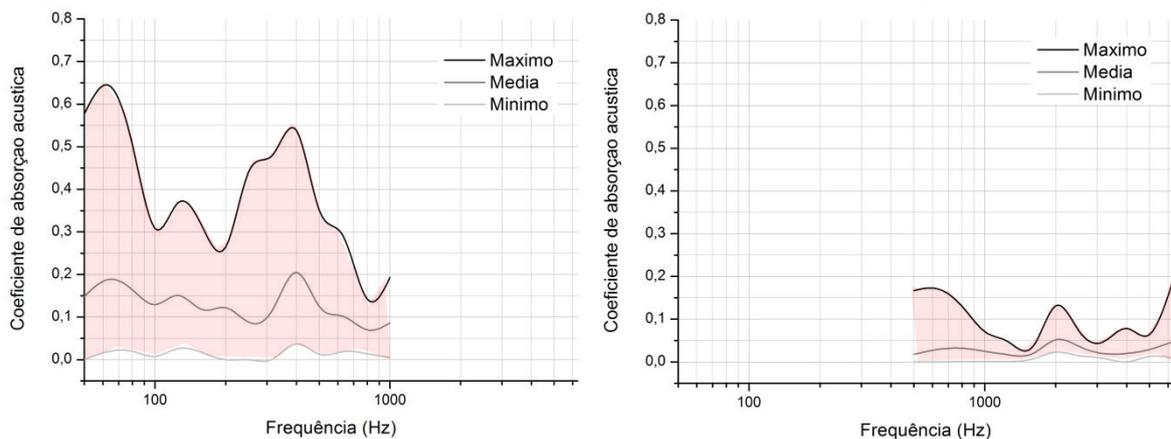
Nas Figuras 39 à 43, podem ser observadas as curvas da frequência média, pontos máximos e mínimos encontrados a partir do ensaio das 3 amostras para a absorção nos traços referência, 10%, 20%, 30% e D (15%), respectivamente.

Figura 39- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço REF.



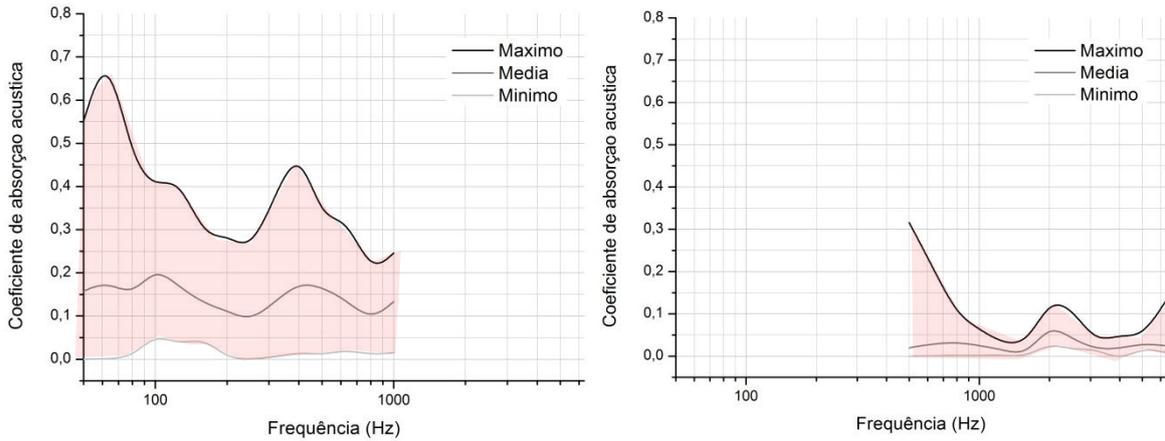
Fonte: Própria autoria.

Figura 40- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço 10%.



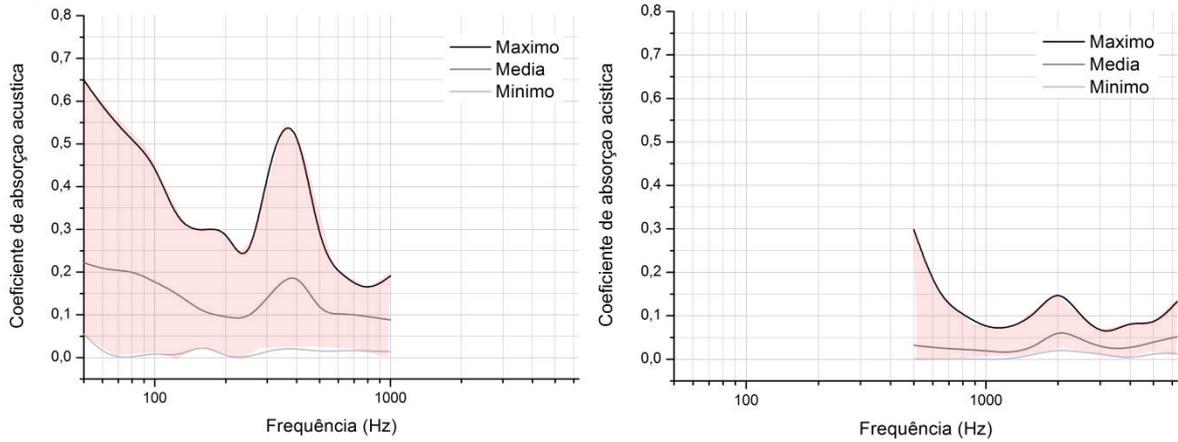
Fonte: Própria autoria.

Figura 41- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço 20%.



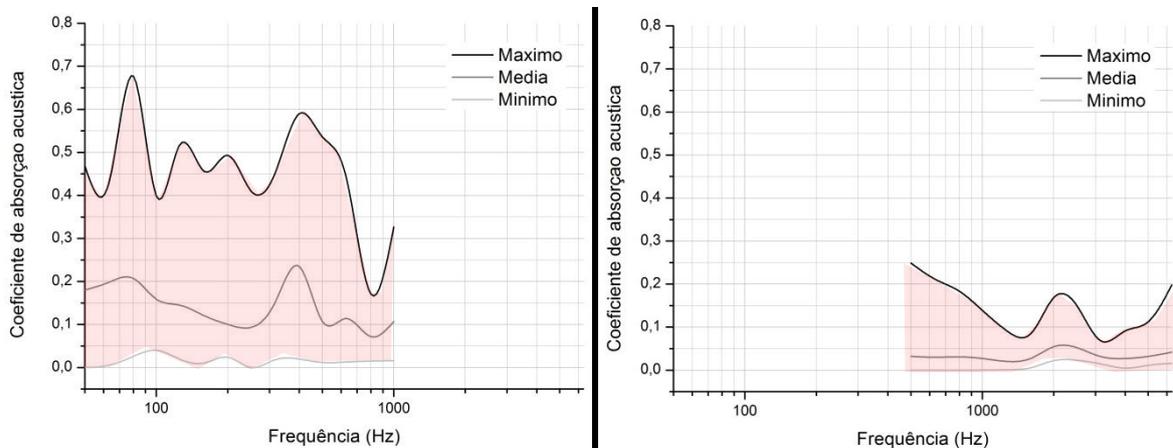
Fonte: Própria autoria.

Figura 42- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço 30%.



Fonte: Própria autoria.

Figura 43- Frequência x Coeficiente de absorção acústica – Traço DALCIN 15%.



Fonte: Própria autoria.

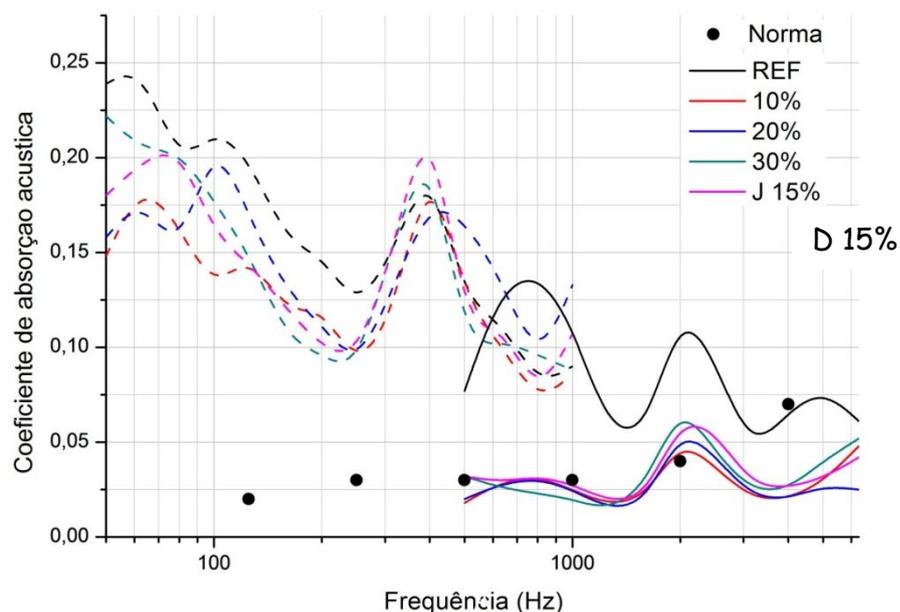
Para melhor visualização, a Figura 44 apresenta as médias encontradas em todos os traços desenvolvidos. As linhas demonstradas de forma pontilhada, estão na primeira faixa (50-1000Hz), realizadas com os corpos de prova de 100x100mm e as linhas contínuas, são da segunda faixa (500-6300Hz), realizada com os corpos de prova de 29x100mm.

Percebe-se que, quando comparadas com os valores normatizados pela NBR 12179 (ABNT 1992) para superfície de concreto, a primeira faixa possui valores distorcidos e muito elevados de absorção acústica, não seguindo a ideia de curva crescente como determina a norma. Porém, quando comparamos os valores obtidos na segunda faixa estão mais adequados dos valores estabelecidos pela norma. Ficando apenas o traço referência com valores relativamente altos.

Percebe-se também, que quando se tem a substituição de CP por CCA, ocorre uma redução de absorção acústica em relação ao traço referência. Não seguindo uma tendência com relação os percentuais de substituição.

Essa distorção pode ser aliada ao equipamento utilizado para o ensaio, pois o mesmo é muito sensível a qualquer ruído no ambiente ou próximo dele. Ou ainda a alguma especificação extra que deve ser realizada para essa faixa maior, já que todos os traços obtiveram valores próximos, apresentando praticamente a mesma tendência de curva.

Figura 44- Médias de absorção acústica.



Fonte: Própria autoria.

4.3.1.2 Isolamento Acústico

Os ensaios de isolamento acústico também foram executados em um tubo de impedância considerando a frequência em escala logarítmica. Como o equipamento é sensível, foram realizados vários ensaios para a mesma amostra, a fim de conseguir o maior número possível de dados.

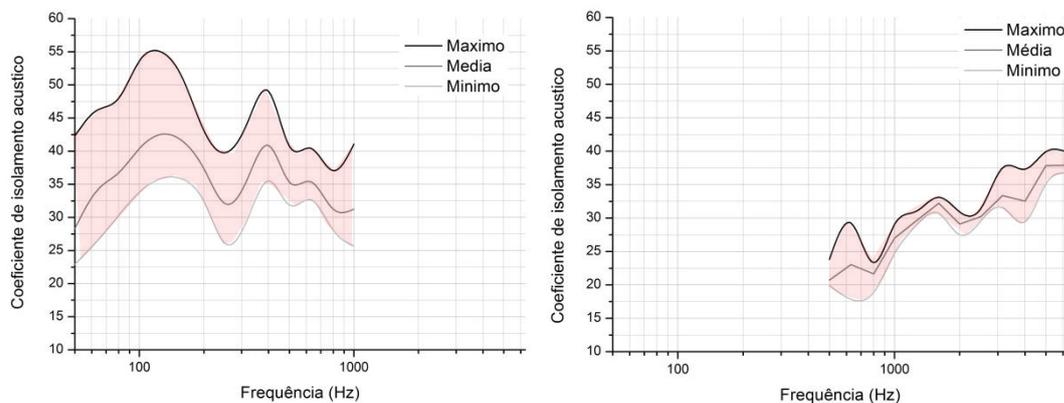
Com isso, optou-se por considerar todos os valores resultantes do ensaio para as 3 amostras, e realizada a média dos valores restantes. Todos os valores obtidos podem ser consultados no Anexo D.

Quando comparado os valores de isolamento acústico com os materiais citados na NBR 12179 (ABNT 1992) (Tabela 4), todos os traços (na frequência de 500 Hz), obtiveram um isolamento acústico maior em relação a um tijolo furado de espessura de 25 cm. O melhor comportamento nessa frequência foi do traço de 10%, o qual atingiu um isolamento de 347% maior do que o tijolo furado ($e=25\text{cm}$). Porém, o valor fornecido pela norma, não contempla o reboco e sim apenas o tijolo em si, por isso na norma o valor é tão reduzido. Na comparação com as alvenarias de tijolo maciço, o traço obteve desempenho inferior, porém, não é de uso corriqueiro a execução de uma parede em tijolo maciço, mas sim, em tijolo furado.

Também percebe-se que nos traços com a substituição da CCA, o isolamento acústico melhorou em comparação com o traço referência.

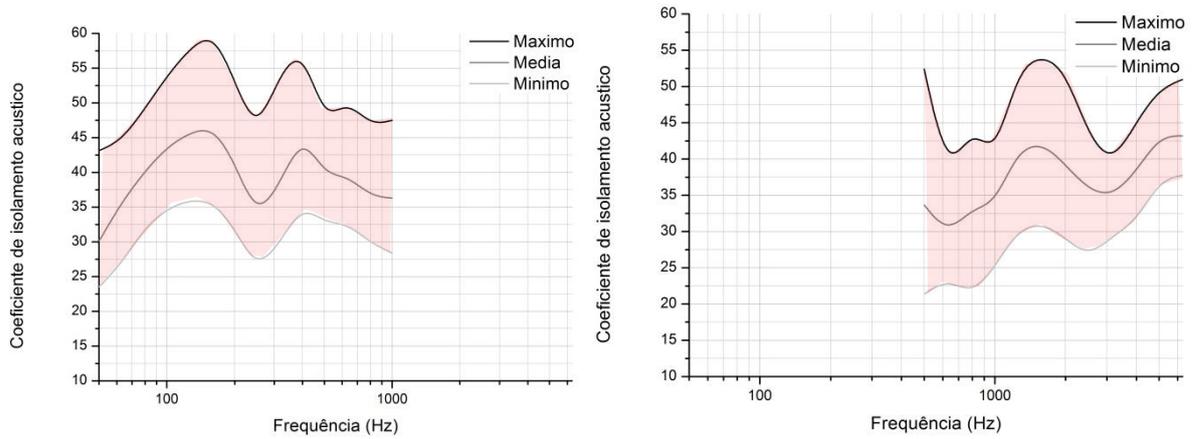
Nas Figuras 45 à 49, podem ser observadas as curvas da frequência média, pontos máximos e mínimos encontrados a partir do ensaio das 3 amostras para a isolamento nos traços referência, 10%, 20% e 30%, respectivamente.

Figura 45- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço REF.



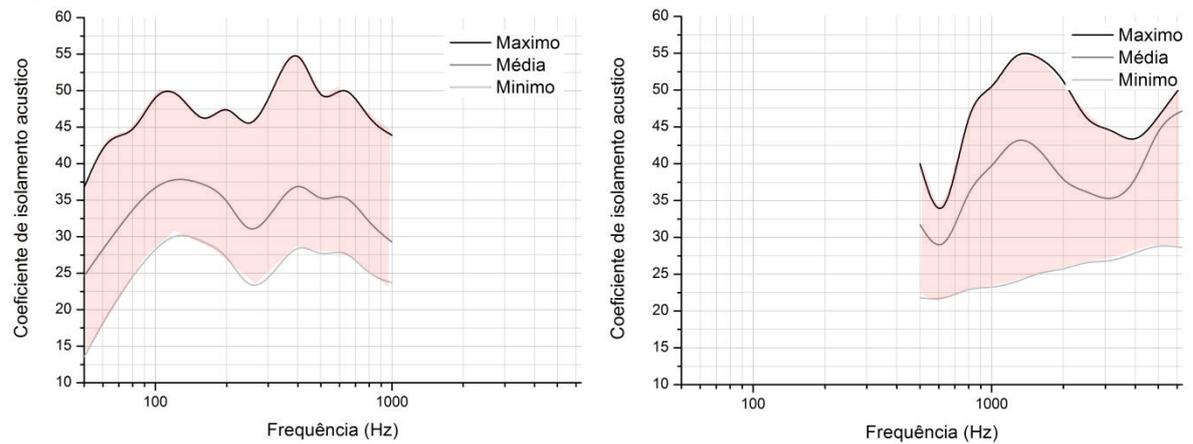
Fonte: Própria autoria.

Figura 46- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço 10%.



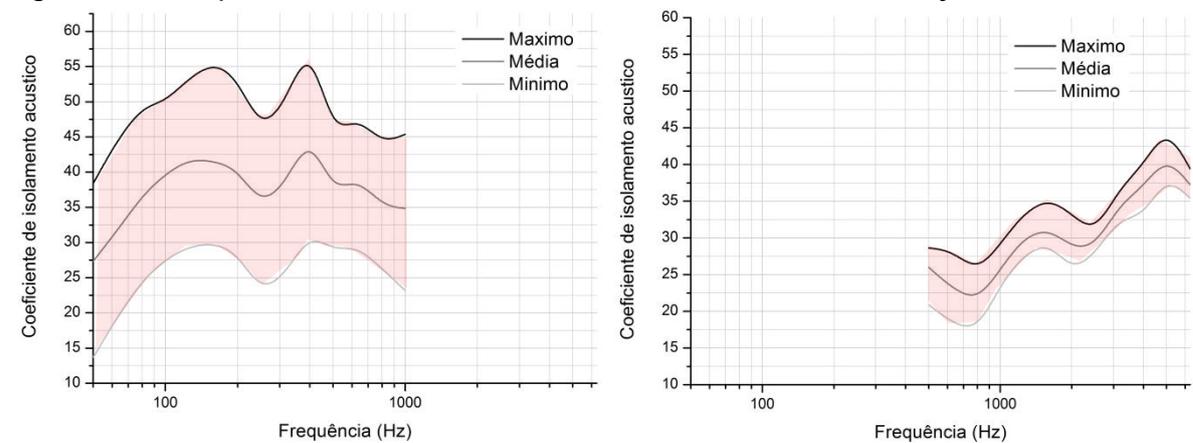
Fonte: Própria autoria.

Figura 47- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço 20%.



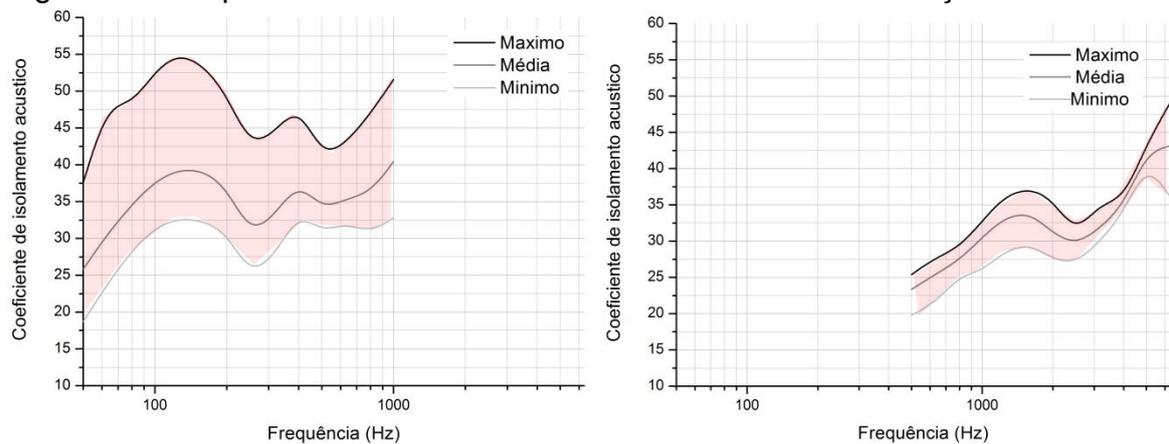
Fonte: Própria autoria.

Figura 48- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço 30%.



Fonte: Própria autoria.

Figura 49- Frequência x Coeficiente de isolamento acústico – Traço DALCIN 15%.

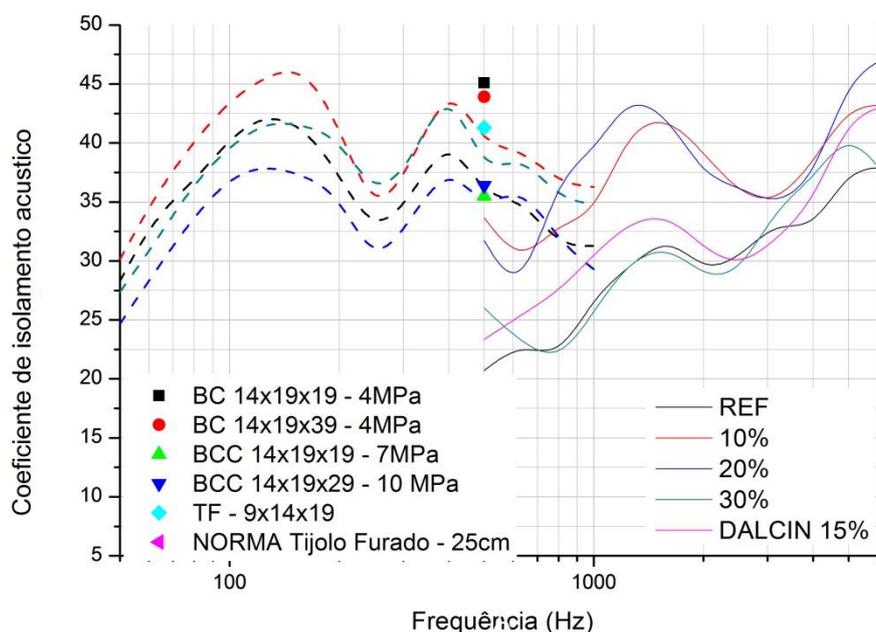


Fonte: Própria autoria.

Para melhor visualização, a Figura 50, apresenta apenas as médias de isolamento acústico de cada traço em estudo. Apresenta também alguns resultados encontrados através de ensaios (apresentados na revisão) e o valor determinado pela NBR 12179 (ABNT 1992) para o tijolo furado (25cm) que é o de uso corriqueiro em edificações, na frequência de 500Hz.

Pode-se perceber que influencia muito o tipo de material utilizado, sua resistência e o acabamento que o mesmo sofre. Os blocos estruturais de concreto são mais resistentes que os blocos estruturais cerâmicos e as alvenarias convencionais.

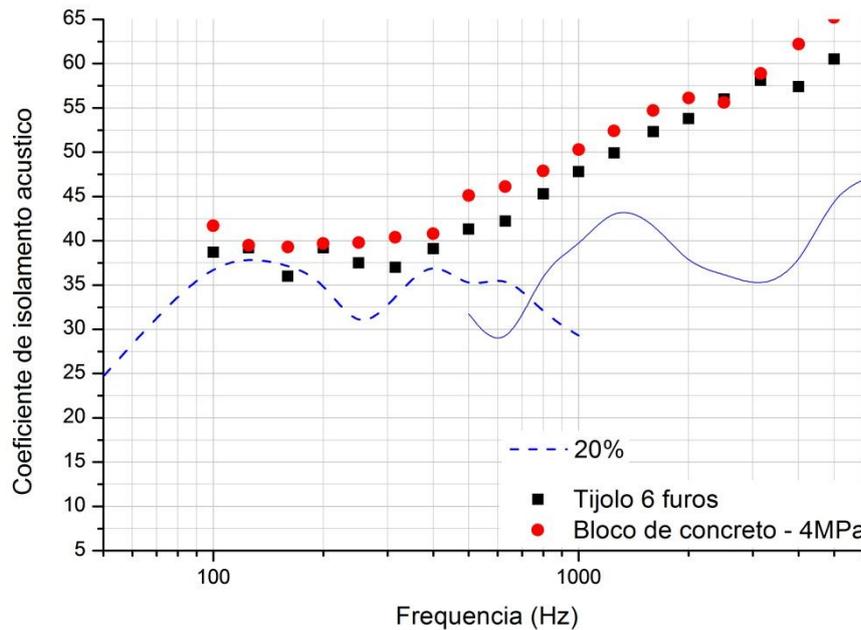
Figura 50- Médias de isolamento acústico.



Fonte: Própria autoria.

Na Figura 51, está apresentado o resultado obtido para o traço de 20% de substituição, por ser o traço considerado ideal, e os valores para o tijolo 6 furos e para o bloco de concreto de 4 MPa. Percebe-se que o valor do isolamento da parede de concreto está um pouco inferior que os outros dois materiais, porém, é preciso ressaltar que as espessuras não são as mesmas. Sendo a da parede de concreto, inferior.

Figura 51- Médias de isolamento acústico – Comparativo.



Fonte: Própria autoria.

A Tabela 26 apresenta um comparativo com três tipos distintos de materiais utilizados na construção. A partir dela, pode-se perceber que o Tijolo furado (no ensaio) possui um isolamento maior quando comparado com alvenaria estrutural e parede de concreto. Porém, quando se compara alvenaria estrutural com parede de concreto, na maioria das faixas, o segundo caso se mantém com isolamento superior.

Tabela 26- Comparativo entre materiais utilizados na construção – isolamento acústico.

Frequência (Hz)	Materiais					
	20%	Bloco de concreto 14x19x19 – 4 MPa	Bloco de concreto 14x19x39 – 4 MPa	Bloco cerâmico 14x19x19 – 7 MPa	Bloco cerâmico 14x19x29 – 10 MPa	Tijolo 6 furos 9x14x19 – 1,5 MPa
50	24,67	-	-	-	-	-
63	29,28	-	-	-	-	-
80	33,80	-	-	-	-	-
100	37,08	41,7	39,1	33,8	37,5	38,7
125	38,15	39,5	35,5	39,3	37	39,2
160	37,30	39,3	37,2	38,6	37,9	36
200	35,60	39,7	41,7	35,1	33,1	39,2
250	29,40	39,8	38,3	34,2	33,8	37,5
315	33,56	40,4	41	32,6	34,3	37
400	38,38	40,8	41,5	34,6	35,1	39,1
500	32,96	45,1	43,9	35,5	36,4	41,3
630	31,62	46,1	44,7	36,3	36,9	42,2
800	34,51	47,9	48,6	38,3	38,2	45,3
1000	34,26	50,3	49,6	42,3	41,9	47,8
1250	44,17	52,4	51,2	45	44,3	49,9
1600	42,25	54,7	54,5	47,2	47,8	52,3
2000	37,20	56,1	55,9	48,3	48,8	53,8
2500	36,28	55,6	55,4	49,6	49,8	56
3150	34,66	58,9	57,6	53,3	54,5	58,1
4000	36,84	62,2	59,6	55,1	57,4	57,4
5000	45,56	65,2	54,8	58	60	60,5
6300	47,17	-	-	-	-	-

Fonte: Própria autoria.

4.3.2 Ensaio de condutividade Térmica

O ensaio para obtenção da condutividade térmica para o CAA foi executado com 3 amostras de mesma medida nas duas dimensões de cada traço, como descrito na metodologia. A Tabela 27 apresenta a média encontrada para as três amostras analisadas para a faixa de 20 – 40°C.

Tabela 27- Valores de condutividade térmica.

Traço	Temperatura (°C)		Lambda Médio (W/m k)	Coeficiente de variação (%)
	Mínima	Máxima		
Ref.	20	40	0,65	6,71
10%	20	40	0,58	5,97
20%	20	40	0,67	6,50
30%	20	40	0,65	8,43
DALCIN (15%)	20	40	0,63	16,57

Fonte: Própria autoria.

Conforme citado na revisão, o valor de condutividade térmica encontrando para o concreto, normalmente é em torno de $0,8\text{W/m k}$, estando assim, dentro do limite apresentado, ainda com maior valor de isolamento acústico. Se levar em consideração os valores definidos por norma, o concreto desenvolvido está com condutividade térmica menor, ou seja, pode ser considerado melhor do que o normatizado.

Percebe-se que, mesmo fazendo a substituição de CCA, a propriedade de condutividade térmica se manteve muito próxima uma da outra, sem sofrer significativas alterações em função dessa substituição. Mesmo quando comparado com o valor de condutividade térmica encontrado para o traço de Dalcin *et al* (2015), mesmo o concreto possuindo diferentes materiais do que os traços desenvolvidos, não se tem grande variação.

4.3.3 Considerações dos resultados dos ensaios físicos do CAA

No quesito desempenho acústico, a análise pode ser dividida nos dois ensaios realizados, já que os resultados obtidos para o ensaio de isolamento acústico apresentaram pouca variabilidade e sim boa repetitividade nos corpos de prova. Também, apresentou valores esperados e de acordo com os valores normatizados.

O ensaio de absorção acústica, porém, na faixa de frequência de 50 a 1000 Hz, apresentou valores com pouca repetitividade, pois a cada ensaio realizado, com o mesmo corpo de prova, os resultados não se mantinham muito próximos, além dos valores médios serem distantes do esperado e normatizado. Os resultados médios obtidos para a faixa de frequência de 500 a 6300 Hz já se aproximaram mais dos valores normatizados, porém, também apresentaram grande dispersão e pouca repetitividade.

Observou-se também que o equipamento é muito sensível a qualquer ruído no ambiente, o que pode ser uma das causas da grande variabilidade nos resultados.

Analisando os resultados obtidos, mesmo com essas contrariedades apresentadas, observa-se que os traços com e sem substituição se mantem

próximos, ou seja, não influencia de forma significativa o percentual substituído de cimento substituído por CCA.

Levando em consideração os ensaios de desempenho térmico, é possível afirmar que todos os traços obtiveram valores muito próximos, ou seja, é indiferente o percentual de substituição de CP por CCA para essa análise, mostrando que qualquer um deles ser utilizado.

4.4 Resultados da viabilidade econômica quanto à substituição de CP por CCA

A CCA esta disponível no comércio da indústria local. Como os únicos materiais que alteram quantidade no traço no caso de substituição é o CP e a CCA, a viabilidade econômica pode ser realizada considerando basicamente esses insumos.

O uso do concreto usinado tem se tornado cada vez mais uma alternativa viável no segmento da construção civil. Pois com ele, é possível reduzir tempo e mão de obra, além de ter a qualidade garantida do concreto que esta sendo utilizado.

Sendo assim, pode se analisar os valores do insumo, considerando um concreto usinado. Em março de 2017, o CPIV, é comercializado na região por R\$443,00 a tonelada, fazendo essa transformação para o saco de 50kg, ele fica no valor de R\$22,15. No caso da CCA, o valor encontrado no mercado local é de R\$7,40 o saco de 20kg, ou considerando uma tonelada, o valor de R\$370,00. Para fins de análise, serão comparados os valores dos sacos de ambos os materiais.

Considerando estes valores na Equação, têm-se:

$$RC\% = \frac{cca (443 - 370)}{443} \times 100 = 16,48xcca \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde: RC%, é a redução de custo em percentual do traço.

Assim, o concreto com 10% de substituição de CP por CCA, terá uma redução de custo de $16,48 \times 0,10 = 1,65\%$ em relação ao concreto de referência, sem substituição. Da mesma forma os concretos 20% e 30% terão redução do custo de 3,30% e 4,94% em relação ao referência, respectivamente.

Porém, a depender do tipo de usina em que está sendo executado, é preciso levar em conta a mão de obra necessária para tal substituição. Por exemplo, na cidade de Alegrete – RS, a Usina local, está fazendo uso de CCA no seu traço, a fim de diminuir os custos e ter aumento de resistência e qualidade do seu produto final. Porém, pelo fato da Usina não ser totalmente automatizada, é preciso dispor de no mínimo 2 colaboradores para realizar a colocação manual das sacas de CCA no caminhão betoneira, o que não viabiliza a utilização de um percentual muito elevado de substituição da CCA.

Outro fator que deve ser analisado, no quesito viabilidade econômica, é o volume de concreto produzido, pois em volumes menores, esse percentual de economia citado acima, não será muito significativo, porém, no momento que o volume for maior, esse percentual passa a ser relevante.

Por exemplo, em um edifício de parede de concreto, onde o concreto, maior insumo, pode representar entre 10 à 13% o valor total da obra. Essa redução de custo, com a substituição de CP por CCA, por exemplo, onde fizesse uso do concreto com 20% de substituição, pode significar uma redução de 0,7 à 1% do total da obra, a depender do volume nela empregado.

Portanto é possível concluir que, quanto maior for a substituição de CP por CCA, mais econômico o concreto se torna. Porém, essa análise é apenas econômica, lembrando que outros fatores devem ser considerados juntamente com o econômico, como por exemplo, o comportamento no estado fresco. Também, é preciso salientar que não é possível a substituição total do CP.

4.5 Traço com substituição de melhor desempenho

No momento que considerar todos os fatores, é possível verificar que quanto menor o valor de substituição de CCA melhor será o comportamento no estado fresco, por outro lado, quanto maior a substituição, mais econômico. Considerando as resistências (compressão e tração à compressão diametral) no estado endurecido, a substituição de 20% se comportou de melhor forma, porém, todas elas ficaram muito próximas, inclusive a de 30%. Ou seja, caso a mistura atenda as exigências no estado fresco, aparentemente, pode ser substituído qualquer valor de CCA.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi estudar as propriedades mecânicas e físicas (térmicas e acústicas) de uma parede de concreto executada com concreto autoadensável, com traço já utilizado em uma edificação na cidade de Alegrete-RS com e sem substituição de CCA . As substituições analisadas foram de 10%, 20% e 30%. Além disso, foi reproduzido um traço proposto por Dalcin *et al.* (2015) para comparar as características desse traço com as modificações propostas neste trabalho. Foram realizados ensaios de espalhamento, fluidez, habilidade passante e capacidade de preenchimento no estado fresco. Também foram realizados ensaios mecânicos de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral no estado endurecido, onde posteriormente, foram comparados os resultados obtidos pelos concretos com CCA em relação ao concreto de referência (sem substituição).

Também foram realizados os ensaios para verificação de desempenho térmico e acústico do concreto, bem como o índice esclerométrico.

5.1 Conclusões

A partir dos dados apresentados anteriormente, pode se concluir:

Reologia no estado fresco

Os traços produzidos foram com substituição de CP por CCA 10%, 20% e 30% e o concreto referência (sem substituição). Analisando todos os traços desenvolvidos, percebeu-se que, com o aumento da substituição do CP por CCA, as propriedades referentes ao estado fresco pioraram, perdendo fluidez e trabalhabilidade, porém, ainda se mantiveram com propriedades adequadas para ser considerado um concreto autoadensável. O traço de 10% e 20% mantiveram-se na mesma classe de concreto, conforme a NBR 15823-2, os outros traços ensaiados já se encontram em classes diferentes, cada um destinado para uma estrutura diferente. Observou-se ainda que, com o aumento do teor de substituição de cimento por CCA, houve um acréscimo na coesão e na viscosidade do concreto no estado fresco quando comparado ao concreto de referência.

Por fim, é possível concluir é quanto menos CCA for substituída pelo CP melhor será o comportamento do concreto no que se refere ao estado fresco, mantendo todos os outros componentes do traço iguais.

Características no estado endurecido

No quesito de resistência a compressão axial, a substituição de CP por CCA, melhorou os resultados obtidos. Todos os traços tiveram ganho de resistência quando comparado com o traço referência a longo prazo. Apenas o traço de 10% apresentou valor inferior a referência na idade de 28 dias e os traços 20% e 30% na idade de 7 dias. Mesmo assim, ambos os traços permaneceram aumentando sua resistência com o passar das idades. Porém, a substituição ideal para este traço é de 20%, pois apenas teve um valor inferior na primeira idade, e um aumento considerável de 160,40% do 7° ao 91° dia.

Quando analisado o resultado à tração por compressão diametral, percebe-se que pelo alguns fatores podem influenciar um pouco o resultado, como por exemplo, a posição e material referentes a madeira autorizada para ser utilizada no ensaio, pode variar de um ensaio para outro. E isso pode implicar nos resultados de forma considerável. Mesmo assim, pode-se perceber que o traço de 20% nas idades de 56 e 91 dias teve um valor superior aos demais traços, inclusive do traço referência.

Analisando todos os traços tanto para resistência à compressão axial, quanto resistência a tração por compressão diametral, aos 7 dias de idade os resultados de resistência foram menores, e, em um caso muito próximo, do traço referência, isso pode ser considerado pelo fato de nas primeiras idades a resistência ser dada pela hidratação do CP. Ou seja, quanto maior o volume de cimento, maior será sua resistência inicial. Assim sendo, entre os 7 e 91 dias o efeito pozolânico da CCA passa a causar efeito na resistência do concreto, por isso que nesse período os concretos com substituição apresentam maiores taxas de crescimento que o concreto de referência. No decorrer dos 28 aos 91 dias, o ganho de resistência ocorre em todos os traços.

Considerando então os resultados obtidos de resistência à compressão axial, o traço com 20% de substituição seria o ideal. Os demais também apresentaram valores superiores à 25 MPa, resistência estimada inicialmente.

Viabilidade econômica

Da análise econômica na fabricação do cimento é possível concluir que quanto maior for a substituição de CP por CCA, mais viável economicamente será o concreto. Lembrando que, quando dosado em central, quanto maior for o consumo, melhor, pois é possível a obtenção de silos de CCA o que facilita e elimina totalmente a necessidade dos colaboradores para a colocação manual do material nos caminhões betoneiras.

Análise térmica e acústica

Quanto às análises térmicas e acústicas em partes conseguiram satisfazer o objetivo inicial, sendo possível perceber que independente do valor substituído se CCA, essas propriedades se mantem próximas, podendo ser qualquer um dos traços utilizados, sem prejudica-las ou altera-las.

Conclusões gerais

Levando em consideração todos os estudos realizados e resultados obtidos, pode-se dizer que o concreto que melhor se comportou foi o traço com 20% de substituição de CP por CCA, tanto relacionado a parte técnica, quanto econômica. Pois, como mencionado anteriormente, as propriedades no estado fresco se mantem em condições adequadas para um concreto autoadensável e as propriedades no estado endurecido apresentam uma melhora.

Mesmo assim, os demais traços também podem ser utilizados de acordo com a norma, pois se enquadram no concreto autoadensável, apenas tendo que levar em consideração o local no qual será aplicado, já que a trabalhabilidade é uma propriedade bem afetada com o aumento da substituição. Mas no quesito de resistência e econômico eles são mais viáveis.

Como conclusão final, uso de CCA é viável, tanto que muitas usinas de concreto estão começando a fazer uso desse insumo na produção do concreto, pelos estudos já realizados e que comprovam a sua qualidade. Também as paredes de concreto, com ou sem a substituição da CCA, apresentam propriedades térmicas e acústicas muito semelhantes independente da quantidade de material substituído,

bem como, quando comparado com os demais materiais convencionais nos métodos construtivos, a parede de concreto possui propriedades térmicas e acústicas equivalentes às paredes de alvenaria estrutural e convencional.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para complementar os resultados obtidos com esse trabalho, alguns assuntos são sugeridos para trabalhos futuros com a substituição da CCA. Os itens mais importantes:

- Realizar ensaios mecânicos superiores a 91 dias, para verificar a continuidade do ganho de resistência;
- Realizar ensaios de térmica e acústica com o mesmo equipamento para todos os materiais de uso para os diferentes métodos construtivos (blocos cerâmicos e de concreto estruturais, tijolo, concreto);
- Avaliar a durabilidade dos concretos estudados em diferentes condições ambientais;
- Analisar de forma mais detalhada o equipamento de ensaio acústico, caso haja alguma configuração diferenciada para os ensaios de absorção, bem como a necessidade de manter o equipamento em um local isolado acusticamente;
- Estudar se o concreto com substituição de CP por CCA mudar suas características de aderência com o aço para concreto reforçado.

REFERÊNCIAS

ABESC – Associação Brasileira das empresas de Serviço de Concretagem.

Concreto auto-adensável. Disponível em:

<<http://www.abesc.org.br/tecnologias/concreto-auto-adensavel.html>> Acesso em 25 de novembro de 2015.

ALENCAR, *et al.* Aplicação de concreto auto-adensável na produção de pré-fabricados, **Téchne**, PINI, v.137, p. 60-64, 2008.

ALMEIDA, N. U. **O controle do ruído ambiental em empresas da cidade industrial de Curitiba.** 2008. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural – desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais.** 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, 2014.

ASHRAE, H. **Fundamentals.** Inch-Pound Edition. Atlanta, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7217:** Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7222:** Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7584:** Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 9775:** Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 10024:** Chapa dura de fibra de madeira — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **ISO 10534 - 1:** Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-- Part 1: Method using standing wave ratio. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 11768:** Aditivos para concreto de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12142:** Concreto -Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 12179:** Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15823:** Concreto auto-adensável: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 16055:** Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ATLAS SÓCIO ECONÔMICO. **Arroz.** Disponível em:
<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=819&cod

_menu=817&tipo_menu=ECONOMIA&cod_conteudo=1490> Acesso em 10 de jan. 2017.

BUJOREANU, C. *et al.* Experimental and theoretical considerations on sound absorption performance of waste materials including the effect of backing plates. **Elsevier**, 2017, p. 88-93, dez 2016.

CARVALHO, R.P. **Acústica arquitetônica**. Brasília/DF: Thesaurus, 2006.

CARVALHO, L. F. **Sistema construtivo em paredes de concreto para edifícios: dimensionamento da estrutura e aspectos construtivos**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CAVALCANTI, D. J. de H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia / Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CIMENTO ITAIMBE. **Novas tecnologias em parede de concreto (2010)**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/novas-tecnologias-em-paredes-de-concreto/>> Acesso em 20 de novembro de 2015.

COLLATTO, D. *et al.* Utilização da sílica da casca de arroz na produção de concreto usinado em central. In: 53º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. 2011, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis, 2011. Disponível em: < <http://www.ibracon.org.br/eventos/53cbc/artigos.asp> >. Acesso em: 25 nov. 2016.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 20 de nov.2016.

COUTINHO, B. S. **Propriedades e comportamento estrutural do concreto auto-adensável**. 2011. 240 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DALCIN, B. J.; *et al.* **Concretos autoadensáveis com substituição parcial de cimento Portland por sílica de casca de arroz obtida através da queima controlada em leito fluidizado: desempenho nos estados fresco e endurecido**. BAC. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, Porto, 2015.

DALCIN, B. J. **Avaliação do potencial do uso da sílica de casca de arroz obtida através da queima controlada como substituição parcial ao cimento Portland na produção de concretos autoadensáveis.** 2016. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

DUARTE, J. L. R; TEN CATEN, C. S. **Série monográfica qualidade-** projeto de experimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

EFNARC. **Specification and guidelines for self-compacting concrete.** Applications to reproduce all or part of this document should be made to EFNARC at the address shown on the title page. Reino Unido 2002. (www.efnarc.org)

FERNANDES, J. C. **Acústica e ruído 2002.** Faculdade de Engenharia – UNESP, Bauru, 2002.

FLACH, F. **Investigação do potencial de absorção acústica de compósitos de argamassa com materiais reciclados.** 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2012.

FOLETTTO, E. L. *et al*, Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Quim Nova**, Vol 28, n. 6, 1055 – 1060. Ago. 2005.

FONTANA, T. B. **Ensaio não destrutivo para determinação da resistência à compressão sob tensão.** 2015. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e controle.** 3ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GOMES, P.C.C; BARROS, A. de A. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável.** 1ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2009.

ISAIA, G. C., *et al*. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: Propriedades mecânicas e microestrutura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, p. 121-137, jan/mar. 2010.

JAMES, J. RAO, S.M. Reaction product of lime and silica from rice husk ash. **Elsevier**, vol. 16, p 67-73, 1986.

JUNGES, B. M. B. **Estudo da distribuição espacial da dureza no concreto autoadensável**. 2016. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

KRUG, F. L. **Influência do beneficiamento por peneiramento no comportamento da cinza de casca de arroz: estudo como adição pozolânica em concretos**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

LAZZARINI, V. E. P. **Elementos de Acústica**. Londrina, PR. 1998.

MACHADO M. D.; *et al.* Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos. **IBRACON**, Volume 2, 2009, p. 100-123.

MARANGON, E. *et al.* **Atividade pozolânica da sílica da casca de arroz produzida por combustão em leito fluidizado**. 55^o Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON, Gramado, RS. 2013.

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibras de aço**. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MEDINA, F. N. *et al.* Influence of fibers partially coated with rubber from tire recycling as aggregate on the acoustical properties of rubberized concrete. **Elsevier**, vol. 129, p 25-36, 2016.

MEHTA, P. K. **Rice Husk Ash - A unique supplementary cement material proceedings of the international symposium on advances in concrete technology**. Athens, Greece, 1992.

MISSURELLI, H.; MASSUDA, C. Como construir paredes de concreto. **Revista techne**, ano 17, n. 147, São Paulo, 2009.

NEUBAUER, P.M. **Estudo comparativo entre diversas composições com pisos flutuantes de madeira natural - assoalho e tacos - quanto ao isolamento ao ruído de impacto**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2009.

OKAMURA, H.; OUCHI M. Self-compacting concrete. **Journal of Advanced Concrete Technology**, Japan, v.1, p. 5-15, abr. 2003.

PACHLA, E. C. **Desenvolvimento de compósitos de concreto celular e casca de arroz: Caracterização física, mecânica e acústica.** 2015. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

PEREIRA, C. M. C. **Caracterização do betão através de técnicas não destrutivas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

PESSETTE, J. B; PELISSER, F. **Efeito da borracha reciclada de pneus na condutividade térmica de paredes de concreto.** 2012. 15 f. Artigo conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2012.

REPETTE, W. L. Concreto auto-adensável – características e aplicações. . **Téchne**, PINI, edição 135, 2008.

SENGER, S. C. T. **Determinação das propriedades térmicas de materiais de construção através do método do regime regular e sua aplicação na transferência de calor de paredes.** 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

SIKA. **Especificação aditivo superplastificante.** Disponível em: <<http://bra.sika.com/>> Acesso em 01 de dezembro de 2015.

SILVA, G. J. B., **Estudo do comportamento do concreto de cimento Portland produzido com a adição do resíduo de polimento do porcelanato.** 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SILVA, E. J da. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil.** 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2009.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz em termoelétricas como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** 2007. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D.C. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: Editora Pini, 2008.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – IBRACON. 2011, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis, 2011. Disponível em: <<http://www.ibracon.org.br/eventos/53cbc/artigos.asp>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. Concreto de alto e ultra-alto desempenho. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – IBRACON. 2011, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis, 2011. Disponível em: <<http://www.ibracon.org.br/eventos/53cbc/artigos.asp>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

VIEIRA, A. **Concreto auto-adensável com adições minerais**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2010.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Especificação cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.votorantimcimentos.com.br/hotsites/cimento/base.htm>> Acesso em: 01 de dezembro de 2015.

ZERBINO, R. GIACCIO, G. ISAIA, G. C. Concrete incorporating rice husk ash without processing. Elsevier, 2011, p. 371-378, jul. 2011.

ANEXO A

Resultados dos ensaios de compressão diametral

MPa/Idade (dias)	REF	10%	20%	30%	DALCIN (15%)
7 DIAS	15,94	17,53	15,64	11,91	25,58
	17,79	17,90	14,51	14,11	25,38
	17,71	17,84	15,00	12,97	-
28 DIAS	28,74	24,38	29,60	27,34	40,25
	27,46	24,79	28,18	26,18	39,50
	39,59	28,60	25,55	29,81	-
56 DIAS	32,91	30,19	40,64	37,13	48,04
	28,56	33,35	39,42	34,86	43,79
	33,30	33,36	36,75	32,79	-
91 DIAS	35,57	35,47	43,48	36,29	-
	35,35	33,49	42,55	35,22	-
	28,42	39,07	31,55	34,71	-

ANEXO B

Resultados dos ensaios de compressão à tração diametral.

MPa/Idade (dias)	REF	10%	20%	30%
7 DIAS	1,71	1,41	1,44	1,19
	1,64	1,34	1,44	1,18
	1,61	1,69	1,23	1,29
28 DIAS	2,02	2,04	1,71	2,92
	1,60	2,60	2,42	2,61
	1,33	2,34	2,04	2,63
56 DIAS	2,77	2,39	2,10	2,47
	2,74	2,64	2,67	3,30
	2,57	2,21	3,53	2,22
91 DIAS	3,03	3,10	2,13	2,48
	2,38	2,78	4,19	3,16
	2,76	3,07	3,29	2,53

ANEXO C

Resultados dos ensaios de absorção acústica – TRAÇO REF.

FREQ.	TODOS																	
50	0,589	0,428	0,392	0,337	0,284	0,274	0,236	0,22	0,213	0,186	0,183	0,137	0,098	0,001	0			
63	0,651	0,517	0,413	0,374	0,355	0,237	0,222	0,175	0,168	0,156	0,137	0,133	0,104	0,087	0,003			
80	0,415	0,29	0,29	0,268	0,25	0,239	0,216	0,207	0,17	0,153	0,13	0,099	0,097	0,081	0,004			
100	0,378	0,337	0,316	0,311	0,28	0,257	0,247	0,234	0,185	0,155	0,146	0,136	0,134	0,122	0,006			
125	0,333	0,316	0,295	0,284	0,249	0,248	0,224	0,217	0,157	0,15	0,142	0,123	0,113	0,103	0,041			
160	0,31	0,296	0,282	0,191	0,171	0,169	0,148	0,137	0,136	0,121	0,115	0,113	0,067	0,061	0,009			
200	0,444	0,234	0,185	0,18	0,174	0,164	0,139	0,134	0,126	0,125	0,121	0,116	0,068	0,017	0,005			
250	0,338	0,29	0,134	0,133	0,115	0,114	0,112	0,111	0,091	0,088	0,086	0,079	0,073	0,019	0,001			
315	0,358	0,324	0,289	0,262	0,252	0,227	0,081	0,07	0,069	0,064	0,054	0,052	0,046	0,043	0,04			
400	0,504	0,494	0,488	0,417	0,389	0,369	0,061	0,051	0,043	0,037	0,037	0,034	0,031	0,03	0,028			
500	0,369	0,35	0,349	0,281	0,258	0,165	0,066	0,061	0,042	0,039	0,03	0,029	0,029	0,026	0,017			
630	0,399	0,303	0,262	0,259	0,231	0,14	0,094	0,047	0,044	0,026	0,022	0,02	0,017	0,016	0,013			
800	0,181	0,16	0,153	0,131	0,126	0,122	0,08	0,075	0,038	0,018	0,018	0,018	0,018	0,017	0,014			
1000	0,382	0,225	0,201	0,2	0,18	0,171	0,088	0,064	0,061	0,021	0,017	0,017	0,016	0,016	0,013			
500	0,228	0,216	0,198	0,129	0,086	0,075	0,06	0,039	0,028	0,025	0,024	0,022	0,019	0,017	0,01	0,001	0	0
630	0,314	0,246	0,236	0,222	0,198	0,169	0,157	0,083	0,068	0,066	0,059	0,043	0,039	0,034	0,033	0,033	0,016	0,014
800	0,378	0,216	0,206	0,195	0,178	0,163	0,162	0,127	0,119	0,074	0,073	0,063	0,059	0,048	0,035	0,019	0,017	0,013
1000	0,342	0,176	0,169	0,156	0,153	0,142	0,112	0,085	0,085	0,075	0,064	0,039	0,038	0,027	0,026	0,019	0,018	0,01
1250	0,205	0,169	0,081	0,06	0,058	0,053	0,041	0,038	0,031	0,03	0,029	0,023	0,02	0,009	0,007	0,003	0,003	0,003
1600	0,384	0,067	0,05	0,03	0,029	0,026	0,026	0,025	0,025	0,024	0,024	0,023	0,022	0,02	0,019	0,013	0,012	0,01
2000	0,37	0,303	0,183	0,177	0,173	0,107	0,106	0,099	0,091	0,071	0,059	0,058	0,051	0,033	0,026	0,024	0,024	0,023
2500	0,26	0,164	0,135	0,114	0,101	0,099	0,08	0,072	0,064	0,061	0,059	0,059	0,054	0,049	0,048	0,022	0,02	0,02
3150	0,136	0,103	0,061	0,056	0,051	0,048	0,044	0,039	0,03	0,025	0,021	0,012	0,011	0,011	0,01	0,008	0,007	0,005
4000	0,263	0,244	0,082	0,062	0,048	0,047	0,046	0,041	0,035	0,035	0,032	0,017	0,014	0,011	0,007	0,003	0,002	0,001
5000	0,415	0,262	0,05	0,043	0,042	0,041	0,041	0,041	0,039	0,039	0,038	0,037	0,036	0,022	0,02	0,02	0,019	0,016
6300	0,288	0,12	0,117	0,073	0,06	0,033	0,032	0,029	0,029	0,028	0,023	0,022	0,021	0,02	0,019	0,017	0,012	0,011

Resultados dos ensaios de absorção acústica – TRAÇO 10%.

FREQ.	TODOS															
50	0,577	0,468	0,307	0,273	0,200	0,173	0,155	0,133	0,122	0,110	0,089	0,029	0,013	0,001	0,000	
63	0,645	0,606	0,320	0,292	0,269	0,243	0,211	0,187	0,124	0,109	0,099	0,057	0,048	0,044	0,019	
80	0,505	0,363	0,361	0,348	0,218	0,170	0,166	0,142	0,106	0,099	0,098	0,078	0,072	0,057	0,020	
100	0,308	0,297	0,211	0,196	0,163	0,158	0,141	0,126	0,118	0,118	0,111	0,071	0,068	0,023	0,008	
125	0,368	0,368	0,361	0,213	0,189	0,167	0,135	0,130	0,124	0,112	0,084	0,079	0,071	0,059	0,026	
160	0,309	0,214	0,210	0,188	0,179	0,144	0,116	0,113	0,101	0,091	0,091	0,087	0,051	0,034	0,016	
200	0,265	0,233	0,226	0,217	0,216	0,182	0,147	0,102	0,100	0,092	0,075	0,061	0,045	0,010	0,000	
250	0,440	0,199	0,184	0,158	0,138	0,127	0,105	0,093	0,071	0,055	0,048	0,030	0,021	0,000	0,000	
315	0,479	0,241	0,212	0,198	0,193	0,149	0,135	0,100	0,092	0,092	0,061	0,049	0,048	0,041	0,001	
400	0,538	0,440	0,429	0,391	0,371	0,370	0,341	0,211	0,064	0,049	0,048	0,047	0,038	0,038	0,037	
500	0,351	0,288	0,265	0,221	0,221	0,220	0,171	0,139	0,071	0,034	0,030	0,028	0,025	0,025	0,013	
630	0,292	0,192	0,189	0,186	0,161	0,153	0,150	0,145	0,090	0,055	0,022	0,022	0,019	0,019	0,019	
800	0,142	0,123	0,119	0,116	0,110	0,105	0,099	0,092	0,089	0,041	0,020	0,016	0,015	0,014	0,014	
1000	0,193	0,193	0,187	0,166	0,159	0,123	0,115	0,099	0,056	0,027	0,021	0,018	0,017	0,016	0,005	
500	0,167	0,065	0,065	0,050	0,023	0,021	0,019	0,014	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
630	0,171	0,116	0,080	0,074	0,043	0,031	0,030	0,029	0,009	0,006	0,005	0,003	0,002	0,002	0,001	0,000
800	0,130	0,094	0,090	0,086	0,054	0,042	0,033	0,030	0,024	0,006	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
1000	0,071	0,069	0,058	0,058	0,049	0,034	0,032	0,031	0,015	0,006	0,006	0,005	0,002	0,002	0,001	0,001
1250	0,048	0,040	0,040	0,040	0,033	0,028	0,025	0,025	0,006	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001
1600	0,036	0,035	0,034	0,032	0,031	0,030	0,029	0,028	0,014	0,013	0,012	0,011	0,011	0,010	0,008	0,007
2000	0,131	0,095	0,085	0,083	0,082	0,077	0,076	0,068	0,030	0,029	0,029	0,029	0,028	0,028	0,025	0,023
2500	0,074	0,072	0,064	0,062	0,061	0,059	0,042	0,039	0,027	0,024	0,022	0,020	0,019	0,017	0,015	0,015
3150	0,046	0,030	0,030	0,025	0,024	0,023	0,023	0,021	0,020	0,018	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,009
4000	0,078	0,065	0,051	0,036	0,036	0,034	0,033	0,029	0,011	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5000	0,064	0,056	0,053	0,042	0,041	0,039	0,038	0,038	0,027	0,016	0,016	0,015	0,015	0,014	0,013	0,013
6300	0,190	0,135	0,132	0,111	0,081	0,076	0,028	0,026	0,024	0,019	0,018	0,017	0,014	0,012	0,011	0,009

Resultados dos ensaios de absorção acústica – TRAÇO 20%.

FREQ.	TODOS														
50	0,552	0,275	0,270	0,247	0,231	0,223	0,218	0,196	0,150	0,083	0,074	0,068	0,022	0,000	0,000
63	0,728	0,604	0,234	0,231	0,171	0,166	0,155	0,154	0,153	0,119	0,110	0,095	0,089	0,064	0,001
80	0,458	0,288	0,278	0,235	0,214	0,154	0,124	0,122	0,118	0,114	0,092	0,078	0,061	0,021	0,005
100	0,397	0,350	0,347	0,345	0,318	0,235	0,204	0,180	0,172	0,144	0,141	0,137	0,129	0,078	0,059
125	0,422	0,299	0,244	0,225	0,220	0,212	0,206	0,169	0,132	0,126	0,116	0,103	0,086	0,056	0,034
160	0,282	0,256	0,208	0,157	0,143	0,138	0,116	0,116	0,112	0,109	0,103	0,090	0,063	0,063	0,049
200	0,288	0,285	0,239	0,145	0,134	0,116	0,100	0,097	0,089	0,079	0,060	0,048	0,047	0,011	0,002
250	0,250	0,204	0,189	0,173	0,172	0,082	0,080	0,074	0,052	0,038	0,038	0,022	0,019	0,006	0,000
315	0,373	0,311	0,301	0,298	0,220	0,190	0,103	0,083	0,041	0,036	0,034	0,032	0,028	0,025	0,005
400	0,496	0,456	0,455	0,406	0,341	0,224	0,152	0,112	0,034	0,032	0,031	0,029	0,025	0,021	0,016
500	0,320	0,298	0,296	0,246	0,220	0,217	0,161	0,088	0,087	0,035	0,018				0,010
630	0,331	0,227	0,219	0,218	0,192	0,175	0,135	0,103	0,039	0,032	0,031				0,022
800	0,198	0,138	0,134	0,131	0,122	0,112	0,101	0,093	0,025	0,019	0,014				0,011
1000	0,246	0,241	0,225	0,220	0,211	0,165	0,149	0,057	0,028	0,017	0,017				0,015
500	0,316	0,062	0,042	0,035	0,025	0,019	0,016	0,014	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000		
630	0,211	0,111	0,055	0,049	0,024	0,022	0,017	0,014	0,006	0,005	0,004	0,003	0,001		
800	0,098	0,077	0,073	0,061	0,037	0,026	0,024	0,016	0,010	0,005	0,004	0,003	0,002		
1000	0,064	0,049	0,044	0,041	0,031	0,029	0,023	0,022	0,020	0,008	0,007	0,003	0,002		
1250	0,031	0,030	0,024	0,024	0,021	0,020	0,018	0,014	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002		
1600	0,028	0,028	0,027	0,027	0,025	0,023	0,014	0,012	0,009	0,007	0,006	0,006	0,005		
2000	0,135	0,108	0,099	0,085	0,073	0,071	0,067	0,028	0,028	0,025	0,025	0,024	0,023		
2500	0,112	0,074	0,066	0,063	0,060	0,052	0,047	0,024	0,022	0,021	0,020	0,019	0,018		
3150	0,032	0,028	0,025	0,023	0,023	0,021	0,021	0,021	0,019	0,019	0,017	0,015	0,013		
4000	0,051	0,045	0,044	0,042	0,030	0,029	0,025	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000		
5000	0,045	0,039	0,038	0,037	0,036	0,036	0,034	0,018	0,017	0,015	0,015	0,014	0,013		
6300	0,130	0,041	0,037	0,034	0,031	0,028	0,027	0,022	0,016	0,014	0,011	0,010	0,009		

Resultados dos ensaios de absorção acústica – TRAÇO 30%.

FREQ.	TODOS													
50	0,649	0,427	0,352	0,341	0,314	0,262	0,213	0,184	0,146	0,123	0,103	0,102	0,099	0,055
63	0,571	0,363	0,353	0,334	0,269	0,205	0,193	0,167	0,163	0,144	0,132	0,096	0,030	0,001
80	0,510	0,413	0,315	0,282	0,268	0,255	0,211	0,204	0,157	0,153	0,082	0,061	0,050	0,000
100	0,457	0,340	0,322	0,314	0,221	0,193	0,170	0,145	0,133	0,099	0,099	0,049	0,042	0,012
125	0,309	0,304	0,220	0,195	0,189	0,165	0,138	0,115	0,105	0,102	0,093	0,089	0,087	0,001
160	0,294	0,209	0,180	0,175	0,166	0,095	0,082	0,072	0,069	0,065	0,059	0,042	0,038	0,033
200	0,311	0,191	0,169	0,154	0,130	0,127	0,113	0,101	0,038	0,036	0,035	0,028	0,024	0,000
250	0,178	0,152	0,143	0,136	0,135	0,116	0,108	0,108	0,057	0,026	0,026	0,026	0,000	0,000
315	0,512	0,435	0,311	0,276	0,257	0,171	0,109	0,083	0,079	0,076	0,023	0,023	0,022	0,020
400	0,582	0,518	0,487	0,464	0,462	0,214	0,183	0,055	0,048	0,043	0,026	0,025	0,024	0,022
500	0,245	0,228	0,109	0,030	0,030									0,014
630	0,190	0,177	0,146	0,053	0,039									0,017
800	0,153	0,135	0,113	0,071	0,065									0,016
1000	0,191	0,158	0,144	0,032	0,019									0,014
500	0,298	0,190	0,113	0,039	0,034	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
630	0,143	0,126	0,059	0,031	0,030	0,020	0,019	0,016	0,008	0,003	0,002	0,002	0,001	0,000
800	0,103	0,076	0,046	0,040	0,031	0,026	0,023	0,018	0,010	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001
1000	0,072	0,059	0,036	0,035	0,030	0,019	0,016	0,015	0,015	0,004	0,004	0,003	0,002	0,000
1250	0,070	0,047	0,032	0,024	0,022	0,017	0,015	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000
1600	0,100	0,041	0,041	0,033	0,032	0,030	0,028	0,020	0,020	0,020	0,018	0,013	0,013	0,012
2000	0,171	0,144	0,143	0,127	0,094	0,061	0,059	0,049	0,044	0,040	0,039	0,036	0,030	0,023
2500	0,095	0,092	0,083	0,069	0,063	0,042	0,034	0,034	0,031	0,024	0,024	0,020	0,019	0,017
3150	0,052	0,035	0,031	0,031	0,030	0,025	0,023	0,022	0,021	0,018	0,017	0,017	0,016	0,011
4000	0,089	0,063	0,053	0,047	0,038	0,030	0,026	0,024	0,009	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000
5000	0,075	0,073	0,054	0,052	0,051	0,050	0,039	0,039	0,038	0,026	0,023	0,019	0,018	0,015
6300	0,133	0,130	0,101	0,060	0,055	0,054	0,045	0,045	0,041	0,030	0,023	0,020	0,016	0,013

Resultados dos ensaios de absorção acústica – TRAÇO J15%.

FREQ.	TODOS														
50	0,469	0,321	0,310	0,278	0,264	0,237	0,172	0,154	0,140	0,136	0,131	0,113	0,078	0,002	0,000
63	0,427	0,389	0,387	0,369	0,221	0,218	0,202	0,178	0,177	0,132	0,119	0,068	0,062	0,050	0,005
80	0,677	0,398	0,396	0,265	0,261	0,253	0,226	0,159	0,152	0,150	0,140	0,126	0,099	0,065	0,026
100	0,399	0,327	0,317	0,293	0,180	0,177	0,133	0,124	0,116	0,099	0,094	0,079	0,069	0,063	0,040
125	0,516	0,378	0,197	0,176	0,172	0,169	0,147	0,145	0,120	0,117	0,089	0,066	0,063	0,040	0,020
160	0,455	0,341	0,275	0,161	0,133	0,111	0,091	0,088	0,082	0,074	0,074	0,074	0,034	0,018	0,011
200	0,493	0,198	0,192	0,157	0,126	0,107	0,106	0,103	0,082	0,059	0,054	0,050	0,035	0,027	0,024
250	0,411	0,228	0,220	0,168	0,116	0,111	0,082	0,067	0,051	0,046	0,042	0,033	0,021	0,021	0,000
315	0,449	0,388	0,364	0,305	0,243	0,220	0,205	0,044	0,035	0,033	0,028	0,028	0,023	0,019	0,018
400	0,590	0,519	0,509	0,465	0,462	0,454	0,366	0,113	0,040	0,028	0,027	0,024	0,022	0,021	0,020
500	0,536	0,282	0,229	0,199	0,196	0,160	0,071	0,030	0,029	0,026	0,023	0,023	0,018		0,012
630	0,443	0,281	0,208	0,206	0,202	0,164	0,104	0,065	0,038	0,030	0,028	0,028	0,016		0,013
800	0,171	0,128	0,123	0,121	0,117	0,100	0,082	0,064	0,034	0,028	0,023	0,020	0,020		0,015
1000	0,327	0,321	0,315	0,205	0,151	0,075	0,054	0,049	0,040	0,023	0,020	0,018	0,016		0,016
500	0,249	0,163	0,070	0,029	0,026	0,026	0,023	0,023	0,020	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	
630	0,208	0,153	0,045	0,045	0,038	0,034	0,014	0,013	0,005	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	
800	0,189	0,141	0,060	0,045	0,034	0,032	0,020	0,019	0,010	0,010	0,009	0,004	0,002	0,000	
1000	0,138	0,118	0,046	0,044	0,040	0,023	0,020	0,020	0,008	0,008	0,005	0,004	0,002	0,000	
1250	0,092	0,076	0,033	0,030	0,029	0,019	0,017	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,001	
1600	0,053	0,038	0,037	0,028	0,027	0,021	0,020	0,019	0,015	0,014	0,011	0,011	0,002	0,001	
2000	0,198	0,116	0,110	0,096	0,079	0,071	0,068	0,044	0,035	0,034	0,033	0,033	0,032	0,027	
2500	0,166	0,131	0,081	0,080	0,079	0,077	0,042	0,037	0,032	0,031	0,030	0,028	0,024	0,024	
3150	0,035	0,034	0,031	0,031	0,029	0,029	0,028	0,028	0,028	0,026	0,025	0,021	0,019	0,016	
4000	0,104	0,048	0,045	0,042	0,040	0,039	0,037	0,027	0,025	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	
5000	0,093	0,045	0,043	0,042	0,040	0,038	0,034	0,034	0,025	0,020	0,016	0,015	0,014	0,013	
6300	0,199	0,105	0,070	0,056	0,048	0,036	0,035	0,034	0,030	0,030	0,020	0,019	0,019	0,016	

ANEXO D

Resultados dos ensaios de isolamento acústico – TRAÇO REF.

FREQ.	TODOS										
50	42,280	35,910	35,140	33,730	25,830	25,720	25,620	24,800	24,690	23,190	22,890
63	46,110	43,880	41,100	39,520	32,420	31,440	31,170	29,100	28,650	28,140	26,300
80	47,990	47,140	45,880	45,790	33,550	32,620	32,420	31,470	31,000	30,790	30,300
100	53,600	52,570	50,460	48,830	36,040	35,380	35,380	35,090	34,950	34,730	33,810
125	55,040	54,040	53,890	51,210	37,890	37,840	37,740	37,090	36,620	36,250	35,810
160	50,820	50,020	49,550	49,080	38,390	38,280	38,240	36,790	36,480	36,150	35,740
200	43,090	42,860	42,710	42,630	36,720	36,700	36,650	32,540	32,540	32,490	32,390
250	39,760	39,760	39,720	39,670	30,140	30,140	30,070	26,750	26,430	26,270	26,110
315	43,890	43,820	43,800	43,700	32,820	32,800	32,780	29,830	29,600	29,550	29,320
400	49,040	48,990	48,980	48,820	37,860	37,840	37,790	35,930	35,810	35,680	35,500
500	40,750	40,750	40,740	40,680	33,290	33,280	33,270	32,020	31,980	31,940	31,870
630	40,430	40,400	40,400	40,320	33,040	32,890	32,870	32,870	32,820	32,810	32,660
800	37,060	37,040	37,020	36,970	28,620	28,570	28,500	28,460	28,100	28,100	28,070
1000	41,100	41,010	41,010	40,940	26,920	26,920	26,890	26,000	25,920	25,810	25,690
500	23,800	22,980	22,900	20,220	20,200	20,060	20,020	20,000	19,970	19,940	19,910
630	29,240	29,110	27,880	24,530	24,280	24,120	23,800	17,940	17,900	17,870	17,840
800	23,330	23,290	23,270	23,240	22,760	22,700	22,670	19,000	18,950	18,910	18,880
1000	29,070	29,070	29,060	29,030	27,340	27,190	26,790	24,850	24,770	24,770	24,680
1250	30,970	30,940	30,810	29,390	29,310	29,280	29,270	28,860	28,850	28,820	28,810
1600	33,120	33,030	33,020	33,000	32,980	32,970	32,920	30,730	30,710	30,710	30,690
2000	30,930	30,920	30,900	29,460	29,420	29,360	29,330	27,520	27,500	27,480	27,480
2500	31,410	31,350	31,310	31,300	29,790	29,760	29,710	29,610	29,590	29,580	29,550
3150	37,500	37,430	37,370	32,540	32,530	32,510	32,500	31,930	31,880	31,790	31,560
4000	37,310	37,300	37,160	32,530	32,500	32,500	32,480	29,460	29,430	29,430	29,430
5000	39,930	39,910	39,910	38,830	38,820	38,810	38,800	35,140	35,130	35,130	35,120
6300	39,830	39,340	39,190	38,240	38,140	38,050	37,990	36,750	36,740	36,720	36,680

Resultados dos ensaios de isolamento acústico – TRAÇO 10%.

FREQ.	TODOS													
50	43,150	36,580	36,350	35,470	35,070	34,350	29,150	28,470	26,590	26,050	24,900	24,300	24,180	23,500
63	44,590	43,130	42,910	41,690	39,010	38,390	34,630	34,480	33,180	32,460	30,260	29,430	29,000	26,940
80	49,220	48,710	48,520	48,420	47,540	47,170	36,780	36,030	36,010	35,240	33,000	32,650	32,200	32,110
100	53,820	53,420	53,130	52,790	50,510	50,430	39,870	39,480	39,420	37,950	35,790	35,210	35,110	34,700
125	57,640	56,640	54,990	54,800	54,650	52,730	41,600	41,450	40,810	40,810	37,010	36,260	36,090	36,010
160	60,330	58,700	58,590	58,580	58,510	56,260	40,290	40,240	40,090	40,080	36,170	35,990	35,920	35,870
200	53,110	52,830	52,360	51,860	51,720	51,570	35,290	35,280	35,230	35,120	32,070	32,030	31,980	31,930
250	45,550	45,070	43,950	38,080	37,990	37,750	30,420	30,300	30,250	30,190	26,300	26,100	26,040	26,030
315	53,980	48,140	48,080	45,320	45,130	44,960	34,130	34,090	34,080	34,050	29,920	29,770	29,770	29,730
400	58,050	57,930	56,900	56,230	55,900	55,700	39,540	39,470	39,460	39,390	35,510	35,380	35,340	35,310
500	47,160	47,130	47,000	46,850	46,830	46,800	35,750	35,710	35,620	35,380	32,900	32,820	32,780	32,770
630	50,440	48,960	48,630	45,890	45,810	45,790	35,430	35,410	35,380	35,330	32,800	32,730	32,710	32,680
800	46,770	46,690	46,030	42,990	42,980	42,960	32,110	32,040	31,950	31,640	29,970	29,940	29,900	29,900
1000	47,500	47,450	47,440	42,770	42,730	42,200	32,030	31,990	31,930	31,650	28,420	28,380	28,380	28,360
500	52,390	51,800	51,270	49,790	49,350	46,670	22,710	22,470	22,460	22,360	21,720	21,710	21,680	21,390
630	37,580	37,420	37,390	37,200	36,900	36,630	25,210	24,380	24,360	24,320	24,220	24,160	23,850	23,480
800	44,630	43,880	43,510	43,500	43,410	43,290	29,340	29,240	29,180	29,150	21,450	21,430	21,380	21,340
1000	40,050	39,610	39,450	39,340	39,240	39,200	33,350	33,330	33,090	33,000	25,250	25,170	25,120	25,090
1250	52,430	52,430	52,300	52,290	52,120	52,040	35,970	35,930	35,650	35,500	30,630	30,560	30,450	30,310
1600	54,390	54,180	54,030	53,710	53,290	52,510	36,330	36,320	36,300	36,250	31,500	31,410	31,340	31,210
2000	52,080	51,930	51,730	51,600	51,350	51,010	31,240	31,200	31,190	31,140	29,270	29,210	29,130	29,040
2500	43,240	42,780	42,530	42,380	42,250	42,100	34,800	34,670	34,190	33,300	26,870	26,800	26,710	26,570
3150	39,230	39,220	39,210	39,210	39,210	39,200	33,810	33,530	32,990	32,920	29,520	29,460	29,380	29,280
4000	45,130	45,080	45,070	45,060	45,010	44,970	34,690	34,680	34,570	34,460	32,340	32,100	31,810	31,450
5000	49,650	49,470	49,260	48,990	48,600	47,390	40,050	40,030	40,020	40,010	38,040	37,940	37,800	37,020
6300	50,980	50,860	50,690	50,450	50,060	48,620	38,740	38,690	38,470	38,030	37,980	37,960	37,940	37,780

Resultados dos ensaios de isolamento acústico – TRAÇO 30%.

FREQ.	TODOS																
50	38,41	38,06	37,91	37,69	36,47	34,98	34,31	30,67	25,66	23,05	22,62	21,93	19,99	19,42	14,01	13,75	13,69
63	44,56	43,78	40,88	40,44	38,94	38,68	38,06	36,07	29,86	28,21	27,28	25,33	24,59	24,13	20,03	19,43	19,41
80	49,29	49,29	48,74	46,46	45,86	44,01	41,2	39,94	33,43	31,81	31,39	30,03	29,03	28,99	24,73	24,64	24,56
100	50	49,75	49,65	49,33	49,18	47,54	45,71	45,47	35,91	35,19	33,91	33,03	32,96	31,86	28,32	27,72	27,56
125	53,32	52,57	52,44	52,32	51,7	50,58	49,97	49,87	36,51	35,53	34,46	34,4	34,05	33,83	29,6	29,49	29,45
160	55,63	55,22	54,49	53,3	47,85	47,66	47,5	46,22	37,05	36,34	34,79	34,63	34,43	34,06	30,14	30,11	29,94
200	53,24	53,15	52,96	52,82	47,7	47,43	47,37	47,26	35,42	34,35	32,88	32,7	32,49	32,34	28,58	28,45	28,43
250	45,97	45,9	45,87	45,77	45,66	45,52	45,5	45,46	29,6	28,42	26,87	26,76	26,45	26,2	23,06	22,97	22,96
315	49,72	49,64	49,59	49,52	48,87	48,83	48,8	48,73	31,35	30,09	29,66	29,33	29,11	28,5	25,49	25,38	25,37
400	58,82	58,67	58,63	58,47	57,5	57,3	57,21	57,19	37,69	36,35	35,56	35,4	35,16	34,57	31,47	31,39	31,36
500	45,16	45,06	44,92	44,75	42,84	42,73	42,64	42,58	33,53	32,43	31,87	31,7	31,5	31,03	28,88	28,85	28,85
630	47,94	47,66	47,58	47,48	47,36	47,08	46,97	46,92	33,84	33,26	33,09	32,91	32,9	31,73	29,66	29,55	29,52
800	44,04	43,97	43,94	43,86	42,68	42,62	42,55	42,4	30,07	29,18	29,07	28,92	28,67	28,08	26,31	26,27	26,27
1000	45,39	45,32	45,28	45,13	43,29	43,23	43,19	43,08	30,29	30,14	29,93	26,68	25,82	24,78	23,26	23,22	23,2
500	28,64	28,34	27,89	27,56	27,48	27,3	27,17	21,24	21,11	20,9							
630	28,23	27,83	27,34	23,78	23,35	23,06	22,82	18,38	18,37	18,37							
800	25,38	25,33	25,14	21,47	21,44	21,33	21,24	17,58	17,47	17,32							
1000	29,15	29,1	29,05	25,09	25,07	25,04	25,02	23,66	23,59	23,58							
1250	33,33	33,33	33,3	29,77	29,68	29,51	29,17	27,88	27,77	27,64							
1600	35,45	35,42	35,41	30,32	30,19	29,94	29,91	29,84	29,75	29,49							
2000	33,21	33,2	33,17	28,39	28,33	28,26	26,22	26,02	25,78	25,49							
2500	30,65	30,62	30,6	28,65	28,58	28,47	27,88	27,87	27,83	27,8							
3150	36,63	36,48	36,21	34,41	34,37	34,29	33,99	32,77	32,71	32,66							
4000	39,94	39,93	39,89	37,56	37,52	37,44	37,22	33,2	33,09	32,93							
5000	45,15	45,09	45,02	40,41	40,38	40,32	40,15	38,87	38,66	38,42							
6300	39,39	39,25	39,01	37,82	37,8	37,77	35,41	35,4	35,39	35,38							

Resultados dos ensaios de isolamento acústico – TRAÇO J15%.

FREQ.	TODOS														
50	37,570	37,570	36,640	34,870	27,430	27,200	26,960	22,330	21,430	21,120	20,400	20,070	20,040	19,530	18,680
63	48,110	42,650	41,440	40,720	31,270	31,210	30,100	27,890	26,570	26,320	25,440	25,290	24,330	24,180	23,800
80	48,250	47,670	44,360	43,050	35,610	34,490	33,130	32,290	31,990	30,750	29,620	29,310	28,860	28,430	28,330
100	52,670	49,420	48,010	47,960	38,640	37,570	37,480	35,120	34,490	34,340	32,120	32,050	31,690	31,540	31,430
125	55,140	51,440	50,660	50,230	41,270	39,700	39,560	35,650	35,550	35,390	33,440	32,920	32,920	32,820	32,760
160	53,500	52,260	51,060	49,910	40,040	39,530	39,310	35,730	35,590	35,170	33,320	33,100	32,830	32,440	32,420
200	49,470	49,340	47,230	46,790	37,490	37,190	36,790	33,410	33,350	33,310	30,990	30,880	30,870	30,810	30,710
250	42,560	42,250	40,640	40,460	31,280	31,040	30,510	27,320	27,290	27,280	25,280	25,230	25,170	25,100	25,090
315	44,310	43,650	43,270	41,810	33,630	33,380	33,090	29,790	29,530	29,520	28,240	27,670	27,630	27,620	27,490
400	48,180	47,790	46,470	43,350	38,290	38,160	37,650	34,830	34,570	34,520	33,880	33,820	33,700	33,570	33,570
500	41,130	40,860	39,990	39,730	34,420	34,190	33,750	31,550	31,480	31,440	31,060	31,010	30,920	30,890	30,870
630	42,870	42,080	41,850	41,150	35,360	34,920	34,770	33,190	32,900	32,760	32,720	32,680	32,630	32,160	32,100
800	46,980	46,520	45,000	43,600	36,840	36,380	35,440	34,540	34,490	34,340	31,010	30,960	30,870	30,830	30,800
1000	51,580	51,140	49,550	48,380	41,620	41,100	40,900	40,810	40,430	39,930	33,040	33,040	32,890	32,870	32,810
500	25,400	25,260	24,860	24,500	24,130	24,020	20,390	20,150	19,790						
630	27,650	27,510	27,270	27,180	26,520	26,290	21,570	21,500	21,490						
800	29,180	28,780	28,220	28,070	28,060	27,940	25,400	25,340	25,220						
1000	32,750	32,480	32,460	32,290	32,230	31,990	26,120	26,050	25,890						
1250	36,270	35,920	35,370	34,880	34,810	34,660	28,830	28,780	28,670						
1600	37,370	37,100	36,680	34,940	34,840	34,690	29,820	29,760	29,650						
2000	35,620	35,350	34,910	30,830	30,730	30,620	27,590	27,540	27,460						
2500	31,050	30,840	30,380	30,380	30,370	30,320	27,120	27,050	26,950						
3150	35,090	34,880	34,430	30,980	30,880	30,650	30,130	30,020	29,880						
4000	35,780	35,640	35,500	35,400	35,180	34,940	34,130	34,080	33,930						
5000	43,330	43,300	43,060	42,340	42,280	42,060	41,360	41,110	40,780						
6300	49,040	49,040	48,960	42,630	42,470	42,270	38,700	37,790	36,170						