

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo



Dissertação

**POTENCIALIDADE DO USO DE CINZA DE CASCA DE
ARROZ EM BLOCOS DE CONCRETO DE ALVENARIA
ESTRUTURAL: SEGUNDO NBR 6136**

Stael Amaral Padilha

Pelotas, 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

DISSERTAÇÃO



**POTENCIALIDADE DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ EM BLOCOS DE
CONCRETO DE ALVENARIA ESTRUTURAL: SEGUNDO NBR 6136**

Stael Amaral Padilha

Pelotas, 2017

STAEI AMARAL PADILHA

**POTENCIALIDADE DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ EM BLOCOS DE
CONCRETO DE ALVENARIA ESTRUTURAL: SEGUNDO NBR 6136**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Ariela da Silva Torres, Dra.

Co-orientador: Prof. Charlei Marcelo Paliga, Dr.

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

P123p Padilha, Stael Amaral

Potencialidade do uso de cinza de casca de arroz em blocos de concreto de alvenaria estrutural : segundo NBR 6136 / Stael Amaral Padilha ; Ariela da Silva Torres , orientadora ; Charlei Marcelo Paliga , coorientador. — Pelotas, 2017.

122 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Bloco de concreto estrutural. 2. Cinza de casca de arroz. 3. Tecnologia da arquitetura. 4. Sustentabilidade. I. , Ariela da Silva Torres, orient. II. , Charlei Marcelo Paliga, coorient. III. Título.

CDD : 720

Elaborada por Kênia Moreira Bernini CRB: 10/920

Stael Amaral Padilha

**POTENCIALIDADE DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ EM BLOCOS DE
CONCRETO DE ALVENARIA ESTRUTURAL: SEGUNDO NBR 6136**

Dissertação apresentada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

07 de junho de 2017.

Banca examinadora:

.....
Profª. Dra. Ariela da Silva Torres (Orientadora)
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. Charlei Marcelo Paliga (Co-orientador)
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Profª. Dra. Ângela Azevedo
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profª. Dra. Estela Oliari Garcez
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profª. Dra. Isabel Tourinho Salamoni
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus filhos
amados, Pedro Henrique, Martina e
Cecília, as grandes obras primas de
minha vida.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus orientadores, Ariela da Silva Torres e Charlei Marcelo Paliga, pelo carinho, pelos ensinamentos e incentivos que me conduziram até aqui, nosso trabalho foi envolvido por uma parceria muito engrandecedora, meu singelo obrigado.

Aos meus pais Sergio e Sônia, que sempre depositaram em mim confiança para alcançar meus objetivos e me ensinaram que, com muito trabalho e dedicação, seria capaz de superar meus desafios.

Aos meus colegas mestrandos e bolsistas do grupo NEPAMAT, que sempre foram grandes parceiros na busca do desenvolvimento do nosso conhecimento.

A equipe do laboratório de Engenharia Civil da UFPel, Prof^a Aline, Prof^a Estela, Rodrigo, Guilherme e Mauricio, pela ajuda e parceria no desenvolvimento experimental desta pesquisa.

A professora Iraci Torres, pelo apoio no desenvolvimento da análise estatística.

Aos funcionários da Empresa São Marcos pelos préstimos e ajuda na produção dos materiais.

A minha irmã Soraia, aos meus familiares e amigos que sempre vibram e torcem pelo meu crescimento.

E finalmente, um agradecimento especial a minha esposa Ariela, aos meus filhos Pedro Henrique, Martina e Cecília, pelo amor incondicional e por me ensinarem todos os dias que a minha vida tem um sentido, e que vocês são a razão do meu esforço e dos meus sonhos.

“ Existem três jeitos de fazer as coisas:
O jeito certo, o jeito errado,
E o meu jeito.”
“Homer Jay Simpson”

Resumo

PADILHA, Stael Amaral. **Potencialidade do uso de Cinza de Casca de Arroz em Blocos de Concreto de Alvenaria Estrutural: Segundo NBR 6136**. 2017. 123f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

A agroindústria gera, anualmente, uma quantidade significativa de produtos de consumo alimentício. Dentre as maiores colheitas de cereais destacam-se o arroz, o trigo, a soja e o milho. Durante o processamento e industrialização, são gerados resíduos, que no caso do arroz é sua casca. Segundo o IBGE, o Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz, com 67,8% da produção nacional. A casca de arroz, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), é um resíduo de classe II.a, ou seja, não inerte e não perigoso à saúde humana e ao meio ambiente. No entanto, quando é incinerada em ambiente fechado (p.ex. caldeiras e fornos), resultam em cinzas altamente poluentes, liberando gases prejudiciais que contribuem para o aquecimento global. Buscando contribuir com a utilização deste resíduo, cinza de casca de arroz (CCA), este trabalho teve como objetivo avaliar a potencialidade do seu uso, em parcial substituição do aglomerante, em blocos de concreto. Os requisitos avaliados, especificados pela NBR 6136 (ABNT, 2014), foram: resistência à compressão simples, absorção de água e análise dimensional. Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 12118 (ABNT, 2014) e o programa experimental foi dividido em duas etapas: 1. produção dos blocos com os Cimentos Portland (CP) CPII (Cimento Portland composto), CPIV (Cimento Portland pozolânico) e CPVARI (Cimento Portland de alta resistência inicial), para três famílias de traços (1:6, 1:8 e 1:10 – cimento:agregado); 2. produção dos blocos com dois tipos de cimentos (CPIV e CPVARI) e três teores de substituição dos mesmos por CCA: 0, sem substituição (referência) 5%; 10% e 15%. Os resultados demonstraram que a proporção de 15% reduz em muito a resistência à compressão, não sendo indicado seu uso com função estrutural. Os teores de 5 e 10% apresentaram valores inferiores ao referência, entretanto, o CPVARI ainda manteve a função estrutural dos blocos. No resultados da absorção, o CPVARI teve melhor comportamento. A segunda etapa da pesquisa demonstrou que o aumento da quantidade de cinza de casca de arroz proporcionou aumento da absorção e diminuição da resistência à compressão, independentemente do tipo de cimento. Entretanto, os resultados encontrados indicaram que a substituição parcial de diferentes aglomerantes por CCA resultou em um material que atende as exigências das normas brasileiras, e que proporciona um uso com um viés sustentável a um resíduo.

Palavras-chave: bloco de concreto estrutural, cinza de casca de arroz, tecnologia da arquitetura, sustentabilidade.

Abstract

PADILHA, Stael Amaral. **Study of the potentiality of the use of rice husk ash residue in blocks of precast concrete.** 2017. 123f. Thesis (Masters' in Architecture and Urban Planning) – Graduate Program in Architecture and Urban Planning, UFPel, Pelotas.

Agribusiness generates, annually, a significant quantity of food consumption products. Among the largest cereal crops are rice, wheat, soybeans and corn. During processing and industrialization, waste is generated, which in the case of rice is its husk. According to IBGE, Rio Grande do Sul is the largest rice producer, with 67.8% of the national production. Rice bark, according to NBR 10004 (ABNT, 2004), is a waste of class II.a, ie not inert and not hazardous to human health and the environment. However, when it is incinerated indoors (eg boilers and ovens), they result in highly polluting ash, releasing harmful gases that contribute to global warming. In order to contribute to the use of this residue, rice husk ash (CCA), this work had as objective to evaluate the potential of its use, in partial replacement of the binder, in concrete blocks. The evaluated requirements, specified by NBR 6136 (ABNT, 2014), were: simple compression strength, water absorption and dimensional analysis. The tests were performed according to NBR 12118 (ABNT, 2014) and the experimental program was divided into two stages: 1. block production with Portland cement (CP) CPII (Portland cement composite), CPIV (pozzolanic Portland cement) And CPVARI (Portland cement of initial high strength), for three families of traces (1: 6, 1: 8 and 1:10 - cement: aggregate); 2. production of the blocks with two types of cement (CPIV and CPVARI) and three levels of replacement of the same by CCA: 0, without substitution (reference) 5%; 10% and 15%. The results demonstrated that the proportion of 15% greatly reduces the compressive strength and its use with structural function is not indicated. The contents of 5 and 10% presented values lower than the reference, however, the CPVARI still maintained the structural function of the blocks. In the absorption results, CPVARI had better behavior. The second step of the research demonstrated that increasing the amount of rice hull ash provided increased absorption and decreased compressive strength, regardless of the type of cement. However, the results indicated that the partial substitution of different binders by CCA resulted in a material that meets the requirements of the Brazilian standards, and which provides a use with a sustainable bias to a residue.

Keywords: Structural concrete block, rice husk gray, architecture technology, sustainability.

Lista de Figuras

Figura 1 – Delineamento da pesquisa.....	20
Figura 2 – Modelos de blocos.	25
Figura 3 – Famílias de blocos de concreto.....	26
Figura 4 – Desenho do programa experimental desta pesquisa.	41
Figura 5 – CCA utilizada na pesquisa.	46
Figura 6 – Diafratogramas de raio-x da CCA.	48
Figura 7 – Bloco de concreto utilizado nesta pesquisa.	53
Figura 8 – Armazenamento dos materiais.....	53
Figura 9 – Pesagem dos materiais.....	54
Figura 10 – Transporte dos agregados por esteiras.....	54
Figura 11 – Colocação da CCA no reservatório.....	55
Figura 12 – Transporte do concreto.	55
Figura 13 – Sistema extractor.	57
Figura 14 – Sistema de prateleiras.....	58
Figura 15 – Peças estocadas.....	58
Figura 16 – Blocos selecionados.....	59
Figura 17 – Capeamento com gesso.	60
Figura 18 – Dimensões bloco de concreto.	61
Figura 19 – Realização do ensaio resistência à compressão – primeira etapa.....	63
Figura 20 – Realização do ensaio resistência à compressão – segunda etapa.....	63
Figura 21 – Ensaio de absorção.....	65
Figura 22 – Valores médios da resistência à compressão da dosagem..	72
Figura 23 – Valores médios de resistência à compressão para as famílias CPII F 32.	73
Figura 24 – Valores médios de resistência à compressão para as famílias CPIV.....	74
Figura 25 – Valores médios de resistência à compressão para as famílias CPV ARI.	74
Figura 26 – Famílias com melhores resultados nos 30 dias.....	75
Figura 27 – Consumo de cimento das famílias (kg/m ³).....	76
Figura 28 – Médias das resistências à compressão das famílias de concreto.....	84
Figura 29 – Resultados médios resistência à compressão para cimento CPIV.	84

Figura 30 – Resultados médios resistência à compressão para cimento CPV..	85
Figura 31 – Resultados médios ensaio de absorção.....	87

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Requisitos para os blocos de concreto: resistência característica à compressão, absorção e retração.	28
Tabela 2 – Materiais utilizados para fabricação dos blocos estruturais.....	42
Tabela 3 – Caracterização físico-mecânica e química do cimento CPIV.	43
Tabela 4 – Caracterização físico-mecânica e química do cimento CPVARI..	43
Tabela 5 – Características físicas da areia 1.....	44
Tabela 6 – Características físicas da areia 2.....	45
Tabela 7 – Características físicas do agregado graúdo	46
Tabela 8 – Características físicas da CCA.....	47
Tabela 9 – Características químicas da CCA.....	48
Tabela 10 – Famílias utilizadas na primeira etapa da pesquisa	49
Tabela 11 – Traços unitários utilizados na primeira etapa	50
Tabela 12 – Traços utilizados na produção do concreto	50
Tabela 13 – Quantitativo (kg) dos traços reais utilizados	51
Tabela 14 – Famílias de traços utilizadas na segunda etapa da pesquisa	52
Tabela 15 – Traços unitários utilizados na segunda etapa	52
Tabela 16 – Intervalo de tolerâncias admitidas para cada medida do bloco	62
Tabela 17 – Dimensões médias dos blocos com cimento CII F 32.....	69
Tabela 18 – Dimensões médias dos blocos com cimento CPIV.	70
Tabela 19 – Dimensões médias dos blocos com cimento CPVARI.	71
Tabela 20 – Resultados fbk de cada família.....	75
Tabela 21 – Análise descritiva do experimento avaliando Tensão (MPa) aos 30 dias	77
Tabela 22 – Variável dependente “Tensão” (MPa) aos 30 dias.	78
Tabela 23 – Variável dependente “Tensão” aos 30 dias e variável independente “Família de traços”.	78
Tabela 24 – Variável dependente “Tensão” aos 30 dias e variável independente “tipos de cimento”	79
Tabela 25 – Teste de Tukey e variável independente “famílias de traço”.	79
Tabela 26 – Teste de Tukey e variável independente “tipo de cimento”.	80
Tabela 27 – Dimensões médias (mm) dos blocos para o cimento CPIV.....	82

Tabela 28 – Dimensões médias (mm) dos blocos para o cimento CPV.....	83
Tabela 29 – Resultados fbk de cada família.....	86
Tabela 30 – Análise descritiva do experimento avaliando Tensão (MPa) aos 30 dias	88
Tabela 31 – Análise descritiva do experimento avaliando Absorção (%) aos 30 dias	88
Tabela 32 – Variável dependente Tensão (MPa).....	89
Tabela 33 – Variável dependente “Absorção”.....	89
Tabela 34 – Variável dependente “Tensão” (teste de Tukey)	90
Tabela 35 – Variável dependente “Absorção” (teste de Tukey)	91

Sumário

1. Introdução	17
1.1 Contexto da pesquisa	17
1.2 Objetivos da pesquisa	19
1.2.1 Objetivo principal	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
1.3 Delineamento da pesquisa	20
1.4 Estrutura da dissertação	20
2. Revisão bibliográfica	22
2.1 Alvenaria estrutural	22
2.1.1 Bloco estrutural de concreto	24
2.1.1.1 Normatização e prática recomendada de controle	28
2.1.1.2 Dosagens para blocos estruturais	29
2.2 Uso de resíduos como material de construção	32
2.2.1 Cinza de casca de arroz (CCA)	33
2.3 Estado da Arte do tema proposto	36
3. Metodologia	40
3.1 Materiais utilizados	41
3.2 Produção do concreto em ambiente de fábrica	49
3.2.1 Produção do concreto da primeira etapa.....	49
3.2.2 produção do concreto da segunda etapa	51
3.3 Moldagem dos blocos	52
3.4 Capeamento dos blocos	59
3.5 Parâmetros avaliados	61
3.5.1 Análise dimensional.....	61
3.5.2 Resistência à compressão	62
3.5.3 Absorção	65
3.6 Análise dos resultados	66
4. Análise dos Resultados	68
4.1 Resultados da primeira etapa	68
4.1.1 Resultados da análise dimensional	68
4.1.2 Resultados da resistência à compressão	71
4.1.3 Análise estatística da primeira etapa.....	77

4.1.4	Conclusões da primeira etapa	80
4.2	Resultados da segunda etapa	81
4.2.1	Resultados da análise dimensional	81
4.2.2	Resultados da resistência à compressão	83
4.2.3	Resultados da resistência da absorção	86
4.2.4	Análise estatística da segunda etapa	87
5.	Conclusões e considerações finais	92
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	94
	Referências bibliográficas	96
	Apêndice A – Primeira etapa – Análise dimensional	109
	Apêndice B – Primeira etapa – Resistência à compressão	114
	Apêndice C – Segunda etapa- Analise dimensional	117
	Apêndice D – Segunda etapa – Resistência à compressão	121
	Apêndice E – Segunda etapa – Absorção	123

1 Introdução

Este capítulo apresenta o contexto no qual se insere esta pesquisa, seus objetivos, seu delineamento e a estrutura da presente dissertação.

1.1 Contexto da pesquisa

O cimento Portland, juntamente com seus derivados, é o material de construção industrializado mais consumido no mundo, porque é empregado em toda a cadeia do processo construtivo, especialmente no concreto estrutural. A produção mundial de cimento alcançou mais de 40 bilhões toneladas (CEMBUREAU, 2014), sendo entorno de 70 bilhões toneladas no Brasil (SNIC, 2014), conforme os dados de 2013. Apesar dos esforços para a modernização das plantas de fabricação, a indústria cimenteira é responsável por quase 6% das emissões globais dos gases do efeito estufa.

Para diminuir os impactos que a fabricação e uso do cimento exercem sobre o meio ambiente, a solução tem sido a substituição parcial do clínquer por pozolanas de origem industrial como cinza volante, sílica ativa ou metacaulim ou resíduos agrícolas como cinza de casca de arroz, cinza de bagaço de cana, entre outros.

Nos dias atuais, nos deparamos com um grande confronto: novas técnicas construtivas versus novos materiais, versus qualidade das edificações. Diante desta preocupação, surgem grandes quantias financeiras desperdiçadas em manutenções e reparos nos mais diversos tipos de edificações. Além da geração de toneladas de resíduos, que ainda não possuem destinos corretos.

O uso de resíduos, como componentes na construção civil, tem sido um dos temas mais trabalhados e debatidos por pesquisadores nos últimos tempos. Com a possibilidade de se conquistar uma melhor colocação para o setor a partir do emprego destes resíduos, como componentes em concreto, pesquisadores vêm buscando conscientizar ceramistas, construtores, engenheiros/arquitetos e o próprio mercado consumidor quanto à importância da qualidade deste produto para as habitações (PRUDÊNCIO JÚNIOR et al., 2003).

A região sul do estado do Rio Grande do Sul é um dos grandes polos de plantação de arroz. Este grão é cultivado em mais de 100 países, com produção de 743.106 toneladas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2013), sendo o Brasil o décimo produtor mundial, com 12.106 toneladas, e o Rio Grande do Sul o responsável por dois terços desse total, com 8.106 toneladas, dados da safra 2013-2014 (INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ, 2013). Ao redor de 4,8% da massa de arroz é transformada em casca e, após a queima, em cinzas, utilizadas em algumas aplicações industriais ou descartadas como resíduo, somando uma produção potencial de cinza de casca de arroz de quase 35.106 toneladas no mundo e de 6.106 toneladas no Brasil.

A casca de arroz, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), é denominada como um resíduo de classe II.a, ou seja, não inerte e não perigoso à saúde humana e ao meio ambiente. Uma grande quantidade de casca de arroz é reaproveitada para o processo de parborização dos grãos. Este processo ocorre dentro da própria usina a partir da combustão da casca de arroz na alimentação de caldeiras ou fornos. Neste processo é produzido outro resíduo: a cinza de casca do arroz (CCA). O problema é que, quando incinerada e transformada em cinzas, se tornam altamente poluentes, liberando CO e CO₂, gases prejudiciais ao aquecimento global.

Por questões de sustentabilidade, a grande quantidade de cinza de casca de arroz produzida atualmente deveria ser aproveitada. Entretanto, a falta de disponibilidade no mercado de CCA, que possuam características de módulo de finura e processo de queima adequado, resulta em grandes quantidades depositadas a céu aberto, potencializando a poluição ambiental de solos e mananciais aquíferos. Para Prudêncio et al. (2003), o não aproveitamento da CCA, descartada em condições não sustentáveis, é um destino que não pode ser aceito pela sociedade, razão pelas quais a partir de 1990 foram desenvolvidas pesquisas tanto internacionais (SUGITA et al., 1992; RODRIGUES, 2003; TUAN, 2012) quanto nacionais (ISAIA, 1995; SENSALÉ, 2000; RÊGO, 2004; POUÉY, 2006; CORDEIRO, 2011; GHAVAMI e MARINHO, 2005; BARBOZA et al., 2008; LIMA e ROSSIGNOLO, 2010, ISAIA et al 2010; ISAIA et al 2017), para utilizá-la em concreto estrutural em regiões perto de onde é produzida. Esses trabalhos revelaram, de modo geral, o bom desempenho dessa pozolana, apesar de queimada sem controle de temperatura, ante as propriedades mecânicas ou a durabilidade.

Dentre os diversos elementos de construção que existem, os blocos estruturais têm se destacado em função da qualidade de projetos modulados que reduzem o desperdício de materiais.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo bastante antigo, data das idades mais remotas onde o homem utilizava blocos espessos de pedra para construir sua habitação. Porém, possuiu um período sem grandes aplicações como técnica construtiva. Somente em meados do século XX, seu uso foi retomado devido aos avanços tecnológicos que possibilitaram cálculos racionais e maior resistência e qualidade nas unidades constituintes. Os grandes blocos de rocha utilizados em épocas passadas foram substituídos por blocos modulares, de menor tamanho e massa, com medidas racionalizadas para dar maior produtividade e mais adaptadas ao trabalho humano.

Os blocos de concreto pré-moldado para alvenaria têm como princípio básico proporcionar a alvenaria estrutural a facilidade construtiva no emprego de um único elemento, proporcionando uma técnica de execução simplificada, menor diversidade de materiais empregados no canteiro de obras, redução do número de especializações da mão de obra empregada e redução de interferências entre os subsistemas.

Com intuito de colaborar para novas descobertas de relocação deste resíduo (CCA) e proporcionar ainda mais qualidade na produção de blocos de concreto com fim estrutural, este trabalho pretende avaliar a potencialidade da substituição de parte do aglomerante por CCA em blocos de concreto para alvenaria estrutural.

Esta pesquisa tem como hipótese que a substituição parcial de diferentes aglomerantes por CCA irá produzir um material que atinja as exigências das normas, além de proporcionar um uso ao resíduo que seria descartado no meio ambiente.

1.2 Objetivos da pesquisa

1.2.1 Objetivo principal

Este trabalho tem como objetivo principal realizar um estudo sobre a potencialidade do uso da cinza de casca de arroz (CCA) como substituinte parcial ao aglomerante na produção de blocos estruturais, a fim de atingir os requisitos exigidos pelas normas NBR 6136 (ABNT, 2014).

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Fazer a substituição de 5%, 10% e 15% de cimento por CCA, nos traços selecionados na etapa 1;
- b) Caracterizar fisicamente (absorção de água) e mecanicamente (resistência à compressão simples) os blocos de referência e os blocos moldados com resíduos;
- c) Comparar as propriedades física e mecânica dos blocos referências com os blocos com CCA e com os critérios apresentados pela norma NBR 6136 (ABNT, 2014).

1.3 Delineamento da pesquisa

O delineamento da pesquisa e as etapas que constituem este trabalho são apresentados na Figura 1.

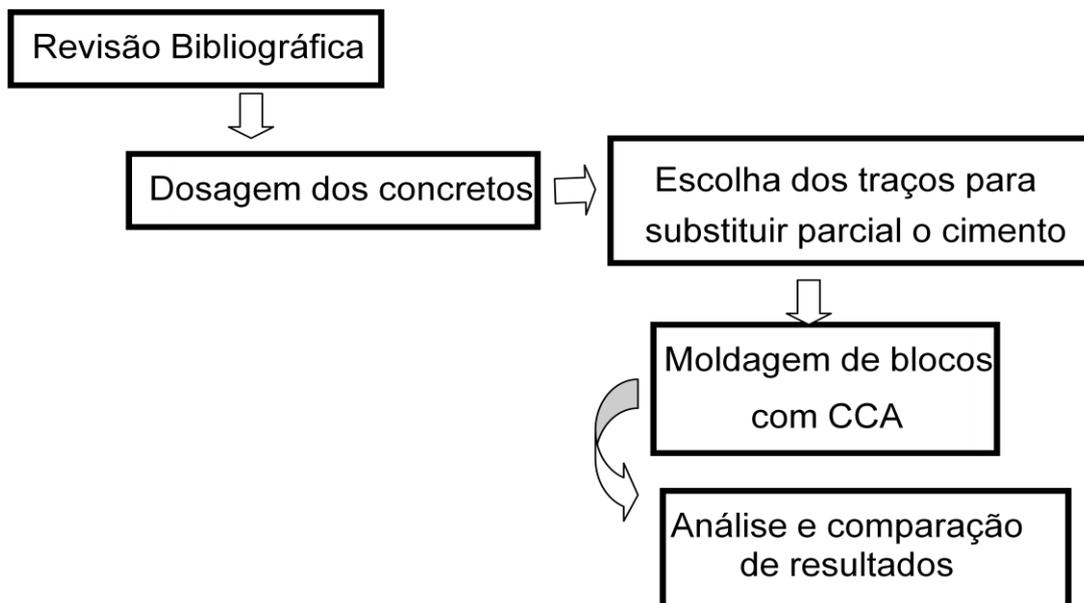


Figura 1 - Delineamento da pesquisa.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho de mestrado é constituído por cinco capítulos, organizados da seguinte forma:

Capítulo 1 – **Introdução**: identifica o contexto em que o trabalho está inserido, apresentando seus objetivos, o delineamento e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2 – **Revisão bibliográfica**: trata da revisão bibliográfica sobre as questões que serão abordadas na dissertação, como processo de fabricação de blocos estruturais e uso da cinza de casca de arroz em concreto.

Capítulo 3 – **Metodologia**: descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, detalhando os métodos e materiais, e especificando as etapas do processo.

Capítulo 4 – **Resultados**: apresenta os resultados obtidos na dosagem realizada para os três tipos de cimento, e determinação do traço que foi utilizado para na segunda etapa. Além disso, apresenta os resultados obtidos com a substituição parcial do aglomerante pela CCA em diferentes proporções.

Capítulo 5 – **Conclusões**: apresenta as conclusões alcançadas com este trabalho.

Após o Capítulo 5 são apresentadas as **Referências bibliográficas**, onde encontram-se as obras mencionadas no texto.

2 Revisão bibliográfica

Este capítulo irá dissertar sobre os assuntos principais a serem abordados nesta pesquisa, como blocos de alvenaria estrutural para habitações de interesse social, uso de resíduos como material de construção, cinza de casca de arroz em concreto e o estado da arte do tema da pesquisa.

2.1 Alvenaria estrutural

A partir de 1920 iniciaram-se pesquisas e desenvolvimento na área de materiais e cálculos para utilização de alvenarias com função estrutural. Segundo Prudêncio Júnior (1986), na Índia, em 1923, testes extensivos sobre a alvenaria foram executados e resultaram numa teoria racional de projeto sendo considerado o verdadeiro início da alvenaria armada. Em 1948, na Inglaterra, foi elaborada a primeira norma consistente para o cálculo da alvenaria de tijolos. Sutherland (1981 apud MEDEIROS, 1993) relata que em 1951 um edifício em alvenaria foi calculado racionalmente na Suíça e construído em alvenaria não armada, o que representou um marco importante para alvenaria estrutural. Assim, na década de 1950, foram construídos alguns edifícios em alvenaria estrutural, principalmente na Suíça, pela inexistência de indústrias de aço na região.

Segundo Hendry (2002), mundialmente falando, a alvenaria estrutural passou a ser tratada como uma tecnologia de construção civil por volta do século XVII quando os princípios da estática foram aplicados para a investigação da estabilidade de arcos e domos. Entre os séculos XIX e XX, edifícios em alvenaria estrutural foram construídos com espessuras excessivas de paredes, como por exemplo o edifício Monadnock⁴⁵ em Chicago, que se tornou um símbolo da moderna alvenaria estrutural (RAMALHO e CORRÊA, 2003). Entretanto, a perda de espaço e baixa velocidade de construção evidenciaram a pequena aceitação de edifícios altos em alvenaria portante na época, frente à emergente alternativa de estruturas de concreto armado. Assim, os edifícios em alvenaria estrutural tiveram pouca aplicação durante um período de 50 anos.

Em 1967 surgiram, nos Estados Unidos, as especificações do NCMA (“Specification for the design and the construction of Load-Bearing Concrete Masonry”), resultado de anos de pesquisa na área e foram rapidamente adotadas em todo o território norte-americano, permitindo várias construções em alvenaria estrutural.

No Brasil, a alvenaria estrutural é utilizada desde o início do século XVII. Entretanto, a alvenaria com blocos estruturais, encarada como um processo construtivo voltado para a obtenção de edifícios mais econômicos e racionais demorou muito a encontrar seu espaço (RAMALHO e CORRÊA, 2003). O início nacional foi com a importação pela Construtora Camargo Corrêa, em 1952, da primeira máquina de produção mecânica de blocos, em escala industrial. Inicialmente, a fabricação de blocos tinha o intuito de resolver o problema da grande quantidade de pó de pedra gerada pela pedreira Reago. No ano de 1966, tem início a produção de blocos de concreto com alta resistência (ALY, 1992).

Segundo o MANUAL TÉCNICO DE ALVENARIA (1990), no Brasil, a alvenaria estrutural com blocos de concreto firmou-se na década de 70 com a construção de grandes conjuntos habitacionais como, por exemplo, a construção do Conjunto Habitacional Central Park da Lapa, com quatro blocos de doze andares, o edifício Muriti, em São José dos Campos, de dezesseis andares, entre outros.

Portanto, a partir da década de 1970 no Brasil, a alvenaria estrutural passou a ser tratada como uma tecnologia de engenharia, através do projeto estrutural baseado em princípios validados cientificamente e da execução com critérios melhores definidos (RAMALHO e CORRÊA, 2003). Após anos de adaptação e desenvolvimento no país, esta tecnologia construtiva foi consolidada na década de 80, através da normalização oficial consistente e razoavelmente ampla.

Um exemplo da aplicação intensa da alvenaria estrutural são os empreendimentos habitacionais de baixa renda que vem sendo desenvolvidos no Brasil em grande escala. Somente no estado do Rio Grande do Sul, segundo um levantamento técnico da Gerência de Desenvolvimento Urbano (GIDUR, 2006) da CAIXA/RS, o processo construtivo de alvenaria estrutural foi utilizado em 76% destes empreendimentos concluídos no estado, a partir da década de 90. No estudo realizado por Richter (2007) todos os empreendimentos, de baixa renda, em execução, no período de desenvolvimento da pesquisa, se utilizavam deste processo construtivo.

A alvenaria estrutural possui dupla opção de material, pode ser desenvolvida com blocos cerâmicos ou de concreto. A opção pelo emprego de blocos de concreto, em detrimento dos cerâmicos, para a construção de edificações tem sido crescente no Brasil. Este crescimento está sendo observado não só para o uso em alvenarias estruturais, mas também para alvenarias de vedação.

Nas alvenarias de vedação, este fato tem se justificado não só pelo esgotamento das jazidas de argila para produção de blocos cerâmicos e aprimoramento das leis ambientais, mas principalmente, pelas vantagens técnicas advindas da utilização dos blocos de concreto. A precisão dimensional quase que absoluta das peças diminui a espessura das camadas de revestimento, além de simplificar e tornar mais rápida a sua aplicação, reduzindo assim os custos. Além disso, a possibilidade de conceber os projetos com dimensões coordenadas e múltiplas dos blocos e de incorporação das instalações elétricas e, em alguns casos hidráulica, elimina desperdícios com quebras de paredes e retrabalhos, reduzindo geração de resíduos de obras.

2.1.1 Bloco estrutural de concreto

A escolha do bloco a ser usado na alvenaria influencia no comportamento final da estrutura. O fato de o bloco possuir dimensões conhecidas e de pequena variabilidade dimensional, possibilita que haja a coordenação modular, com ajuste de todas as dimensões da obra. Além disso, a espessura escolhida será de fundamental importância para o encaixe dos blocos.

Os materiais mais utilizados no Brasil para edificações de alvenaria estrutural são, segundo Ramalho e Corrêa (2003), as unidades cerâmicas, de concreto e sílico-calcárias.

Além das vantagens já citadas para os blocos de vedação, este sistema tem reduzido significativamente os custos finais dos edifícios por diminuir o consumo de aço, concreto, formas de madeira e principalmente da mão-de-obra (carpinteiros, armadores e pedreiros). Ademais, a racionalização que impõe o processo à execução da obra evita desperdícios em todas as fases da construção. Comparando-se as vantagens de seu uso em relação aos blocos cerâmicos, ainda podem ser citados:

- Sua precisão dimensional;

- Diversidade de peças que possibilitam uma adequação de passagens de instalações elétricas e hidráulicas na obra;
- Possibilidade de dosagem racional para alcance de resistências especificadas em projeto com grande precisão e baixa variabilidade;
- Compatibilidade bloco-argamassa conduzindo a uma maior eficiência na resistência de paredes em relação às paredes cerâmicas;
- Disponibilidade de matérias-primas em praticamente todos os locais;
- Processos de fabricação eficientes dos blocos, com maquinários capazes de produzir em grande escala materiais de alta qualidade.

O bloco de concreto vazado é um componente industrializado, produzido em equipamentos que realizam a vibração e prensagem dos insumos utilizados na sua composição e fabricação. Na Figura 2 observam-se modelos de blocos vazados de concreto, comumente produzidos e normatizados no Brasil.

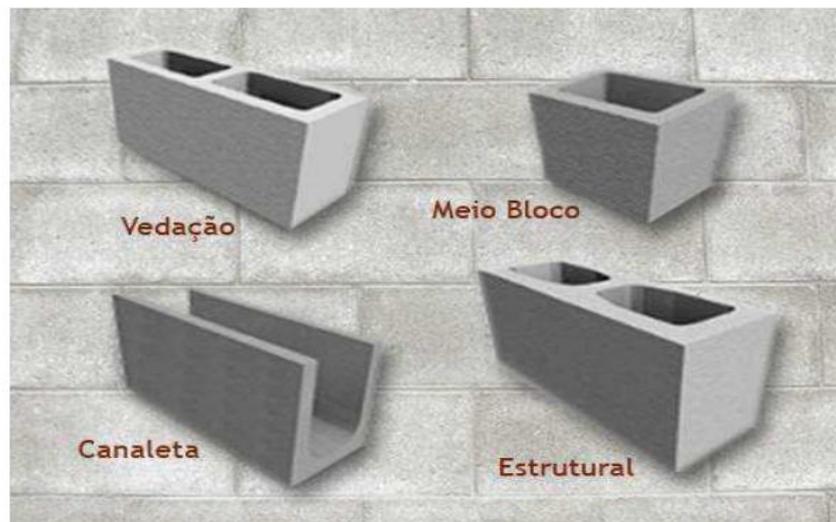


Figura 2 – Modelos de blocos.

Fonte: ABCP

Os blocos vazados de concreto simples para alvenaria devem cumprir as disposições da norma NBR 6136 (ABNT, 2014). A Figura 3 apresenta as famílias de blocos fabricados no Brasil, que diferem em suas características geométricas.

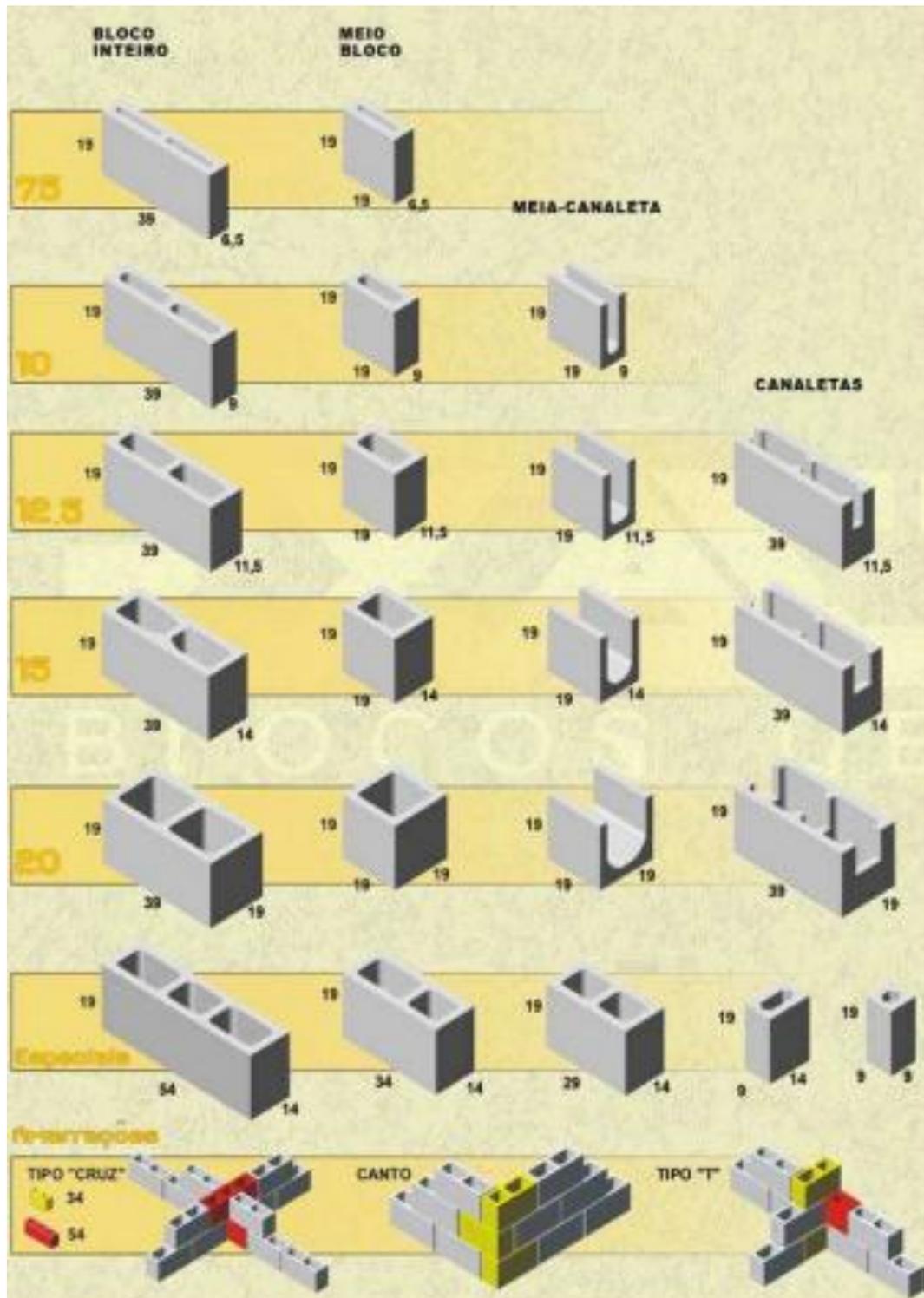


Figura 3 - Famílias de blocos de concreto.

Fonte: Exactomm Blocos de Concreto

Para melhor compreensão foi detalhado o processo de produção de blocos vazados de concreto, que adota os seguintes passos, processos e controles, a saber:

- 1ª Etapa (Recebimento de materiais): Os agregados são descarregados no pátio e levados ao local de armazenagem (baias ou silos internos) e o cimento é transportado aos silos. Amostras dos agregados são encaminhadas ao laboratório para realização do controle de granulometria.
- 2ª etapa (Dosagem de materiais): A dosagem e pesagem dos materiais é realizada nos silos. O traço é definido conforme o tipo de bloco desejado e leva em conta a umidade dos agregados que seguem para o misturador onde são acrescentados ao cimento, água, aditivos e pigmentos. Os aditivos usados e sua dosagem tem como finalidade melhorar a plasticidade do concreto para obter melhor compactação.
- 3ª Etapa (Pigmentação): Os blocos de alvenaria podem ser coloridos, sendo os pigmentos encontrados na forma de pó, líquido e pasta. O seu uso deve respeitar as instruções do fabricante, pois quantidades acima da especificada podem reduzir a resistência do concreto e não garantir um ganho de cor.
- 4ª Etapa (Transporte do concreto): O concreto seco segue do misturador para a máquina de moldagem por meio de carrinhos fixados a trilhos ou por esteiras, chegando ao cone de compactação por vibração e/ou prensagem. O molde instalado na máquina define o formato do bloco.
- 5ª Etapa (Moldes): A montagem dos moldes requer ajuste cuidadoso entre a forma e o pente para que os blocos sejam produzidos dentro do esquadro e tenham precisão dimensional. A sequência de alimentação da máquina, vibração, prensagem e desforma é chamada de ciclo. A quantidade de blocos por ciclo depende das dimensões das peças.
- 6ª Etapa (Verificação visual): Após o término de cada ciclo, é feita uma avaliação visual dos blocos, descartando os que apresentam defeitos como fissuras ou rebarbas e a verificação da precisão dimensional por amostragem. Os produtos aprovados são estocados.
- 7ª Etapa (Cura): as peças permanecem em repouso, nas prateleiras, até o dia seguinte.
- 8ª Etapa (Movimento): Após a cura, os blocos são colocados com outros já prontos e depois, são conduzidos para a paletização.

- 9ª Etapa (Estoque): As peças ficam estocadas no pátio externo para comercialização ou entrega.
- 10ª Etapa (Ensaio): Os ensaios de laboratório (compressão, retração, absorção e análise dimensional) avaliam as características das peças.

As avaliações dos blocos produzidos devem ser realizadas com base nos requisitos estabelecidos na NBR 6136 (ABNT, 2014) e os parâmetros de ensaios na NBR 12118 (ABNT, 2014), conforme item a seguir. Após, serão descritos os métodos de dosagem para concretos utilizados na fabricação de blocos estruturais.

2.1.1.1 Normatização e prática recomendada de controle

O objetivo da norma brasileira NBR 6136 (ABNT, 2014) é estabelecer os requisitos para o recebimento de blocos vazados de concreto simples, destinados a execução de alvenaria com ou sem função estrutural, valores estão descritos na Tabela 1. O objetivo da NBR 12118 (ABNT, 2014) é definir parâmetros de ensaios que caracterizem os blocos, sendo os ensaios de análise dimensional, resistência à compressão, absorção e retração.

Tabela 1 – Requisitos para os blocos de concreto: resistência característica à compressão, absorção e retração.

Classificação	Classe	Resistência característica f_{bk} (MPa)	Absorção média (%)				Retração (%) *facultativo
			Agregado normal		Agregado leve		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$\geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065\%$
	B	$4,0 \leq f_{bk} \leq 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$			
Com ou Sem função estrutural	C	$\geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$			

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2014)

*facultativo por não ser uma exigência da norma e sim uma sugestão de execução do ensaio.

Além das alterações citadas, a NBR 6136 (ABNT, 2014) estabeleceu:

- a) Que em obras abaixo do nível do solo devem ser utilizado, obrigatoriamente, blocos classe A;
- b) Os blocos classe C com função estrutural poderão ter largura de 90mm para edificações de no máximo um pavimento; para blocos com largura de 115mm, edificações de no máximo dois pavimentos; e as larguras de 140 e 190mm para edificações de até 5 pavimentos. Além disso, a largura de 65mm tem seu uso restrito a alvenaria sem função estrutural.

2.1.1.2 Dosagens para blocos estruturais

De acordo com Frasson (2000), cada tipo de concreto possui características bem próprias e diversificadas, mas podem ser classificados dentro de dois grandes grupos: os concretos plásticos e os concretos “secos”, de acordo com seu comportamento que permite definir propriedades como resistência à compressão, entre outras.

Dentre os concretos plásticos, pode-se destacar o concreto convencional, utilizado em obras de concreto armado; o concreto fluído, utilizado em peças pré-moldadas que necessitam que a mistura seja auto adensável e o concreto graute, utilizado na concretagem dos vazados de blocos em alvenarias estruturais. Dentre os concretos “secos”, encontra-se o concreto projetado, utilizado em contenção de encostas e em túneis; o concreto utilizado na confecção de blocos, tubos e pavimentos e o concreto compactado a rolo, utilizado na construção de barragens.

Existem várias diferenças entres estes dois grupos de concreto. Entre elas, pode-se destacar a forma com que o ar é aprisionado às misturas, a trabalhabilidade e o abatimento, a granulometria final, a relação água/materiais secos, os processos de produção, entre outras. Estas diferenças fazem com que as metodologias de dosagem sejam também distintas, e o que vale para os concretos plásticos nem sempre pode ser utilizado como regra para os concretos “secos”.

Os concretos plásticos, por serem os mais utilizados e pela facilidade com que podem ser moldados em laboratório, possuem metodologias de dosagem consolidadas e que proporcionam uma resistência do material com boa confiança. Pode-se citar alguns procedimentos de dosagem como o método da ABCP, do IPT, e IME, e ainda outras metodologias, INT, IPERS, TUTIKAN, e outros.

A partir das metodologias de dosagens já utilizadas em concretos plásticos, foram adaptados diferentes procedimentos, para que os concretos “secos”, empregados na produção de blocos estruturais obtivessem resultados minimamente satisfatórios. Frasson et al. (2008) descreveram os principais métodos de dosagem de concreto para blocos estruturais, porém demonstraram inúmeras dificuldades entre elas:

a) Método de dosagem Besser Company: necessita, basicamente, das curvas granulométricas dos agregados a serem empregados para o proporcionamento ideal entre os mesmos. Entretanto, este enfoque de ajuste, em função de curvas ou faixas granulométricas pré-estabelecidas, nem sempre é viável de ser aplicado. Exige agregados com granulometrias específicas, de modo que a composição entre os mesmos, ajuste-se, o mais próximo possível, dos padrões recomendados. Além disso, o método não leva em consideração a contribuição do cimento como material fino, principalmente nos traços mais ricos, nem a forma dos grãos. Agregados graúdos lamelares e agregados miúdos com formato irregular (areias de britagem) podem resultar em misturas perfeitamente adequadas às faixas recomendadas. Entretanto, os concretos produzidos com esses materiais tornam-se bastante ásperos, dificultando a compactação das peças e, muitas vezes, resultando em texturas superficiais fora dos padrões desejados;

b) Método de dosagem da ABCP: O ajuste entre os agregados, proposto por este método resulta em misturas com uma máxima compacidade. Em alguns casos, porém, atinge-se a máxima compacidade sem a devida coesão que deve apresentar a mistura para a produção dos artefatos. O método não leva em consideração a granulometria nem as características particulares dos agregados (teor de finos), não indica valores de referência para a adoção dos mesmos, o que resulta, muitas vezes, no alcance de misturas compactas, mas pouco coesivas. Nesses casos é comum acontecer um número muito elevado de quebras e trincas nos blocos quando no estado fresco, durante o transporte dos mesmos até o local de cura. Outra deficiência verificada é que o cimento não é utilizado nos estudos de composição, pois esta etapa é feita apenas com os agregados. A

metodologia é falha também quando é necessário utilizar um terceiro agregado para suprir a necessidade de finos na mistura;

- c) Método de dosagem do IPT/Epusp: Uma das particularidades deste método é a fixação de uma umidade ótima para as misturas e controle de massa dos blocos. Analisando-se valores experimentais, correlacionando a massa dos blocos com sua respectiva resistência à compressão, sabe-se que um incremento de massa da ordem de 5% em um bloco pode resultar em aumentos na sua resistência à compressão por volta de 25 a 35%. O método discrimina de que forma os fatores de produção e maquinário interferem no alcance das resistências. Uma avaliação mais precisa de como a máquina é capaz de confeccionar produtos de alta compacidade, relacionando massas específicas e resistências se faz necessário para que o método possa, de forma mais completa, representar uma dosagem que se ajuste melhor ao comportamento dos concretos secos;
- d) Método de dosagem da Columbia: este método fixa quantidades mínimas de finos a serem utilizadas para aumentar a referida propriedade de coesão, evitando quebra dos blocos no estado fresco. Porém, o método não permite uma previsão com antecedência das características de resistência, coesão e textura, sem que sejam produzidos traços e estes sejam moldados em escala real, no próprio equipamento de vibro-compressão.

Todos estes métodos descritos demandam testes excessivos já na própria máquina vibro-prensa. Além disso, a maioria dos ensaios não leva em consideração peculiaridades e características inerentes ao processo de produção dos blocos de concreto.

Pensando nisto, Frasson (2000) desenvolveu uma metodologia de dosagem que visa à redução de testes em escala real de produção, tornando o estudo de dosagem uma tarefa mais ágil e econômica, e que leva em conta parâmetros importantes do processo produtivo, desconsiderados nos demais métodos. O estudo obteve resultados satisfatórios na previsão das resistências mecânicas dos blocos de concreto a partir de estudos laboratoriais em corpos-de-prova cilíndricos 5x10 cm e também comprovou a importância do controle das variáveis em um processo produtivo em ambiente de fábrica. O autor sugere que a metodologia seja testada em diferentes situações para que possa ser comprovada sua eficiência na previsão

das resistências e outras características (textura e coesão) dos blocos produzidos em diferentes fábricas e com diferente agregados. A metodologia de Frasson (2000) tem sido utilizada em diversas pesquisas que tem o bloco estrutural como tema, principalmente nas que foram desenvolvidas em ambiente de fábrica.

Próximo alvo de estudo desta pesquisa é a área de sustentabilidade, onde a preocupação com a geração de resíduos é um objetivo. Portanto, o seguimento desta revisão bibliográfica contempla o uso de resíduos como material de construção e após especifica o uso de cinza de casca de arroz (CCA).

2.2 Uso de resíduos como material de construção

De acordo com Menezes et al. (2002), a reciclagem é o conjunto das técnicas cuja finalidade é aproveitar detritos e rejeitos e reintroduzi-los no ciclo de produção. A reciclagem de resíduos, independentemente do seu tipo, apresenta várias vantagens em relação à utilização de recursos naturais “virgens”, dentre as quais se tem: redução do volume de extração de matérias-primas, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes e melhoria da saúde e segurança da população.

A vantagem mais visível da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, prolongando sua vida útil e reduzindo a destruição da paisagem, fauna e flora. Nos últimos anos, a pesquisa sobre a reciclagem de resíduos industriais vem sendo intensificada em todo o mundo. Na América do Norte e Europa, a reciclagem é vista, pela iniciativa privada, como um mercado altamente rentável. Muitas empresas investem em pesquisa e tecnologia, o que aumenta a qualidade do produto reciclado e propicia maior eficiência do sistema produtivo.

Ainda de acordo com Menezes et al. (2002), o aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como materiais alternativos não é novo, sendo três as principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais: primeiro, o esgotamento das reservas de matérias-primas confiáveis; segundo, o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupa o espaço e degrada os recursos naturais e, terceiro, a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pelas altas do petróleo.

Portanto, a reciclagem de materiais, tais como entulhos, resíduos agrícolas, resíduos industriais e resíduos de mineração, entre outros, contribui para a

preservação ambiental (LIMA et al., 2007), mas para isso há uma grande necessidade de estudos que entendam o real comportamento destes resíduos quando incorporados na construção civil, por exemplo. Estes novos materiais devem atender às exigências físicas e mecânicas, de acordo com a normatização como, por exemplo, serem resistentes, duráveis e trabalháveis, entre outras características desejáveis, para que sejam superiores ou similares aos produtos já existentes no mercado (GHAVAMI e MARINHO, 2005; BARBOZA et al., 2008; LIMA e ROSSIGNOLO, 2010). Essas exigências são necessárias visto que o setor da construção civil necessita oferecer, ao mercado, materiais que tenham boa qualidade e vida útil.

Baseado em Isaia (2007), os estudos científicos no nosso país, dentro desta área de resíduos, têm se voltado para os seguintes tópicos:

- Resíduos de vidro e couro;
- Resíduos de borracha EVA;
- Resíduos de borracha de pneu;
- Resíduos de mármore e granito;
- Rejeitos virgens das indústrias cerâmicas;
- Resíduos de polimento de porcelanato;
- Fibras vegetais, cinza de casca de arroz e da castanha-do-pará;
- Resíduos de aditivos químicos;
- Resíduos de escória de ferro-cromo, escórias de aciaria, escórias de cobre;
- Resíduos da indústria de construção e demolição;
- Cinzas pesadas provenientes da queima de carvão, cinzas de estação de tratamento de esgoto.

2.2.1 Cinza de casca de arroz (CCA)

Na área de resíduos vegetais como a cinza da casca do arroz (CCA), estudos vêm sendo propostos por vários pesquisadores (BUI et al., 2005; DELLA et al., 2005; AGARWAL, 2006; NAIR et al., 2006; DI CAMPOS et al., 2008; GANESAN et al., 2008; MENEZES et al., 2008; KIELING et al., 2009; RAMEZANIANPOUR et al., 2009; RASHID et al., 2010; ZERBINO et al., 2011), os quais observaram que o uso da cinza de casca de arroz apresenta bons resultados em diversas aplicações, como

por exemplo, quando utilizada em argamassas e concretos. Dentre estes resultados salienta-se uma melhora significativa na durabilidade destes materiais e uma resistência mecânica dentro dos padrões necessários.

A maioria dos estudos sobre o uso de CCA em concreto aponta como condição para seu emprego, com fins estruturais, que deva possuir alta reatividade química, para que as reações pozolânicas se processem em condições mais favoráveis e potencializem o desempenho requerido para o concreto (FENG, et al. 2004; MEHTA, 1994). Alguns pesquisadores são da opinião de que a CCA residual produzida sem temperatura controlada e de menor finura também pode ser utilizada em estruturas de concreto, porque pode apresentar características de qualidade suficiente para bom desempenho mecânico e no que se refere à durabilidade (GUEDERT, 1989; ISAIA, 1995; REGO, 2004). Resultados significativos obtidos com a CCA residual podem ser creditados não só ao efeito pozolânico, como também aos efeitos físicos de dispersão e nucleação das partículas de cimento e o tamponamento dos poros (ISAIA et al., 2010; SENSALE e DAL MOLIN, 1999).

A CCA possui, como maior componente químico, o dióxido de silício (SiO_2), variando entre 74 a 97%, independentemente do processo de queima (TASHIMA et al., 2004). O elevado teor de sílica torna a CCA valorizada, mas este resíduo só terá alto valor econômico se tiver alta qualidade, caracterizada pela elevada superfície específica, tamanho e pureza de partícula, podendo ser usada em diversas aplicações, como em substituição parcial do cimento, ou em produtos da construção civil (FOLETTTO et al., 2005).

A grande disponibilidade de cinza da casca de arroz tem motivado inúmeras pesquisas sobre sua aplicação em concretos desde a década de 1970 (HWANG e CHANDRA, 2002; JAMES e SUBBA RAO, 1986; MEHTA, 1977; ZHANG e MALHOTRA, 1996; PEREIRA et al, 2015). O emprego da cinza da casca de arroz tende a promover melhorias nas propriedades mecânicas (BUI et al., 2005; ZHANG e MALHOTRA, 1996) e na durabilidade de concretos (NEHDI, et al., 2003). Por outro lado, a cinza pode comprometer a trabalhabilidade do concreto em razão da elevada superfície específica de suas partículas e, em alguns casos, do alto teor de carbono remanescente após a queima da casca.

Ismail e Waliuddin (1996) analisaram os efeitos da cinza da casca de arroz no concreto, e através de experimentos com diferentes composições de cinza constataram que é possível produzir um concreto com alta resistência à

compressão, porém menor comparada à obtida com o uso de cimento. Zhang e Malhorta (1996) compararam o concreto feito com cimento Portland e com o cimento contendo cinzas de casca de arroz, concluindo que ambos apresentaram resistências à compressão semelhantes.

Zhang e Malhotra (1996) avaliaram as propriedades físicas e químicas da cinza de casca de arroz incorporada ao concreto, bem como o desempenho desta cinza no concreto fresco e endurecido. Eles observaram que ambos indicaram resultados semelhantes com relação às propriedades de resistência à flexão e cisalhamento, módulo de elasticidade e retração, porém o concreto com cinza mostrou excelente resistência à penetração de cloretos. Kiliñçale (1997) estudou a durabilidade do concreto produzido por adição de agentes pozolânicos como cinzas de casca de arroz, e concluiu que houve melhora nas características de durabilidade quando comparado à referência.

Cisse e Laquerbe (2000) avaliaram as características mecânicas do preenchimento de areia em concretos com cinza da casca de arroz e concluíram que a adição da cinza melhora as propriedades físicas e mecânicas do concreto.

Weber (2001) desenvolveu um trabalho que visou confirmar, em escala piloto, a adequação de uma metodologia para produzir uma cinza de casca de arroz modificada, com um teor bastante reduzido de carbono, a partir de um segundo processo de combustão da cinza residual. Para tanto, amostras de cinza coletadas antes e depois do processamento foram submetidas à moagem por 2, 4, 6, 12, 18 e 24 horas. Após a moldagem de corpos-de-prova de argamassa de referência (sem cinza) e utilizando os dois tipos de cinza em teores de 15% e 40% em substituição ao cimento CPV-ARI, e relações água/aglomerante de 0,52 e 0,40, fez-se a comparação dos resultados de resistência à compressão axial e capacidade de incorporação de agregados das misturas, para uma dada consistência. Os resultados indicaram que o uso da cinza de casca de arroz modificada mostrou-se economicamente mais vantajoso.

Isaia et al. (2010) avaliaram o emprego da cinza de casca de arroz (CCA) natural e residual, queimada sem controle de temperatura e sem moagem, de forma a simplificar o processamento da CCA e ampliar seu uso em concretos convencionais, em locais próximos onde é produzido. Avaliaram concreto de referência com cimento Portland e com 15% e 25% de substituição de cimento, em massa, por CCA natural e moída. Foram realizados ensaios de resistência à

compressão axial, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, retração total, porosimetria por intrusão de mercúrio, água quimicamente combinada e microscopia eletrônica de varredura. A análise dos resultados revela a viabilidade da substituição de 15% de cimento por CCA natural, com perda não significativa de resistência à tração e módulo de elasticidade aos 28 dias, com recuperação total a 91 dias, para concretos com resistências à compressão entre 25 MPa e 40 MPa.

Isaia et al. (2017) desenvolveram outro estudo que foi continuidade do artigo publicado em 2010. Neste trabalho mostram os ensaios de durabilidade (carbonatação, penetração de cloretos, resistividade, absorção d'água, permeabilidade ao oxigênio, absorção capilar e reação álcali-sílica – RAS), comparados ao concreto referência com 100% de cimento e, ainda, com CCA moída previamente (CCAM). Os resultados mostram que 15% de CCAM é factível de ser empregado em concreto porque apresenta desempenho superior ao concreto referência, quando usado cimento com pozolanas e próximos ou até superiores às misturas de CCAM, para grande parte das variáveis estudadas. Conclui-se que 15% de CCAM para concreto estrutural é viável e traz maior sustentabilidade.

Como pode-se avaliar, existem diversos trabalhos que utilizam a cinza de casca de arroz e avaliam os mais diversos parâmetros. Alguns foram citados anteriormente, porém, surge a necessidade de contemplar o estado da arte de alvenaria estrutural e resíduos, que está descrito no próximo item.

2.3 Estado da Arte do tema proposto

Os estudos baseados no tema alvenaria estrutural no Brasil têm seu ponto forte em desenvolvimento de padrões de projeto e execução, como é o caso de Zechmeister (2005) que apresentou uma proposta de padronização de dimensões de unidades de blocos, comparando modelos brasileiros e alemães. Neste mesmo padrão de estudos pode-se citar ainda: Baldauf (2004), Roman et al. (2004), Medeiros (1993) e Franco (1992).

Algumas pesquisas que abordaram o material componente dos blocos estruturais foram: Barbosa (2004) que estudou o efeito na deformação em blocos com diferentes concretos, Medeiros et al. (1994) e Ferreira Junior (1995) analisaram a interferência do processo de produção na qualidade dos blocos. Já Soto Izquierdo

(2011) avaliou a incorporação de fibra natural de sisal no concreto para bloco estrutural.

A partir destes estudos, e também outros, os pesquisadores se depararam com a grande dificuldade de métodos de dosagens para concretos de blocos estruturais, tudo isso em função da grande diferença do material, e desta maneira da impossibilidade de moldar corpos de prova em ambiente de laboratório. A partir deste raciocínio, alguns estudos foram desenvolvidos com o objetivo de proporcionar técnicas de dosagem para este tipo de concreto. Os principais são: Prudêncio Júnior et al. (2000), Frasson Junior (2000), Rodrigues (1995) e Tango (1984).

Porém, ao realizar-se um levantamento das pesquisas já desenvolvidas, tendo como palavra-chave “bloco estrutural”, chama atenção que dentre os elementos pré-fabricados, trabalhos desenvolvidos com blocos para pavimentação aparecem em maior número quando comparados com os blocos para fins de utilização em estruturas.

Para blocos de concreto para pavimentação com RCD (resíduo de construção e demolição), Poon e Chan (2006) e Scott Hood (2006) avaliaram comportamento mecânico deste material chegando a conclusão que quanto maior a porcentagem de substituição de cimento por agregado miúdo, menor a resistência à compressão do bloco.

Também para blocos de vedação, além da substituição do agregado natural por reciclado, Pollet et al. (1997) também avaliou a influência do tempo de adensamento. Para tanto, os blocos, submetidos a dois tempos de adensamento, foram avaliados quanto à massa específica, resistência à compressão e à absorção de água. Os resultados obtidos mostraram-se favoráveis à utilização dos agregados reciclados na produção de blocos de concreto. Entretanto, salientou-se a necessidade de estudos mais aprofundados para o uso desses blocos em paredes externas ou subsolos.

Lordsleem Júnior et al. (2008) avaliaram os blocos de concreto para vedação de três fabricantes fornecedores da Região Metropolitana do Recife, tendo como referência as normas técnicas NBR 6136 (ABNT, 2006) e NBR 12118 (ABNT, 2006). Os blocos foram ensaiados quanto à análise dimensional, resistência à compressão e absorção de água. A partir dos resultados obtidos foi possível constatar que a maioria dos blocos não atende as normas especificadas, apresentando não conformidades nos parâmetros avaliados. Concluíram que a utilização dos blocos

oferecidos no mercado, provavelmente, estavam comprometendo a qualidade da produção das alvenarias de vedação da região do Recife.

Martins (2001) avaliou o comportamento de blocos estruturais de concreto, em protótipos, quanto à resistência ao cisalhamento, e mostrou que a resistência do bloco à compressão pouco interfere na resistência ao cisalhamento, sendo que os resultados levaram a concluir que a maior interferência na resistência do protótipo foi na argamassa de assentamento.

Barbosa (2004) desenvolveu um estudo de caracterização mecânica (compressão e tração) dos concretos utilizados em blocos estruturais, diferenciando os materiais através de famílias de resistências (10, 20 e 30 MPa). O programa experimental também abrangeu diferenças entre blocos e prismas (cps cilíndricos), concluindo que houve diferença significativa entre os materiais, e mais uma vez, comprovando que concretos utilizados em blocos pré-moldados não podem ser avaliados em corpos-de-prova prismáticos, pela grande perda de resistência.

O trabalho de Silva (2005) desenvolveu uma proposta de novas morfologias de blocos estruturais que atendessem as construções de pequeno porte. As novas morfologias atingiram resultados satisfatórios para serem utilizadas. Felipe (2010) desenvolveu uma pesquisa com objetivo de otimizar a produção de concreto utilizado na produção de blocos estruturais, em ambiente de fábrica. O que diferenciou de um traço para o outro foi o material, onde utilizou-se diferentes granulometrias de areias e inclusive um traço com adição de cal. Atingiu resultados de fácil aplicação dentro das empresas.

Soto Izquierdo (2011) analisou o efeito da fibra de sisal no concreto de blocos estruturais. A avaliação foi feita em prismas e em mini paredes através de ensaios de resistência à compressão. Os resultados demonstraram que a resistência das mini paredes foram iguais ou superiores ao concreto referência, diferente do comportamento dos prismas que foram todos inferiores.

Santos (2011) estimou a resistência à compressão de blocos vazados de concreto, assentados ou não nas alvenarias, através da inspeção por ultrassonografia (método não destrutivo de avaliação de manifestação patológica). Os resultados sinalizaram para uma ajustada correlação entre o pulso ultrassonográfico expresso em μs (micro segundos) e a resistência à compressão individual dos blocos vazados de concreto, permitindo, não destrutivamente, avaliá-los e classificá-los à luz de qualquer normalização vigente de controle de qualidade,

comumente utilizada nas fábricas de blocos de concreto, e com possibilidade de substituição dos tradicionais processos adotados pelo controle de qualidade.

Gumiere (2012) teve como objetivo do trabalho aproveitar o resíduo da fabricação dos blocos de concreto, no momento da prensagem, para a confecção do micro concreto de preenchimento dos alvéolos dos blocos durante o erguimento da alvenaria estrutural, conforme especificação do projeto de cálculo estrutural. Foram avaliadas as propriedades mecânicas e de trabalhabilidade do micro concreto por meio de ensaios de consistência e de resistência à compressão. Também foram avaliadas a resistência à compressão e absorção dos blocos de concreto preenchidos com micro concreto. O estudo da substituição da areia pelo resíduo para a confecção do micro concreto apresentou resultados que viabilizaram esta substituição sem a perda das propriedades necessárias ao mesmo.

Bravo (2014) avaliou a aplicação de resíduos de borracha de pneu na confecção de concretos leves, com massa específica aparente inferior a 2000 kg/m^3 , tendo em vista a sua aplicação em blocos de concreto para alvenaria. Observou-se que houve uma diminuição da resistência à compressão do concreto, razão pela qual adotou-se o procedimento de substituir 10% de cimento por metacaulim (em massa). Foram produzidos traços de concreto sem resíduo (concreto referência), com 9,2%, 18% e 26,8% de resíduo em substituição do agregado miúdo, em relação ao volume. Confeccionaram-se corpos de prova cilíndricos 10 cm x 20 cm e blocos de concreto 14 cm x 19 cm x 29 cm, os quais foram ensaiados visando a determinação da resistência à compressão simples. Constatou-se que entre os traços ensaiados, o resultado menos favorável foi obtido para os blocos produzidos com 26,8% de resíduo, os quais apresentaram resistência característica à compressão de 2,74 MPa e absorção de 6,96%, resultados que atendem às restrições da NBR 6136 (ABNT, 2014) para a confecção de blocos vazados de concreto para alvenaria.

3 Metodologia

No terceiro capítulo estão descritos os materiais e métodos que foram utilizados no desenvolvimento desta dissertação.

O programa experimental foi dividido em duas etapas (Figura 4):

- 1ª etapa - foi desenvolvida a dosagem dos blocos estruturais, em ambiente de fábrica, conforme Frasson (2000), e analisados três tipos de cimentos (CPII F 32, CPIV e CPV-ARI) para três famílias de relação cimento:agregados (1:6; 1:8 e 1:10). A partir dos resultados definiu-se a família com melhor comportamento quanto a resistência à compressão e também em função do consumo de cimento;
- 2ª etapa - também em ambiente de fábrica, a partir dos resultados obtidos na primeira etapa, utilizou-se dois tipos de cimentos (CPIV e CPV-ARI, CPII F 32 foi excluído pela dificuldade de obtenção na cidade de Pelotas/RS e também por que os resultados mostraram-se semelhantes com o CPV-ARI estatisticamente) para uma relação cimento:agregado (1:8 – definida na primeira etapa) e três porcentagens de substituição de aglomerante por cinza de casca de arroz (CCA) (5, 10 e 15%).

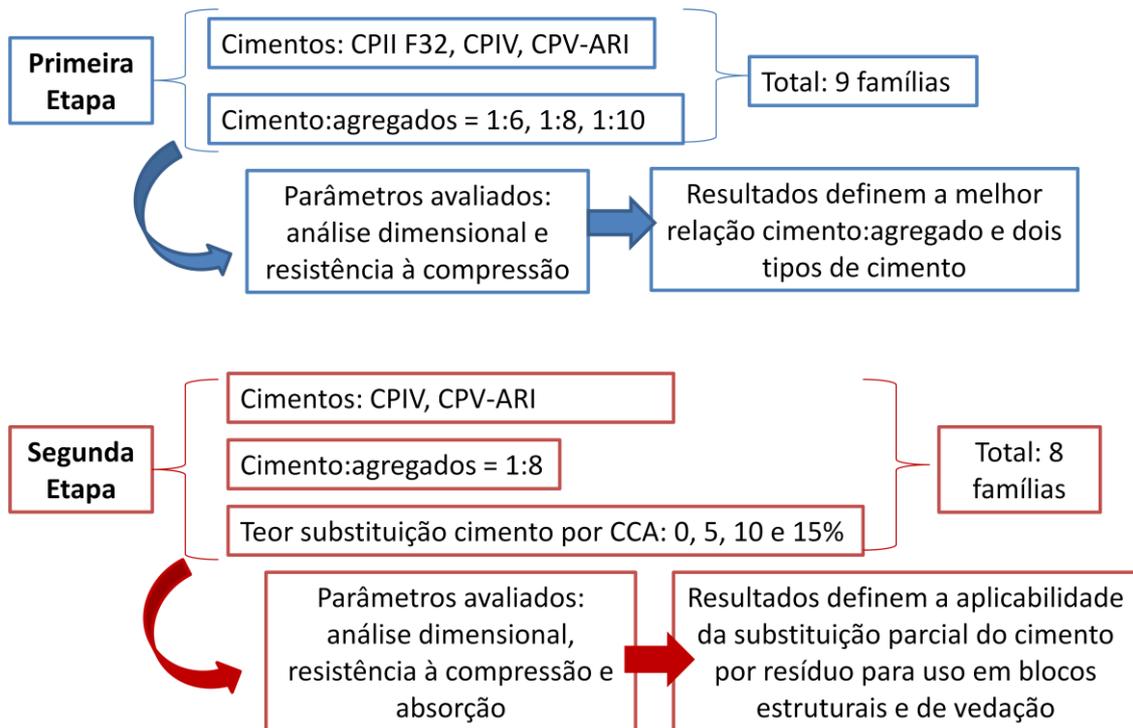


Figura 4 – Desenho do programa experimental desta pesquisa.

Fonte: autor.

3.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados que compõem os blocos estruturais foram os componentes do concreto: cimento (CPII F 32, CPIV e CPV-ARI), dois tipos de areias, brita, água e aditivo, além das cinzas de cascas de arroz. Os materiais e suas justificativas de uso estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Materiais utilizados para fabricação dos blocos estruturais

Material	Tipo	Justificativa de uso
Cimento	CPII F 32	É um material de composição química com poucas adições minerais e apresenta um tempo de pega não acelerado.
	CPIV	É o material de maior utilização na região sul do Brasil
	CPV-ARI	Apresenta menor teor de adições em sua composição, possui características físicas desejáveis (hidratação e resistência à compressão inicial). É de fácil obtenção e muito utilizado nas indústrias de pré-moldados.
Água	Abastecimento local	Material disponível
Agregado miúdo	Areia 1	Tem a capacidade de proporcionar coesão à mistura e ser disponível no mercado regional
	Areia 2	Proporciona volume e está disponível no mercado regional
Agregado graúdo	Brita de origem granítica	Disponibilidade no mercado regional
Resíduo	CCA	Produto disponibilizado pela empresa Arroeira Pelotas
Aditivo	Plastificante	Para concreto seco proporciona melhor aglutinação e plasticidade ao material, facilitando a moldagem e desmoldagem dos elementos pré-fabricados.

Fonte: autor.

As Tabelas 3 e 4 descrevem as características físicas, mecânicas e químicas dos cimentos CPIV e CPVARI, respectivamente. As características do cimento CPIIF 32 não foram disponibilizadas pelo fabricante.

Tabela 3: Caracterização físico-mecânica e química do cimento CPIV.

Característica	Propriedade	Exigência	Resultado
Química	MgO	≤ 6,5%	5,2%
	SO ₃	≤ 4,0%	2,1%
	Perda ao fogo	≤ 4,5%	1,9%
	Resíduo Insolúvel	----	32,7%
Físicas e Mecânicas	Finura (cm ² /g)	----	5918
	Tempo início pega	≥ 60min	365 min
	Tempo fim de pega	≤ 720 min	452 min
	Resistência à compressão (MPa) 3 dias	≥ 10	26,1
	Resistência à compressão (MPa) 7 dias	≥ 20	32,2
	Resistência à compressão (MPa) 28 dias	≥ 32	49,6

Fonte: Cimento Inter cement

Tabela 4: Caracterização físico-mecânica e química do cimento CPVARI

Característica	Propriedade	Exigência	Resultado
Química	MgO	≤ 6,5%	6,3%
	SO ₃	≤ 3,5%	3,4%
	Perda ao fogo	≤ 4,5%	4,1%
	Resíduo Insolúvel	----	13,9%
Físicas e Mecânicas	Finura (cm ² /g)	≥ 3000	5151
	Tempo início pega	≥ 60min	247 min
	Tempo fim de pega	≤ 600 min	335 min
	Resistência à compressão (MPa) 1 dias	≥ 11	20,7
	Resistência à compressão (MPa) 3 dias	≥ 24	33,1
	Resistência à compressão (MPa) 7 dias	≥ 34	37,2
	Resistência à compressão (MPa) 28 dias	----	44,3

Fonte: Cimento Inter cement

As características das areias 1 e 2 estão apresentadas na Tabela 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 – Características físicas da areia 1

Tipo de ensaio	Resultados	
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)	Peneiras	Retido acumulado (%)
	4,75	1,005
	2,36	5,030
	1,18	14,645
	0,600	22,510
	0,300	33,975
	0,150	93,590
	Fundo	99,415
	Ø máx (mm)	2,36
	Módulo de Finura	2,70
Massa específica real (g/cm ³) NBR NM 23 (ABNT, 2001)	2,63	
Massa unitária (g/cm ³) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,46	
Índice de volume de vazios (%) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	44,49	
Absorção (%) NBR NM 30 (ABNT, 2001)	6,88	

Tabela 6 – Características físicas da areia 2.

Tipo de ensaio	Resultados	
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)	Peneiras	Retido acumulado (%)
	4,75	0,445
	2,36	10,395
	1,18	44,825
	0,600	66,955
	0,300	80,3
	0,150	94,51
	Fundo	99,905
	Ø máx (mm)	4,75
	Módulo de Finura	2,97
Massa específica real (g/cm ³) NBR NM 23 (ABNT, 2001)	2,72	
Massa unitária (g/cm ³) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,55	
Índice de volume de vazios (%) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	43,01	
Absorção (%) NBR NM 30 (ABNT, 2001)	9,53	

As características do agregado graúdo estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características físicas do agregado graúdo.

Tipo de ensaio	Resultados	
	Peneiras	Retido acumulado (%)
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)	75	0
	36,5	0
	19	0
	9,52	21,07
	4,57	91,89
	Fundo	99,96
	Ø máx (mm)	19,00
	Módulo de Finura	6,13
	Massa específica real (g/cm ³) NBR NM 23 (ABNT, 2001)	2,68
Massa específica (g/cm ³) NBR NM 53 (ABNT, 2001)	1,52	
Massa unitária (g/cm ³) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	43,28	
Índice de volume de vazios (%) NBR NM 53 (ABNT, 2001)	2	

A Figura 5 apresenta a CCA utilizada nos procedimentos.

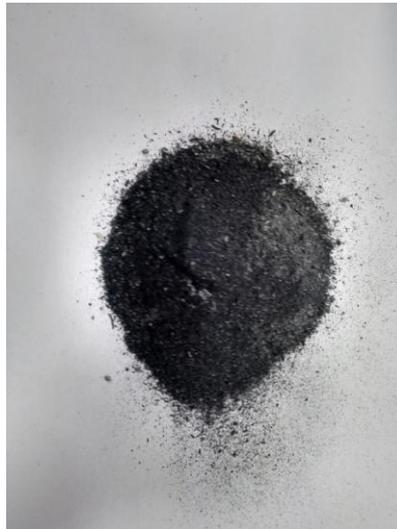


Figura 5 – CCA utilizada na pesquisa

Fonte: autor.

As características físicas da CCA estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Características físicas da CCA

Tipo de ensaio	Resultados	
	Peneiras	Retido acumulado (%)
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)	4,75	0,000
	2,36	0,129
	1,18	3,282
	0,600	48,824
	0,300	73,765
	0,150	94,288
	Fundo	99,994
	Ø máx (mm)	1,18
	Módulo de Finura	2,2
	Massa específica (g/cm ³) NBR NM 53 (ABNT, 2001)	2,68
Massa unitária (g/cm ³) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,52	
Índice de volume de vazios (%) NBR NM 53 (ABNT, 2001)	43,28	
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2	

A composição química da CCA foi analisada no laboratório da Engenharia de Materiais da UFPel. O material foi submetido ao ensaio de EDX (fluorescência de raio-x), sendo que o resultado desta análise se encontra na Tabela 9. Salienta-se que mais de 92% da composição química é dióxido de silício (SiO₂).

Tabela 9 – Características químicas da CCA

Componente	Quantitativo (%)
SiO ₂	92,66
K ₂ O	2,53
CaO	2,31
Fe ₂ O ₃	0,95
P ₂ O ₅	0,76
MnO	0,67
ZnO	0,04
CuO	0,03
SrO	0,02
Rb ₂ O	0,02

Fonte: Laboratório Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Pelotas

A análise da estrutura do material foi feita por meio do ensaio de difração de raio-x no Centro de Microscopia Eletrônica da Zona Sul (CEME-SUL) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). A Figura 6 apresenta o gráfico com os resultados do ensaio no material, que demonstra a pouca reatividade da CCA em decorrência da mesma apresentar um pico cristalino bem definido e referente à cristobalita (sílica cristalina).

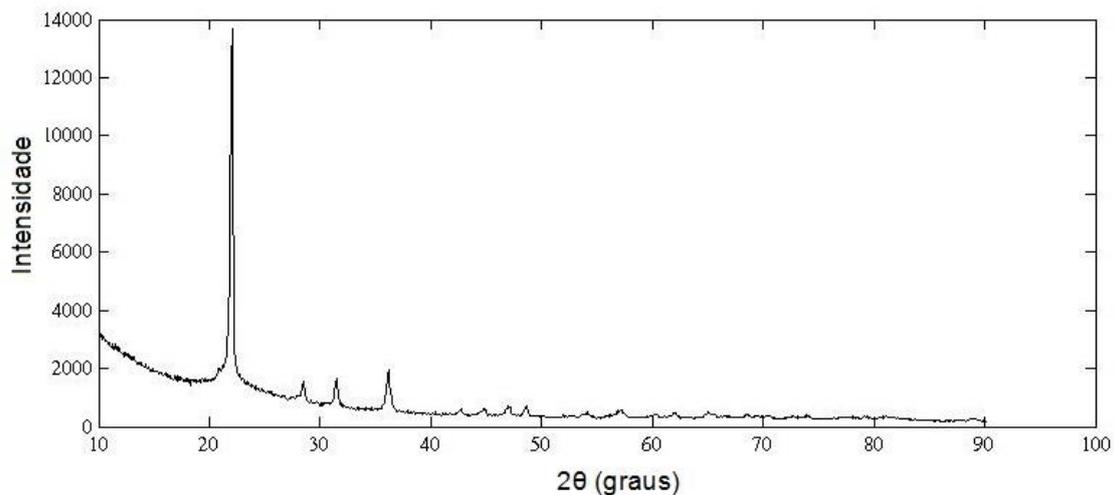


Figura 6 – Difratograma de raio-x da CCA.

Fonte: autor.

A cinza de cascas de arroz não foi considerada como um componente mineral reativo, devido aos resultados obtidos nos ensaios de caracterização, o que pode ser explicado pela presença de sílica no estado cristalino.

3.2 Produção do concreto em ambiente de fábrica

A fábrica escolhida para desenvolvimento desta pesquisa na cidade de Pelotas/RS. A escolha foi baseada no fato da empresa possuir todos os equipamentos necessários, já caracterizados como influentes nas propriedades dos pré-moldados descritos na pesquisa de Frasson (2000), principalmente no processo de prensagem.

3.2.1 Produção do concreto da primeira etapa

O método de dosagem de Frasson (2000) e de Prudêncio Júnior et al. (2000) sugere que dosagem seja realizada entre famílias 1:6 a 1:13. Nesta pesquisa optou-se por utilizar as famílias 1:6, 1:8 e 1:10. Esta escolha foi baseada em maior e menor consumo de cimento, com blocos possuindo bom aspecto de coesão. A Tabela 10 apresenta a nomenclatura de todas as famílias utilizadas na primeira etapa da pesquisa em ambiente de fábrica e os três tipos de cimentos para as três famílias de traços.

Tabela 10 – Famílias utilizadas na primeira etapa da pesquisa.

Família	Cimento	Nome traço
1:6	CPII F 32	CPII 1:6
1:8		CPII 1:8
1:10		CPII 1:10
1:6	CPIV	CPIV 1:6
1:8		CPIV 1:8
1:10		CPIV 1:10
1:6	CPV ARI	CPV 1:6
1:8		CPV 1:8
1:10		CPV 1:10

Fonte: autor.

Os traços unitários de cimento:agregados utilizados para cada família estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Traços unitários utilizados na primeira etapa.

Família	Cimento	Areia média	Areia fina	Brita	Aditivo
1:6	1	3,9	1,2	0,9	0,1
1:8	1	5,2	1,6	1,2	0,1
1:10	1	6,5	2	1,5	0,1

Fonte: autor.

É importante salientar que para que o traço fosse produzido em ambiente de fábrica, foi necessário ter as seguintes condições: 1. uma massa de cimento mínima de 150Kg em função do tamanho do misturador, para obtenção de perfeita homogeneidade do concreto; 2. a altura necessária no volume de concreto para que o controlador da umidade dos agregados fizesse as leituras em perfeitas condições. Devido a isto, a Tabela 12 indica os traços calculados para concretagem em função dos traços unitários estabelecidos e da massa mínima de 150Kg de cimento.

Tabela 12 – Traços utilizados na produção do concreto.

Família	Cimento (Kg)	Areia média (Kg)	Areia fina (Kg)	Brita (Kg)	Aditivo (Kg)
1:6	150	585	180	135	1,5
1:8	150	780	240	180	1,5
1:10	150	975	300	225	1,5

Fonte: autor.

A usina de concreto em questão possui um fator de correção de umidade do agregado miúdo, sendo assim, o traço foi recalculado mediante esta leitura de porcentual de umidade. Além disto, o sistema de pesagem dos agregados apresentava uma pequena variação em função do tempo da abertura das comportas dos silos e do tempo de leitura das balanças, determinando pequenas variações nos quantitativos reais utilizados em relação às massas do traço unitário. No entanto, por ter um grande volume de material em cada processo de fabricação, esta variação torna-se desprezível no resultado dos pré-moldados. A Tabela 13 descreve os traços finais utilizados na dosagem em ambiente de fábrica.

Tabela 13 – Quantitativo (Kg) dos traços reais utilizados.

Traço	Cimento	Areia média	Areia fina	Brita	Água (l)	Aditivo
CPII 1:6	150	625	185	135	75	1,5
CPII 1:8	150	835	240	180	85	1,5
CPII 1:10	100	700	200	150	76	1,5
CPIV 1:6	150	640	180	150	66	1,5
CPIV 1:8	150	875	240	180	80	1,5
CPIV 1:10	150	1085	300	225	93	1,5
CPV 1:6	150	640	190	130	77	1,5
CPV 1:8	150	840	240	190	88	1,5
CPV 1:10	150	1040	300	225	97	1,5

Fonte: autor.

Para melhor compreensão da continuidade deste capítulo, faz-se necessário uma antecipação da conclusão desta etapa. A partir dos resultados obtidos nessa primeira etapa, concluiu-se que a família 1:8 foi a que apresentou resistência à compressão adequada ao uso estrutural, além de ter apresentado consumo de cimento satisfatório. Adicionalmente, a distribuição de agregados possibilitou uma moldagem apropriada para o processo de fabricação. Maiores detalhes serão apresentados no capítulo 4.

3.2.2 Produção do concreto da segunda etapa

Após definidas as famílias de traços, fazendo-se análises dos resultados obtidos na primeira etapa deste programa experimental, foram realizadas novas concretagens com substituição de parte do aglomerante por cinza de casca de arroz. A substituição foi realizada considerando a porcentagem da massa do cimento nas seguintes proporções: 5%, 10% e 15%. Estes valores de substituições foram baseados nos trabalhos desenvolvidos por Souza (2008) e Isaia et al. (2010). As famílias de traços que foram analisadas nesta etapa do estudo estão descritas na Tabela 14. Ressalta-se que o cimento CPII F 32 não foi analisado em função da grande dificuldade de obtenção deste material, na cidade de Pelotas/RS, em grande quantidade, possibilitando o uso em ambiente de fábrica. Além disto, há falta de informações sobre as características químicas e físicas do material.

Tabela 14 – Famílias de traços utilizadas na segunda etapa da pesquisa.

Família	Cimento	%CCA
CPIV0	CPIV 32	0
CPIV5		5
CPIV10		10
CPIV15		15
CPV0	CPV ARI	0
CPV5		5
CPV10		10
CPV15		15

Fonte: autor.

Os traços utilizados nesta etapa do estudo foram os mesmos da etapa anterior, descritos nas tabelas 11, 12 e 13, para a família 1:8, escolhida pelo melhor comportamento adquirido no processo de dosagem, conforme resultados apresentados no capítulo 4 desta dissertação. A introdução da CCA na massa do cimento foi feita conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Traços unitários utilizados na segunda etapa.

Família	Cimento	CCA	Areia média	Areia fina	Brita	Aditivo
CPIV0	1	0	5,2	1,6	1,2	0,1
CPIV5	0,95	0,05	5,2	1,6	1,2	0,1
CPIV10	0,90	0,1	5,2	1,6	1,2	0,1
CPIV15	0,85	0,15	5,2	1,6	1,2	0,1
CPV0	1	0	5,2	1,6	1,2	0,1
CPV5	0,95	0,05	5,2	1,6	1,2	0,1
CPV10	0,90	0,1	5,2	1,6	1,2	0,1
CPV15	0,85	0,15	5,2	1,6	1,2	0,1

Fonte: autor.

Nesta etapa foi necessário a utilização de no mínimo 150 Kg de cimento, como já descrito na etapa anterior, além de realizar correção do teor de umidade.

3.3 Moldagem dos blocos

O elemento de dimensões 14x19x29 (largura:14 cm, altura: 19 cm, comprimento: 29 cm) escolhido para este estudo foi definido em função de ser

produzido pela empresa onde foram desenvolvidos os traços (Figura 7). Adicionalmente, apresenta uma modulação que facilita o uso em projetos arquitetônicos e pode ser utilizado em paredes externas e internas.

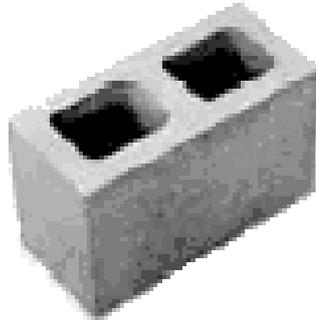


Figura 7: Bloco de concreto utilizado nesta pesquisa.

Fonte: Exactomm Blocos de Concreto.

A moldagem dos blocos em ambiente de fábrica foi realizada a partir das seguintes etapas:

1. armazenamento dos materiais: o cimento foi armazenado em silo e os agregados em baias cobertas, conforme mostrado na Figura 8;



(a)



(b)

Figura 8: Armazenamento dos materiais. (a) agregados em baias. (b) cimento em silo.

Fonte: autor.

2. pesagem dos agregados e verificação da umidade por meio de sensores, possibilitando o ajuste dos traços e determinação da quantidade de água (Figura 9);



Figura 9: Pesagem dos materiais.

Fonte: autor.

3. transporte dos agregados em esteiras até o misturador (Figura 10);

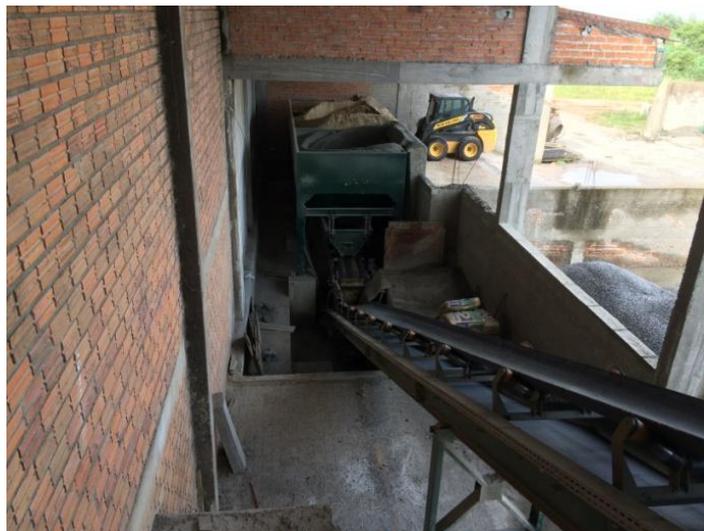


Figura 10: Transporte dos agregados por esteiras.

Fonte: autor.

4. o transporte do cimento foi feito por rosca helicoidal do silo de armazenamento até a balança de pesagem, que está posicionada sob o misturador. Após a verificação da massa o material foi liberado para o interior do misturador;
5. de forma manual, já pesada, a CCA foi inserida diretamente pela comporta de visualização do reservatório, conforme Figura 11. Salienta-se que esta inserção ocorreu apenas na segunda etapa desta pesquisa;



Figura 11: Colocação da CCA no reservatório.

Fonte: autor.

6. o aditivo foi armazenado em reservatório inferior, sendo bombeado para o reservatório superior, onde foi verificada a quantidade necessária e posteriormente liberado para a mistura em sistema de aspersão. Desta maneira certifica-se a distribuição homogênea na mistura;
7. a água foi armazenada em outro reservatório inferior, bombeada a outro reservatório superior, onde o seu controle de vazão é determinado em conjunto ao funcionamento do sensor de umidade (este posicionado no interior do misturador). O sistema determina leituras a cada 3 segundos que controla a umidade ideal e a válvula de liberação de água;
8. a mistura dos materiais até ter uma massa homogênea;
9. o transporte do concreto do misturador para a máquina de moldagem por meio de vagonete movimentado sobre trilhos (Figura 12);



Figura 12: Transporte do concreto.

Fonte: autor.

10. a liberação do concreto do vagonete para o silo de armazenamento da vibro prensa;
11. a moldagem dos blocos: primeiro com abertura do silo, após com preenchimento da forma, seguido do acionamento de vibradores para acomodação do material na forma e processo de prensagem do material. A prensa e o molde são liberados e o material já moldado é conduzido a esteira extratora;
12. sistema extrator: após o término do ciclo (descrito no item anterior) é feita a primeira avaliação visual dos blocos, descartando os que apresentam defeitos como fissuras ou rebarbas e a verificação da precisão dimensional é feita por uma escova em rolo, que retira as rebarbas superiores. Posteriormente os blocos são conduzidos a sistemas de elevadores (Figura 13);



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 13: Sistema extrator. (a) saída do sistema. (b) bloco sendo dispensado por não passar em avaliação visual. (c) blocos passando pela escova em rolo. (d) blocos em tábuas no sistema de elevadores.

Fonte: o autor

13. a cura: após retirar os blocos do sistema de elevadores, as peças foram movimentadas por meio de empilhadeiras para as prateleiras, onde permaneceram até o dia seguinte, em ambiente protegido de intempéries (Figura 14);



Figura 14: Sistema de prateleiras.

Fonte: autor.

14. paletização: após 24h, as prateleiras com os blocos foram transportadas por meio de empilhadeiras até os elevadores de paletização. Foram, então, conduzidos até a esteira extratora, onde a paletizadora pneumática retirou os blocos das tábuas e os armazenou nos paletes. Para finalizar o processo, os paletes (com 96 blocos) foram protegidos por filme plástico e fixados com fita plástica;
15. estoque e cura final: as peças foram estocadas no pátio externo para até idade de realização do ensaio (Figura 15).



Figura 15: Peças estocadas

Fonte: autor.

É importante salientar que os blocos, para realização dos testes, foram selecionados todos na mesma posição da bandeja, conforme Figura 16. Os escolhidos foram os que estavam na parte central da mesma, pois todos possuíam a mesma carga de prensagem, de acordo com Prudêncio Júnior et al. (2000).



Figura 16: Blocos selecionados

Fonte: autor.

3.4 Capeamento dos blocos

Os blocos, ao atingirem as idades determinadas para os ensaios de caracterização foram transportados para o laboratório, onde foram capeados para posterior realização do ensaio de resistência à compressão, em ambas as etapas da pesquisa.

O material escolhido para capeamento dos blocos interfere diretamente nos resultados do ensaio de resistência à compressão. O enxofre é o material que menos interfere nos resultados, porém, pelo seu efeito ambiental e risco à saúde dos que manuseiam o material não se recomenda sua utilização (FERNANDES, 2015). Diversos estudos já foram realizados com diferentes sistemas de capeamento (IZQUERDO, 2011; BEZERRA, 2007; OSAMA e AMEED, 2003; MAURICIO et al., 2004; FORTES, 2012; DRYSDALE et al., 2012). Os resultados demonstram que o enxofre e o gesso foram os materiais com menores distorções de resultados e maiores valores de resistência.

Nesta dissertação foi utilizado capeamento em gesso. Esta escolha foi baseada em Fernandes (2015), que indica a utilização de capeamento com gesso.

O processo de capeamento segue algumas etapas: primeiro foi necessário a mistura do pó de gesso com água. Após, o material foi espalhado sobre uma mesa de vidro e os blocos apoiados sobre este material. Transcorridos no mínimo 40 minutos, os blocos foram retirados e o processo repetido do lado contrário ao já capeado. Ao final do processo, ambos os lados que possuem as aberturas no bloco estão capeados, conforme mostrado na Figura 17.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 17: Capeamento com gesso. (a) preparo do gesso. (b) espalhamento do gesso sobre o vidro. (c) colocação dos blocos. (d) visual final dos blocos após capeamento em ambos os lados.

Fonte: autor.

É importante ressaltar que o capeamento com gesso tem interferência da umidade relativa do ar, pois quanto maior a umidade ambiental durante o experimento maior será o tempo de espera para secagem do mesmo.

Nesta pesquisa o processo de capeamento foi realizado 24 horas antes do ensaio de resistência à compressão e após a análise dimensional dos blocos.

3.5 Parâmetros avaliados

A NBR 6136 (ABNT, 2014) especifica a obrigatoriedade da execução dos seguintes parâmetros: análise dimensional, resistência à compressão e absorção. A retração é um requisito não obrigatório de acordo com a norma. Os parâmetros obrigatórios estão descritos a seguir.

3.5.1 Análise dimensional

O ensaio foi realizado conforme procedimento descrito na NBR 12118 (ABNT, 2014) que determina que a resolução deve ser de 1mm nas dimensões da peça: largura, comprimento, altura e espessura de paredes (Figura 18). Para cada dimensão foram realizadas três leituras em pontos distintos, sempre pelo fundo do bloco (onde tem a maior espessura), na idade de 28 dias.

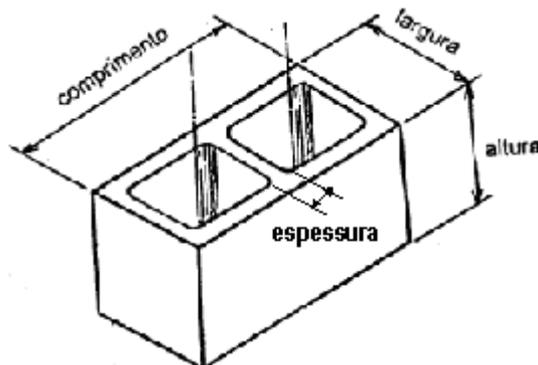


Figura 18: Dimensões bloco de concreto.

Fonte: autor.

Após, realizou-se uma média simples entre as medidas de cada ponto e comparou-se com as dimensões padrão do tipo de bloco utilizado nesta pesquisa. A tolerância permitida, de acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2014), em termos das

dimensões são: ± 2 mm para largura; ± 3 mm para altura e comprimento e a espessura mínima de qualquer parede tem tolerância de $- 1$ mm (Tabela 16).

Tabela 16 – Intervalo de tolerâncias admitidas para cada medida do bloco.

Medida	Medida mínima (mm)	Medida real bloco (mm)	Medida máxima (mm)
Largura	138	140	142
Altura	187	190	193
Comprimento	287	290	293
Espessuras long	24	25	---
Espessuras trans	24	25	---

3.5.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão para blocos de concreto é definida como a verificação da capacidade de carga que os blocos de concreto suportam quando submetidos a forças exercidas perpendicularmente sobre suas faces.

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais e técnicas construtivas da UFPel, conforme procedimento descrito na NBR 12118 (ABNT, 2014), que estipula que a tensão aplicada na área bruta do bloco ocorra sem choques, numa taxa de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s (quando $f_{bk} < 8$ MPa). Ressalta-se que para resistências superiores ou iguais a 8 MPa poderia ser utilizado $(0,15 \pm 0,03)$ MPa/s. Optou-se, nesta pesquisa, pelo primeiro $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s valor de tensão informado por não se ter conhecimento dos valores que seriam obtidos nos resultados.

O cálculo da tensão no bloco é determinado com a área de aplicação cheia, ou seja, utilizando-se 29×14 cm². A Figura 19 mostra o ensaio sendo executado na prensa utilizada durante a primeira etapa do desenvolvimento desta pesquisa.



Figura 19: Realização do ensaio resistência à compressão – primeira etapa.

Fonte: autor.

Na segunda etapa da pesquisa, o laboratório havia disponibilizando mais uma prensa, modelo IAW2000, visualizada na Figura 20.



Figura 20: Realização do ensaio resistência à compressão – segunda etapa.

Fonte: autor.

A NBR 6136 (ABNT, 2014) indica que somente terá validade o ensaio realizado aos 28 dias, e deve ter uma amostra mínima de 6 blocos. O cálculo da resistência característica do lote deverá ser feito pela equação 1:

$$f_{bk} = 2 \left[\frac{fb(1) + fb(2) + \dots + fb(i-1)}{i-1} \right] - fb(i) \quad (1)$$

Sendo: $i=n/2$, se n for par e $i = (n-1)/2$, se n for impar.

Onde:

- f_{bk} : resistência característica da amostra (MPa)
- $f_{b(1)}$, $f_{b(2)}$, $f_{b(i)}$: são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova ordenados crescentemente;
- n : é igual a quantidade de blocos da amostra.

A condição determinada pela norma para que o resultado seja aceitável é que $f_{bk} \geq 0,89 \cdot f_{b(1)}$.

Reduzindo a equação 1 para uma amostra de 6 blocos, obtém-se a equação 2, sendo que devem ser utilizados os três menores valores obtidos na amostra de 6 blocos:

$$f_{bk} = [fb(1) + fb(2)] - fb(3) \quad (2)$$

Para análise deste trabalho:

- Foi realizada a média simples dos valores da amostra de cada família para cada idade, com o objetivo de acompanhar a evolução de resistência à compressão. Ressalta-se que os valores dos blocos não aprovados no requisito análise dimensional foram retirados deste cálculo de média simples;
- Foi, também, utilizado o parâmetro de cálculo indicado pela NBR 6136 (ABNT, 2014), descrito anteriormente. Novamente, os valores dos blocos não aprovados no requisito análise dimensional foram retirados desta avaliação proposta pela norma.

Na **primeira etapa do estudo**, para acompanhar a evolução de resistência à compressão, os blocos foram ensaiados nas idades de 7 (3 blocos), e 28 dias (6 blocos). No entanto, respeitando a rotina da empresa, o desenvolvimento dos traços de concreto foi realizado em um sábado. Adicionalmente, o laboratório onde os

ensaios foram realizados não tem expediente aos sábados. Desta maneira, os ensaios que deveriam acontecer aos 7 e 28 dias ocorreram aos 9 e 30 dias.

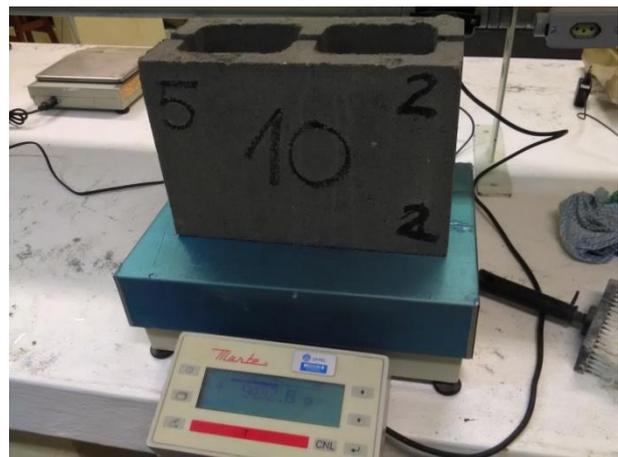
Na **segunda etapa** realizou-se o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias, visto que este é o período que a NBR 6136 (ABNT, 2014) determina que deve ser analisado. Novamente, houve necessidade de fazer o ensaio com os blocos com idade de 30 dias, conforme mencionado no parágrafo anterior.

3.5.3 Absorção

Para determinação da absorção de água foi utilizada uma balança com resolução de 0,1g (balança Marte, classe II MB 16kg) e estufa com temperatura mantida de (110 ± 5) °C. Inicialmente, os blocos foram pesados e em seguida levados à estufa por 24h como recomenda a NBR 12118 (ABNT, 2006). Os blocos foram pesados diariamente até certificar-se que estavam totalmente secos, para isso a diferença de massa não poderia exceder 0,5%. Após essa verificação e resfriamento natural dos blocos, estes foram imersos em água por 24h e, após este período, pesados novamente. Após o procedimento é calculada uma diferença entre a massa seca e a massa úmida e o resultado informado em porcentagem. A Figura 21 mostra os blocos durante o ensaio.



(a)



(b)

Figura 21: Ensaio de absorção: (a) estufa utilizada; (b) bloco sendo pesado.

Fonte: autor.

Este ensaio foi executado para as três famílias com melhores comportamentos no quesito resistência à compressão, visto que o volume de

material para execução do ensaio ultrapassou o limite físico da estufa e do tanque para imersão. Além disso, optou-se em analisar absorção apenas para as famílias que se classificaram como materiais estruturais (classes A e B).

3.6 Análise dos resultados

De acordo com NBR 6136 (ABNT, 2014), primeiro deveriam ser avaliados todos os requisitos para ter completa avaliação do bloco. Saliendo que, primeiramente, deve ser feita uma verificação visual e descartados os elementos que apresentem fissuras.

Na primeira etapa verificou-se a análise dimensional e resistência à compressão. Na segunda etapa, além dos requisitos já avaliados na primeira etapa, foi analisada a absorção. Estas análises foram realizadas com médias simples entre os resultados das amostras.

A análise estatística foi realizada através do programa SPSS 20.0 for Windows, utilizando o teste de análise de variância (ANOVA) de duas vias seguida de teste de comparações múltiplas de Tukey para comparação entre as variáveis.

Segundo Spiegel (1993) a ANOVA testa a significância da diferença entre as médias dos grupos, baseando-se na relação da variabilidade das médias entre os grupos e da variabilidade das observações dentro dos grupos. A hipótese de nulidade é a de que as médias são todas iguais. Por meio do teste F (distribuição de Fischer) foi possível observar a significância estatística da variabilidade das médias entre grupos.

O valor “p-value” (probabilidade – distribuição t de Student) menor do que 0,01 designa que a relação entre as variáveis é estatisticamente significativa a um nível de confiança de 99%. O coeficiente de determinação r^2 indica a porcentagem que o modelo explica da variabilidade dos valores observados para a resistência à compressão (tensão) ou/e absorção.

Para a primeira etapa do trabalho foi avaliada a variável dependente resistência à compressão. Para tanto, foram consideradas como variáveis independentes a família de traços e o tipo de cimento. Um nível de significância (α) de 5% foi utilizado nas análises, ou seja, os resultados obtidos apresentam um nível de confiança de 95%.

De acordo com Torres (2011), nas áreas tecnológicas utiliza-se $\alpha = 5\%$, ou seja, ao calcular um valor crítico de um parâmetro (por exemplo, a média) de modo que a probabilidade de que ela exceda este valor, dada a verdade da hipótese nula, ser 5%. Se o valor estatístico calculado exceder o valor crítico, então é significativo “ao nível de 5%”.

Na segunda etapa da pesquisa analisou-se a resistência à compressão (modelo indicado na norma e análise descritiva) e a absorção. Os resultados novamente foram submetidos a um teste estatístico tipo ANOVA de duas vias, considerando como variáveis independentes os tipos de cimentos e as quantidades de CCA. Novamente, um nível de significância de 5% foi adotado.

4 Análise dos Resultados

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nesta dissertação.

4.1 Resultados da primeira etapa

Como já apresentado no capítulo de metodologia, nesta etapa foram avaliados os parâmetros exigidos pela NBR 6136 (ABNT, 2014) referentes à análise dimensional e de resistência à compressão. Os resultados destes parâmetros serão apresentados a seguir.

4.1.1 Resultados da análise dimensional

A Tabela 17 apresenta os resultados médios da análise dimensional das peças, fabricadas com cimento CII F 32. Ao realizar a média dos valores obtidos, foi possível verificar se as dimensões estavam no intervalo de tolerância admitido. O bloco 2 da família CII 1:6 e o bloco 1 da família CII 1:10 foram reprovados no quesito altura, portanto descartado do lote de avaliação. Todas as leituras realizadas nos blocos encontram-se no Apêndice A

Tabela 17 – Dimensões médias dos blocos com cimento CII F 32.

Família	Bloco	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Esp. Long. (mm)	Esp. Trans. (mm)	Altura (mm)
CII 1:6	1	291,0	140,3	31,8	30,8	187,5
	2	290,8	140,3	30,1	30,5	186,8
	3	290,8	140,3	29,6	29,8	187,5
	4	291,0	140,5	30,4	31,5	188,3
	5	291,8	141,0	30,8	29,8	189,0
	6	291,8	140,5	31,0	30,0	187,5
CII 1:8	1	291,0	140,3	29,8	30,0	187,5
	2	292,3	140,5	30,3	29,3	190,5
	3	290,8	140,5	29,4	30,8	191,8
	4	291,5	140,8	29,6	29,5	190,3
	5	291,3	140,5	29,3	29,8	187,5
	6	291,5	140,8	30,1	30,8	190,5
CII 1:10	1	291,5	141,0	29,9	30,0	181,0
	2	291,3	140,5	29,6	30,8	190,3
	3	292,3	141,0	30,5	31,0	191,3
	4	291,5	140,8	29,5	30,5	189,5
	5	291,5	140,3	29,6	30,3	193,3
	6	292,0	140,5	30,3	29,5	190,8

A Tabela 18 apresenta os resultados médios da análise dimensional para os blocos produzidos com o cimento CIIV. Nesta avaliação, o bloco 6 da família CIIV 1:6 ultrapassou o limite superior e o bloco 4 da CIIV 1:8 ultrapassou o limite inferior para a altura, tendo sido excluídos na análise.

Tabela 18 – Dimensões médias dos blocos com cimento CPIV.

Família	Bloco	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Esp. Long. (mm)	Esp. Trans. (mm)	Altura (mm)
CPIV 1:6	1	291,3	140,5	29,5	30,8	189,5
	2	291,3	141,0	30,0	31,3	192,8
	3	292,3	141,3	30,4	29,5	187,8
	4	290,8	140,5	29,1	29,0	188,0
	5	291,0	140,0	29,0	31,5	192,8
	6	292,3	140,5	30,3	29,8	193,8
CPIV 1:8	1	292,0	140,8	28,9	31,0	187,5
	2	291,8	141,0	29,1	31,0	188,8
	3	290,8	140,0	29,8	31,0	188,5
	4	291,0	140,5	28,9	30,0	186,5
	5	291,3	140,3	29,5	31,8	188,5
	6	291,0	140,8	29,1	30,3	188,3
CPIV 1:10	1	290,8	140,3	29,1	29,8	187,5
	2	290,3	140,3	29,8	29,5	188,3
	3	291,5	140,5	28,9	30,5	188,8
	4	291,3	140,5	29,6	30,8	188,8
	5	291,0	140,0	30,3	29,8	189,0
	6	290,8	140,5	29,5	29,3	187,5

A Tabela 19 apresenta os resultados médios da análise dimensional para os blocos produzidos com o CPV-ARI. Nesta verificação todos os blocos foram aprovados pela avaliação.

Tabela 19 – Dimensões médias dos blocos com cimento CPV ARI.

Família	Bloco	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Esp. Long. (mm)	Esp. Trans. (mm)	Altura (mm)
CPII 1:6	1	290,8	140,3	29,9	31,3	189,0
	2	291,5	141,0	29,9	29,8	191,0
	3	291,0	140,8	29,5	30,8	192,0
	4	290,8	140,3	29,1	30,3	189,0
	5	291,8	140,0	30,1	29,5	192,5
	6	290,8	140,8	29,5	29,8	188,8
CPII 1:8	1	291,0	140,3	29,5	30,8	190,3
	2	291,8	140,5	30,0	30,5	188,5
	3	292,0	140,3	29,6	29,8	188,3
	4	291,8	140,8	29,5	31,8	190,3
	5	292,0	140,8	30,0	31,8	192,5
	6	291,3	140,8	30,0	30,8	190,0
CPII 1:10	1	291,5	140,3	29,8	29,0	192,3
	2	290,8	140,3	29,8	31,5	193,8
	3	291,5	140,5	30,3	29,3	190,0
	4	291,5	140,5	29,6	29,5	190,8
	5	291,3	140,3	29,4	29,3	189,8
	6	291,0	140,0	29,4	30,5	191,5

4.1.2 Resultados da resistência à compressão

Os resultados médios do ensaio de resistência à compressão das famílias moldadas em ambiente de fábrica estão apresentados na Figura 22. Todos os valores encontram-se no Apêndice B.

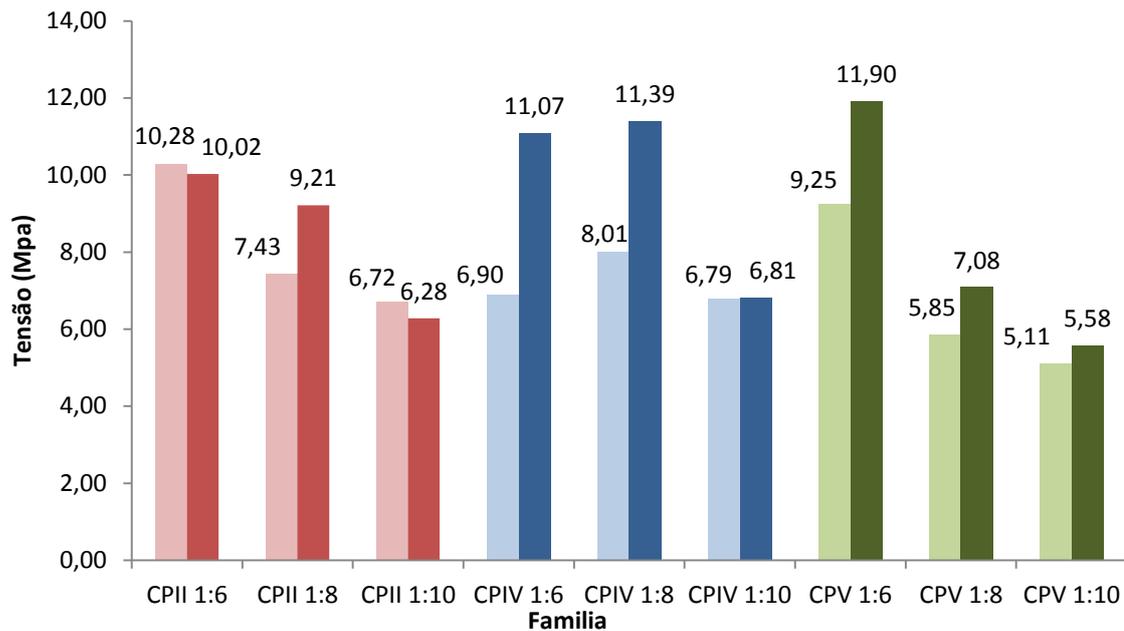


Figura 22: Valores médios da resistência à compressão da dosagem.

Os resultados estão em tons de cores diferentes de acordo com os tipos de cimentos, e as colunas da esquerda são da idade de 9 dias e da direita aos 28 dias. Os resultados demonstraram que para os três tipos de cimentos as famílias 1:10 foram as que apresentaram menores valores de resistência à compressão para as idades de 9 e 30 dias.

A análise dos resultados das famílias do cimento CPII F 32 indica que a família 1:8 teve maior ganho de resistência comparando os procedimentos realizados aos 9 dias e aos 30 dias, com aumento de aproximadamente 20%. Também, é possível notar que com este ganho o valor de resistência se aproximou da família 1:6. Ao avaliar-se os resultados de 30 dias, verifica-se que da família 1:6 para 1:8 houve um decréscimo de 8,09% - ou 0,81 MPa - no valor da resistência, enquanto que da família 1:6 para 1:10 a redução foi de 37,35%. As famílias 1:6 e 1:10 apresentaram resultados de resistência aos 30 dias inferiores em relação aos 9 dias, provavelmente porque, ambas as famílias tiveram blocos excluídos na análise dimensional, reduzindo desta forma a amostra inicial. A Figura 23 apresenta as variações de resistência à compressão dos blocos produzidos a partir do cimento CPII F 32 entre as idades de 9 e 30 dias.

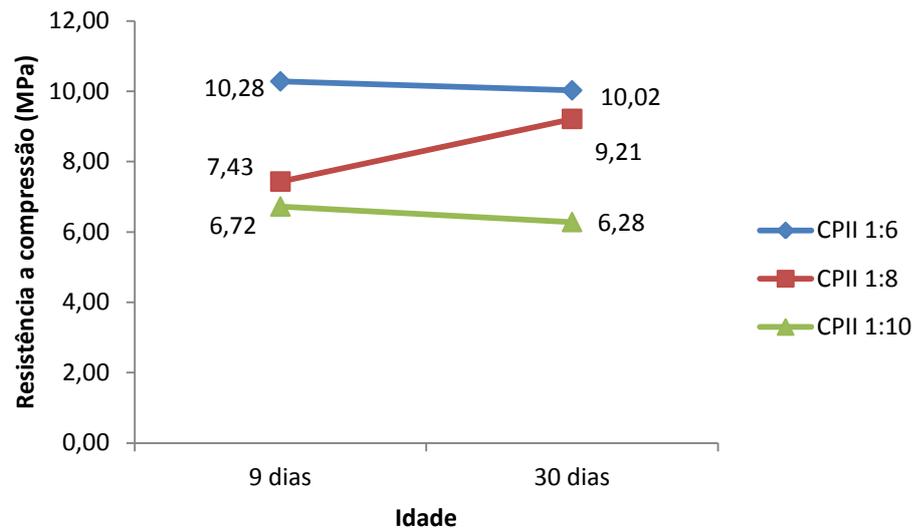


Figura 23: Valores médios de resistência à compressão para as famílias CII F 32.

Quando o mesmo estudo foi realizado utilizando-se concretos produzidos com o cimento CII (Figura 24), foi possível observar que a tendência de aumento das resistências das famílias 1:6 e 1:8 foram muito semelhantes. Aos 30 dias, a família 1:8 atingiu maior resistência, com 11,39 MPa, enquanto a família 1:6 atingiu valor médio de 11,07 MPa, uma diferença entre as famílias de 0,32 MPa ou 2,88%. É importante ressaltar que a família 1:6, deste cimento, foi a primeira a ser produzida na fábrica no dia da dosagem. Esse fator, de acordo com os estudos de Frasson (2000), interfere significativamente nos resultados, pois as máquinas ainda não atingiram desempenho de 100%, que somente é atingido depois da realização do primeiro ciclo, quando os maquinários estão em pleno funcionamento.

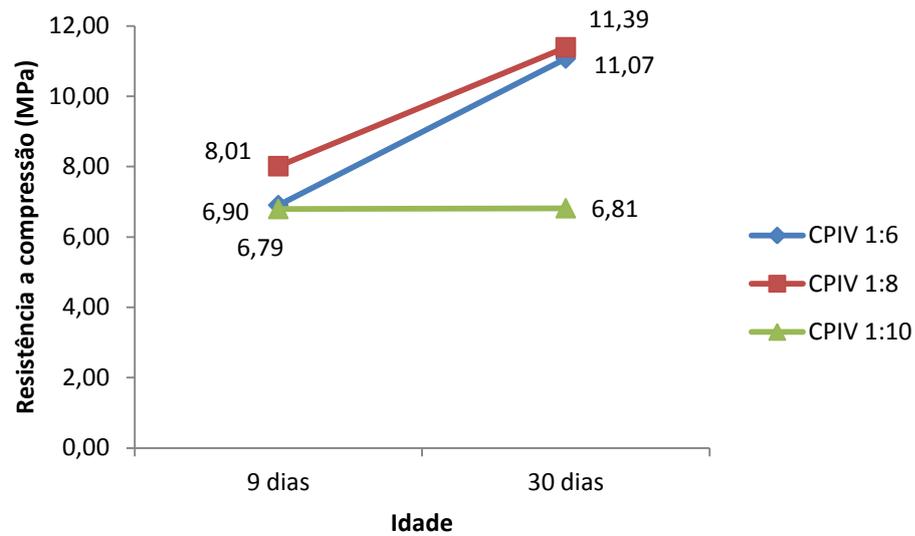


Figura 24: Valores médios de resistência à compressão para as famílias CPIV.

O concreto com cimento CPV ARI foi o que apresentou o traço com maior resistência aos 30 dias para os blocos de concreto. A maior resistência foi atingida pela família 1:6, com 11,90 MPa, e apresentou maior diferença em relação às outras famílias, sendo 40,48% superior à família 1:8 e 113,37% em relação a família 1:10, conforme mostrado na Figura 25.

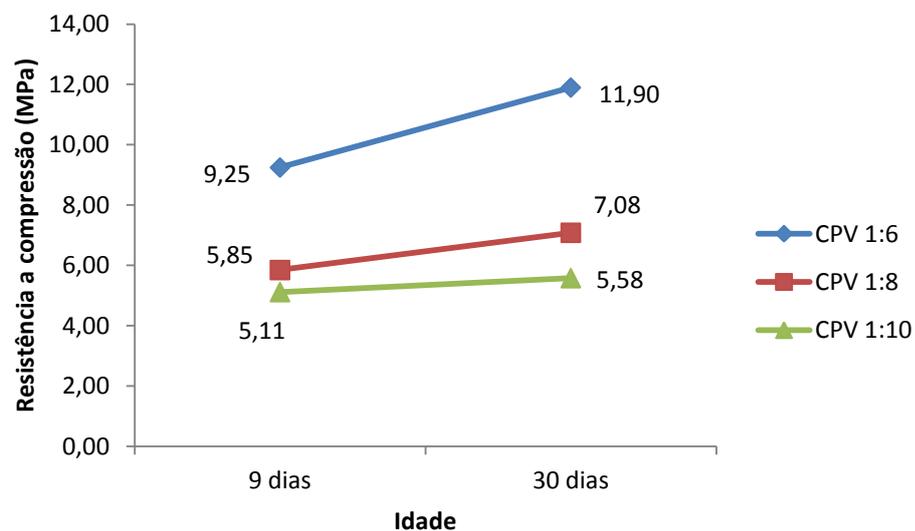


Figura 25: Valores médios de resistência à compressão para as famílias CPV ARI.

A partir do que foi apresentado acima, foi possível definir os melhores resultados obtidos no período de 30 dias de rompimento, como mostra a Figura 26.

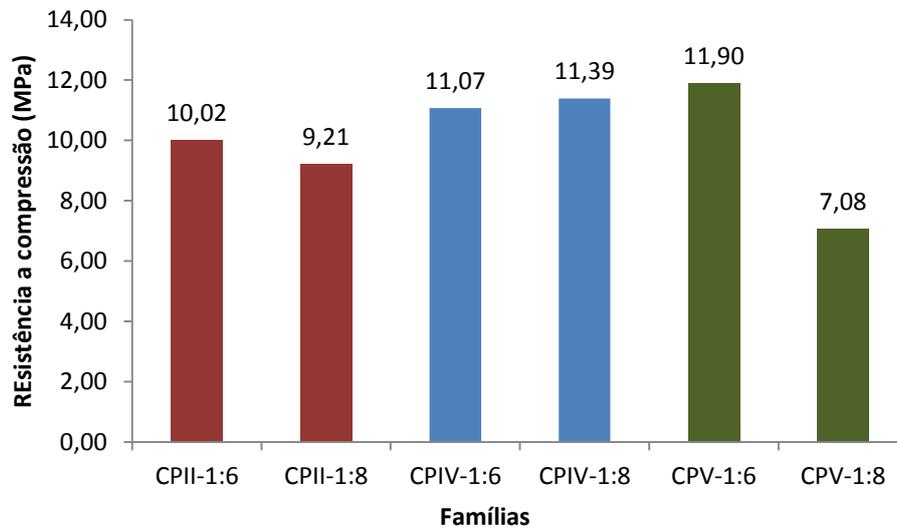


Figura 26: Famílias com melhores resultados nos 30 dias.

A NBR 6136 (ABNT, 2014) especifica que blocos da classe A, com função estrutural, também utilizado abaixo do nível do solo, tenham $f_{bk} \geq 8$ MPa. Para realizar esta verificação foi aplicada a equação 2, apresentada no capítulo 3, em cada família de traço. A Tabela 20 apresenta o resultado do cálculo do f_{bk} para cada família e a condição de verificação.

Tabela 20 – Resultados f_{bk} de cada família.

Família	f_{bk}	$f_{bk} > 0,89f_{b(1)}$	Condição
CII 1:6	8,56	7,97	Ok
CII 1:8	7,82	7,30	Ok
CII 1:10	4,71	4,55	Ok
CIV 1:6	9,70	8,99	Ok
CIV 1:8	9,44	8,88	Ok
CIV 1:10	6,03	5,44	Ok
CPV 1:6	8,46	8,47	Não
CPV 1:8	5,32	4,97	Ok
CPV 1:10	4,35	4,38	Não

As famílias que não atingiram a condição de verificação foram as 1:6 e 1:10 do cimento CPV-ARI. Porém, a família 1:6 teve uma diferença de 0,01 MPa (-0,12%) e a família 1:10, de 0,03 MPa (-0,68%). Apesar da pouca diferença para atingir a condição necessária para aceitação, a NBR 6136 (ABNT, 2014) determina que blocos da classe B também podem ter função estrutural, entretanto, devem ser

usados acima do nível do solo, mas com $4 \leq f_{bk} < 8$ MPa. Portanto, avaliando os limites permitidos para blocos estruturais, todas as famílias ensaiadas podem ser consideradas verificadas quanto a condição de resistência à compressão estabelecida pela norma.

Ao analisar-se os valores médios das famílias e utilizando as classes A e B, todas as famílias seriam consideradas aptas a exercer função estrutural, pois todos os resultados médios de resistência característica à compressão foram superiores a 4 MPa.

Outro fator importante para definição dos traços para a próxima etapa é o consumo de cimento que cada família obteve. A partir da massa específica dos materiais e do traço unitário, foi possível determinar o consumo de cimento de cada traço, conforme a Figura 27.

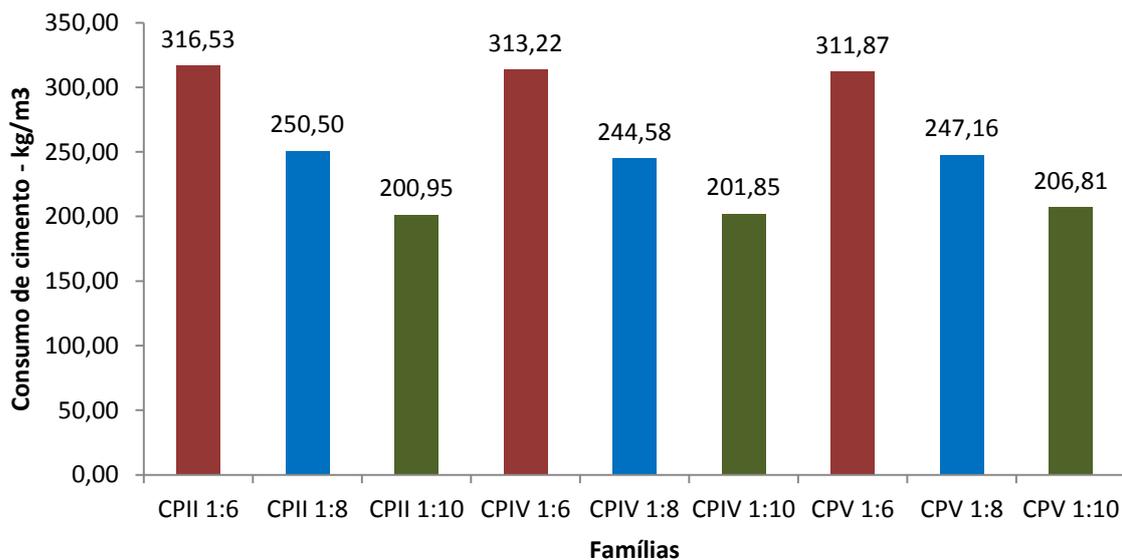


Figura 27: Consumo de cimento das famílias (kg/m³)

As famílias 1:6 apresentaram consumo mínimo de cimento de aproximadamente 311 kg/m³, com consumo médio de aproximadamente 314 kg/m³, enquanto que as famílias 1:8 apresentaram, em média, consumo de 247 kg/m³. Desta forma, foi possível constatar que houve uma redução entorno de 21% no consumo de cimento quando comparadas as famílias 1:6 e 1:8.

Portanto, considerando que os blocos produzidos com concretos de traços 1:6 apresentaram um maior consumo de cimento, com maior custo que os traços 1:8, e

que os traços 1:8 atingiram o mínimo de resistência estrutural determinada pela norma (CPII F 32 = 9,21MPa; CPIV = 11,39MPa; CPV-ARI = 7,08MPa), para segunda etapa desta dissertação foi escolhido o traço 1:8 para os tipos de cimento que foram analisados.

4.1.3 Análise estatística da primeira etapa

Para a parte estatística utilizou-se uma análise de variância (ANOVA) de duas vias, considerando como variáveis independentes as famílias de traços (1:6, 1:8 e 1:10) e os tipos cimento (CPII, CPIV e CPVARI), enquanto que a tensão que cada bloco de concreto suporta aos 30 dias foi considerada como uma variável dependente das demais. Os dados foram expressos em termos da média e desvio padrão da resistência dos blocos (Tabela 21). Salienta-se que o número de amostra é diferente em função de alguns blocos terem sido desprezados em função da análise dimensional, portanto a amostra de 6 blocos, ficou com 5 blocos em alguns.

Tabela 21 – Análise descritiva do experimento avaliando Tensão (MPa) aos 30 dias.

Família	Cimento	Média	Desvio padrão	N (n° elementos da amostra)
1:6	CPII	10,4383	1,29043	6
	CPIV	11,0700	0,64397	5
	CPV	11,8967	1,68557	6
	Total	11,1388	1,38303	17
1:8	CPII	9,2100	0,80786	6
	CPIV	11,3880	0,91492	5
	CPV	7,0817	1,25955	6
	Total	9,0994	2,01918	17
1:10	CPII	5,8567	1,45437	6
	CPIV	6,8150	0,36550	6
	CPV	5,5767	0,48389	6
	Total	6,0828	1,01388	18
Total	CPII	8,5017	2,29649	18
	CPIV	9,5737	2,29479	16
	CPV	8,1850	3,01069	18
	Total	8,7219	2,58355	52

A ANOVA de duas vias demonstrou que houve efeito das variáveis “família de traços” e “tipos de cimento” na resistência à compressão dos blocos, e interação entre estas variáveis independentes ($p < 0,001$ para todas as análises, com nível de

significância de 0,05). Os resultados da análise ANOVA estão apresentados na Tabela 22. O r^2 indica que o modelo explica 85% da variabilidade dos valores de tensão.

Tabela 22 – Variável dependente “Tensão” (MPa) aos 30 dias.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	289,262 ^a	8	36,158	30,397	0,000
Resíduo	4017,271	1	4017,271	3377,244	0,000
Família * cimento	39,558	4	9,890	8,314	0,000
Família	227,873	2	113,937	95,784	0,000
Cimento	22,947	2	11,474	9,646	0,000
Erro	51,149	43	1,190		
Total	4296,152	52			
Total corrigido	340,411	51			

a. ANOVA de duas vias: $r^2 = 0,850$

Na sequência, considerando somente a variável independente “família de traços”, a análise pareada demonstrou que houve diferença significativa entre as médias das resistências para todas as famílias de traços, ou seja, a hipótese de médias iguais para as resistências dos blocos pode ser rejeitada, indicando a influência do traço na máxima tensão dos blocos aos 30 dias ($p < 0,001$ para todas as análises, considerando um nível de significância de 0,05). Na Tabela 23 são apresentados os resultados desta análise.

Tabela 23 – Variável dependente “Tensão” aos 30 dias e variável independente “Família de traços”.

Família	Família	Diferença de média	Desvio padrão	p
Família 1:6	Família 1:8	1,908*	0,375	0,000
	Família 1:10	5,052*	0,370	0,000
Família 1:8	Família 1:6	-1,908*	0,375	0,000
	Família 1:10	3,144*	0,370	0,000
Família 1:10	Família 1:6	-5,052*	0,370	0,000
	Família 1:8	-3,144*	0,370	0,000

Para a verificação da influência da variável independente “tipos de cimento”, a comparação pareada demonstrou diferença significativa do cimento CPIV em relação aos outros dois cimentos (cimento CPII e CPV) na resistência à compressão dos blocos, indicada por $p \leq 0,005$ e $p < 0,001$, respectivamente, com resultados apresentados na Tabela 24. Ademais, as análises estatísticas demonstram que não

houve diferença significativa entre os cimentos CPII e CPV ($p > 0,05$), levando-se por aceitar a hipótese de médias iguais entre as resistências dos blocos produzidos com os cimentos CPII e CPV. Vale ressaltar, que estes resultados possuem um nível de confiança de 95%.

Tabela 24 – Variável dependente “Tensão” aos 30 dias e variável independente “tipos de cimento”.

Família	Família	Diferença de média	Desvio padrão	p
CPII	CPIV	-1,256*	0,375	0,005
	CPV	0,317	0,364	1,000
CPIV	CPII	1,256*	0,375	0,005
	CPV	1,573*	0,375	0,000
CPV	CPII	-0,317	0,364	1,000
	CPIV	-1,573*	0,375	0,000

Após realizar os tratamentos por meio do teste F (ANOVA de duas vias), efetuou-se um teste de comparações múltiplas - teste de Tukey - que confirmou os resultados anteriores. Ou seja, houve diferença significativa entre as médias das resistências, indicando influência das famílias de traços na máxima tensão dos blocos aos 30 dias ($p < 0,001$ para todas as análises). Também, corroborando com os resultados anteriores, observou-se uma diferença significativa nas médias de resistências dos blocos produzidos a partir do cimento CPIV em relação aos blocos produzidos com os outros dois cimentos (CPII e CPV). Ademais, não foi observada diferença significativa entre as resistências, aos 30 dias, dos blocos produzidos com os cimentos CPII e CPV ($p > 0,05$). Os resultados estão apresentados nas Tabelas 25 e 26.

Tabela 25 – Teste de Tukey e variável independente “famílias de traço”.

Família	Família	Diferença de média	Desvio padrão	p
1:6	1:8	2,0394*	0,37409	0,000
	1:10	5,0560*	0,36886	0,000
1:8	1:6	-2,0394*	0,37409	0,000
	1:10	3,0166*	0,36886	0,000
1:10	1:6	-5,0560*	0,36886	0,000
	1:8	-3,0166*	0,36886	0,000

Tabela 26 – Teste de Tukey e variável independente “tipo de cimento”.

Família	Família	Diferença de média	Desvio padrão	p
CPII	CPIV	-1,0721*	0,37474	0,018
	CPV	0,3167	0,36355	0,661
CPIV	CPII	1,0721*	0,37474	0,018
	CPV	1,3887*	0,37474	0,002
CPV	CPII	-0,3167	0,36355	0,661
	CPIV	-1,3887*	0,37474	0,002

4.1.4 Conclusões primeira etapa

Para a continuidade deste trabalho, e início da segunda parte, fez-se necessário estabelecer as conclusões desta etapa inicial:

1. Todas as famílias avaliadas atingiram o valor mínimo de resistência à compressão exigido por norma para que os blocos possam ser utilizados com função estrutural (Classes A e B);
2. O consumo de cimento foi variável entre as famílias analisadas;
3. A análise estatística mostrou que não houve diferença significativa entre as médias das resistências dos blocos produzidos a partir dos cimentos CPII e CPV. Entretanto, através da mesma, consegue-se rejeitar a hipótese de médias iguais para as resistências dos blocos produzidos com os cimentos CPIV em relação aos demais tipos de cimentos. Além disso, comprovou-se a influência das três famílias de traços nas médias das resistências dos blocos;
4. A escolha do traço 1:8 para segunda etapa da pesquisa foi baseada na mesma ter sido aprovada nos dois requisitos avaliados na primeira etapa - análise dimensional e resistência à compressão -, além de ter apresentado um menor consumo de cimento quando comparado à família 1:6. Ainda, quando realizada a etapa de análise visual apresentou aspecto superior à família 1:10 (PADILHA et al., 2017);
5. A decisão de utilizar apenas dois cimentos (CPIV e CPV) para segunda etapa baseia-se em dois fatores: primeiro na dificuldade de obtenção do cimento CPII e a segunda da avaliação estatística, mostrando não ter diferença significativa entre as resistências dos blocos deste cimento em relação aos blocos produzidos com o CPV.

4.2 Resultados da segunda etapa

Nesta etapa foram avaliados os parâmetros da NBR 6136 (ABNT, 2014): análise dimensional, resistência à compressão e absorção.

4.2.1 Resultados da análise dimensional

Os dados foram coletados conforme descrito na NBR 12118 (ABNT, 2014), em que para cada dimensão foram realizadas três leituras em pontos distintos. Após, foi calculada a média entre as medidas de cada ponto e comparadas com as tolerâncias admitidas.

A Tabela 27 apresenta os valores médios para o cimento CPIV e a Tabela 28 para o cimento CPV. Todos os valores encontram-se no Apêndice C. Ambos os blocos, produzidos com o CPIV e CPV, tiveram todos os valores aprovados para análise dimensional.

Tabela 27 – Dimensões médias (mm) dos blocos para o cimento CPIX.

Família	Bloco	Comprimento	Largura	Esp. Long.	Esp. Trans.	Altura
CPIX0	1	290,83	140,17	25,75	25,50	190,83
	2	291,00	140,50	25,88	26,33	191,83
	3	291,50	140,50	26,38	25,33	191,50
	4	290,33	141,33	26,00	25,33	189,87
	5	291,17	140,00	25,75	25,70	189,83
	6	290,67	139,83	25,63	25,17	192,00
CPIX5	1	290,50	140,50	25,65	24,67	188,50
	2	291,17	140,50	26	25,50	192,00
	3	291,33	140,33	25,75	25,67	192,00
	4	291,00	140,67	25,75	25,67	188,00
	5	291,33	139,83	25,75	25,00	191,83
	6	290,50	141,00	26	25,00	188,00
CPIX10	1	291,33	140,00	25,875	25,67	191,83
	2	290,00	140,17	25,625	25,17	190,17
	3	290,67	140,50	25,75	25,17	191,00
	4	291,33	140,17	25,5	25,17	191,83
	5	291,00	140,00	25,375	26,00	191,67
	6	290,00	140,33	25,75	25,33	189,17
CPIX15	1	290,83	140,00	25,75	25,50	190,83
	2	290,00	140,33	25,625	25,67	189,67
	3	290,67	140,33	25,25	25,83	190,33
	4	291,00	140,17	25,875	25,67	191,00
	5	291,00	140,17	26	25,50	190,00
	6	291,00	140,33	25,75	25,33	189,17

Tabela 28 – Dimensões médias (mm) dos blocos para o cimento CPV.

Família	Bloco	Comprimento	Largura	Esp. Long.	Esp. Trans.	Altura
CPV0	1	291,50	140,17	26,13	25,17	189,67
	2	291,50	140,83	26,00	25,33	189,00
	3	291,67	140,33	26,00	25,00	188,67
	4	291,17	140,33	25,63	25,83	189,00
	5	290,67	141,17	26,25	24,67	191,83
	6	290,67	140,00	26,00	25,00	188,67
CPV5	1	291,50	140,17	25,75	24,83	191,50
	2	291,50	140,17	25,75	25,33	192,00
	3	291,33	140,67	25,88	25,33	191,00
	4	291,33	140,17	26,13	25,00	190,33
	5	291,33	140,33	25,63	26,00	191,33
	6	291,17	140,17	26,38	25,17	188,67
CPV10	1	290,83	140,00	25,88	25,67	189,67
	2	290,33	140,00	25,75	25,67	190,33
	3	290,67	140,17	26,00	25,17	191,17
	4	290,67	140,50	26,13	25,33	190,00
	5	290,83	140,00	25,75	25,67	192,00
	6	291,00	140,00	26,00	26,00	189,00
CPV15	1	290,00	140,00	25,88	25,33	191,00
	2	291,00	140,00	25,75	25,33	191,17
	3	290,17	139,67	25,75	26,50	190,50
	4	289,83	140,83	26,00	24,83	189,17
	5	290,50	140,33	25,63	25,50	190,50
	6	290,00	139,67	25,63	25,33	191,00

4.2.2 Resultados da resistência à compressão

Os resultados médios do ensaio de resistência à compressão estão apresentados na Figura 28. Todos os valores encontram-se no Apêndice D.

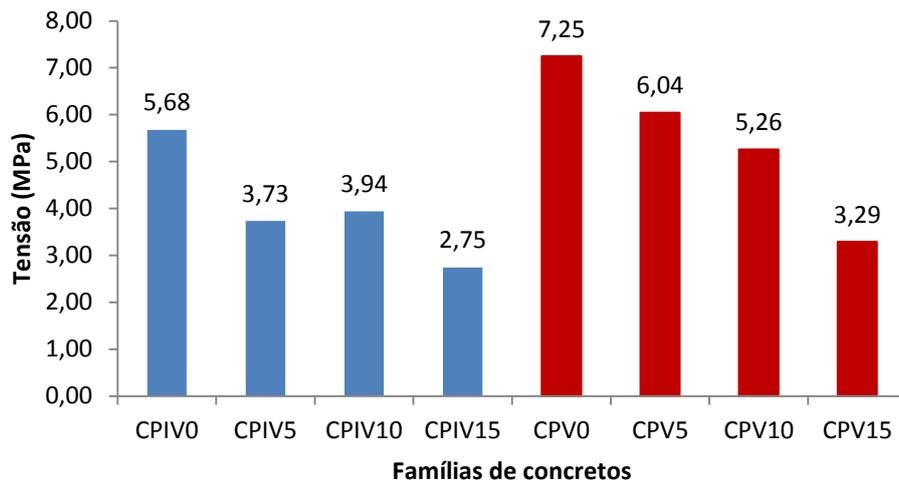


Figura 28: Médias da resistência à compressão das famílias de concreto.

Ao realizar-se a análise destes resultados, observa-se que os blocos produzidos com o cimento CPV obtiveram valores médios maiores em todas as famílias de traços analisados, apresentando diferença em torno de 28% entre os traços de referência, 62% nos traços com 5% de substituição, 33% para as famílias de 10% de CCA e 19% nos de 15%. A maior diferença foi observada entre os tipos de cimentos nas famílias de 5% de CCA, o que provavelmente seja decorrente da pureza do cimento CPV.

A avaliação dos resultados dos blocos de cimento CPIV (Figura 29) demonstrou uma redução de 35% do traço CPIV5 em relação à referência, de 30% entre CPIV0 e CPIV10 e superior a 50% entre a referência e 15% de CCA.

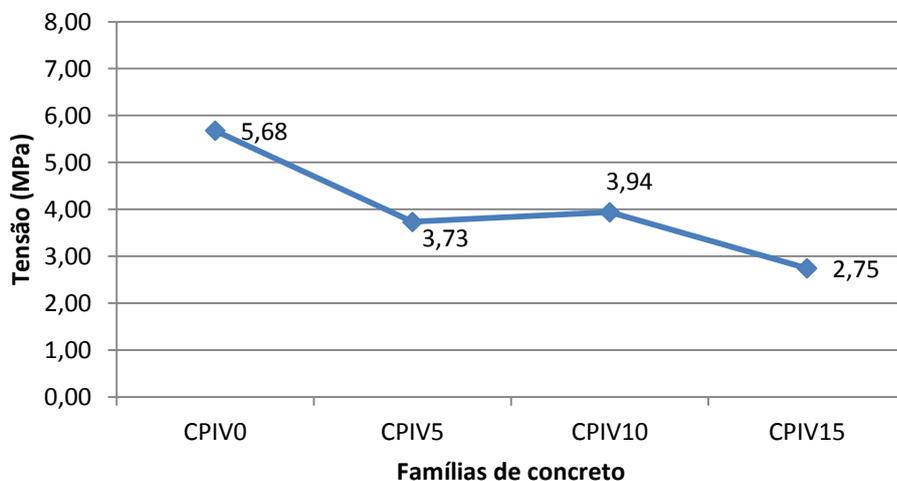


Figura 29: Resultados médios resistência à compressão para cimento CPIV.

O traço CPIV0 está classificado em blocos da classe B - peças mais pesadas e maiores, com, no mínimo, 14 cm de largura, considerados estruturais. Já os traços CPIV5 e CPIV10 ficaram na classe C ($f_{bk} \geq 3,0$ MPa). A Classe C permite blocos estruturais com paredes longitudinais e transversais mais finas, de 18mm. Os blocos de 9cm de largura podem ser usados na construção de imóveis de um pavimento, e blocos de 11,5cm de largura em edificações de dois pavimentos. A classificação C também permite o bloco sem função estrutural, ou seja, apenas de vedação. O traço CPIV15 ficou de fora de classificação para bloco estrutural.

O estudo dos blocos produzidos a partir do cimento CPV (Figura 30) mostrou que houve uma redução de resistência à compressão, quando comparado com a referência, de entorno 16%, 27% e 54%, para as famílias CPV5, CPV10 e CPV15, respectivamente.

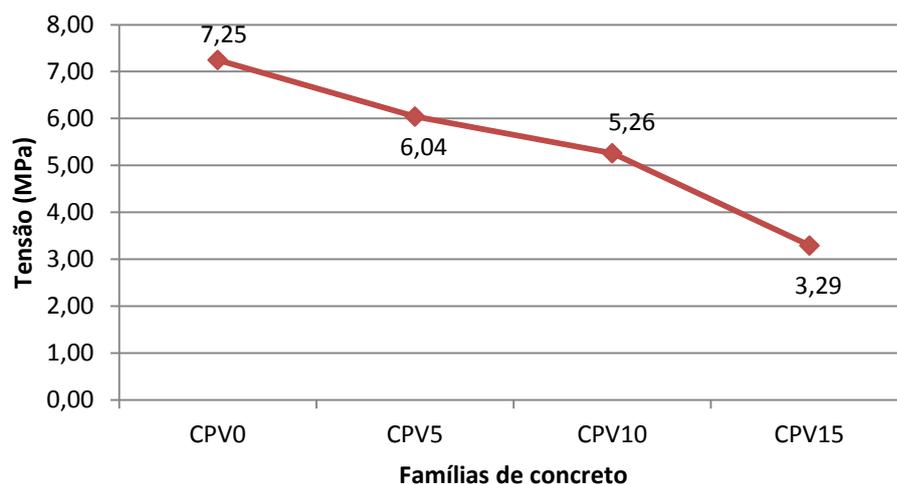


Figura 30: Resultados médios resistência à compressão para cimento CPV.

Para este tipo de cimento, os traços CPV0, CPV5 e CPV10 ficaram classificados na classe B ($4,0 \leq f_{bk} < 8,0$), apresentando uma resistência usual para utilização em alvenaria estrutural. O traço CPV15 foi classificado como de classe C, podendo ser utilizado, apesar das restrições da classe, diferentemente do mesmo traço para o cimento CPIV.

A partir destas avaliações comprova-se que a substituição de 15% na massa de cimento provoca uma queda de resistência à compressão, não sendo indicado a sua utilização.

Novamente foi aplicada a equação 2, indicada no capítulo 3, da NBR 6136 (ABNT, 2014), em cada família de traço. A Tabela 29 apresenta o resultado do cálculo do f_{bk} para cada família e a condição de verificação. Apenas os traços CPIV5 e CPIV10 não obedeceram a condição de verificação.

Tabela 29 – Resultados f_{bk} de cada família.

Família	f_{bk}	$f_{bk} > 0,89f_{b(1)}$	Condição
CPIV0	4,88	4,54	Ok
CPIV5	2,27	2,41	Não
CPIV10	1,96	2,60	Não
CPIV15	2,18	2,00	Ok
CPV0	5,60	5,04	Ok
CPV5	4,76	4,62	Ok
CPV10	4,49	4,08	Ok
CPV15	2,94	2,65	Ok

4.2.3 Resultados do ensaio de absorção

A partir dos resultados do requisito de resistência à compressão foi decidido pela retirada da família de 15% de substituição para execução do ensaio de absorção, pois os blocos desta família não poderiam ser utilizados com função estrutural, em função da significativa queda da resistência.

A Figura 31 apresenta os resultados do ensaio para os blocos de cimentos CPIV e CPV, para os traços de referência, 5% e 10% de substituição. As tabelas com todas as leituras de execução deste ensaio encontram-se no Apêndice E. É possível observar que o cimento CPV teve menor índice de absorção para as três famílias avaliadas. A família do CPIV teve um aumento na absorção de 3 e 17% entre o traço referência e os CPIV5 e CPIV10, respectivamente, mostrando grande similaridade entre o 0 e 5% de substituição de CCA. Nos traços que utilizaram o CPV, os ganhos foram de 5 e 33% entre o CPV0 e os CPV5 e CPV10, respectivamente. Portanto, apesar do CPV ter apresentado valores menores de absorção em relação ao CPIV, os aumentos de absorção foram superiores, no CPV, com o aumento da substituição de CCA.

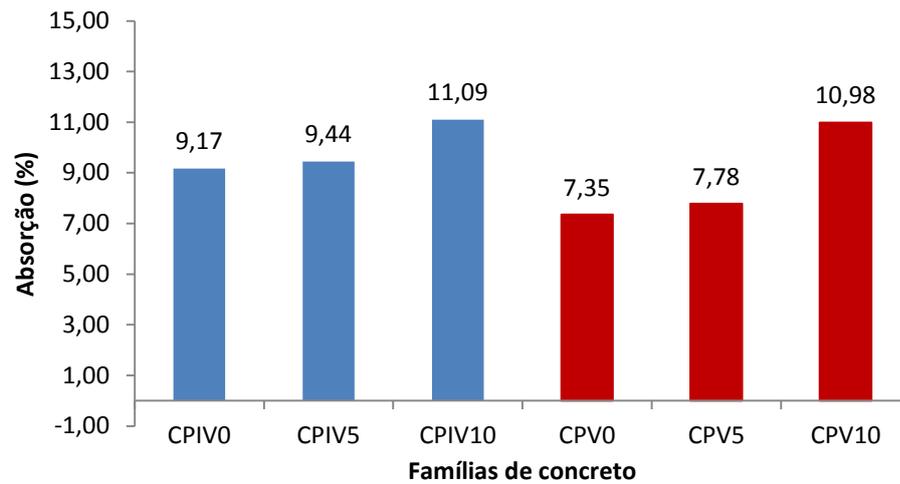


Figura 31: Resultados médios do ensaio de absorção.

4.2.4 Análise estatística da segunda etapa

Com os resultados obtidos durante a segunda etapa foi feito um tratamento estatístico utilizando o teste de análise de variância (ANOVA) de duas vias considerando como variáveis independentes o tipo de cimento (CPIV e CPV) e a proporção de CCA utilizada no cimento (0, 5, 10 e 15%). As variáveis dependentes das demais foram a tensão de cada bloco e a absorção, aos 30 dias. A Tabela 30 apresenta a média e desvio padrão da variável tensão e a Tabela 31, as mesmas informações, para a variável absorção, sendo que nesta última não foram testados blocos com 15% de CCA.

Tabela 30 – Análise descritiva do experimento avaliando Tensão (MPa) aos 30 dias

Cinza	Cimento	Média	Desvio padrão	N (n° elementos da amostra)
0%	CPIV	5,7533	0,54125	6
	CPV	7,1233	0,89077	6
	Total	6,4383	1,00285	12
5%	CPIV	3,7067	0,68078	6
	CPV	6,2733	1,07015	6
	Total	4,9900	1,58993	12
10%	CPIV	3,5917	0,54872	6
	CPV	5,2133	0,35865	6
	Total	4,4025	0,95527	12
15%	CPIV	2,7650	0,36544	6
	CPV	3,3150	0,30032	6
	Total	3,0400	0,42919	12
Total	CPIV	3,9542	1,23390	24
	CPV	5,4813	1,60593	24
	Total	4,7177	1,61324	48

Tabela 31 – Análise descritiva do experimento avaliando absorção (%) aos 30 dias

Cimento	Cinza	Média	Desvio padrão	N (n° elementos da amostra)
CPIV	0%	9,170	0,345	3
	5%	9,447	0,345	3
	10%	11,093	0,345	3
	Total	9,903	0,345	9
CPV	0%	7,350	0,345	3
	5%	7,777	0,345	3
	10%	10,983	0,345	3
	Total	8,703	0,345	9
Total	0%	8,26	0,345	6
	5%	8,612	0,345	6
	10%	11,038	0,345	6
	Total	9,303	0,345	18

A ANOVA de duas vias demonstrou que houve efeito das variáveis independentes, quais sejam o tipo de cimento (CPIV e CPV) e a proporção de CCA utilizada na substituição ao cimento (0, 5, 10 e 15%), nas médias das resistências dos blocos, indicado por $p < 0,001$ para todas as análises. A ANOVA de duas vias indicou, também, que houve interação significativa entre estas variáveis independentes, indicado por $p = 0,005$ mostrado na Tabela 32. Todos os resultados estão apresentados na tabela a seguir. Vale ressaltar aqui, que estes resultados

possuem um nível de confiança de 95% e o modelo explica 86,3% da variabilidade dos valores encontrados.

Tabela 32 – Variável dependente Tensão (MPa).

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	P
Modelo	105,576 ^b	7	15,082	36,033	0,000
Resíduo	1068,325	1	1068,325	2552,313	0,000
cinza * cimento	6,207	3	2,069	4,943	0,005
cinza	71,385	3	23,795	56,848	0,000
cimento	27,984	1	27,984	66,856	0,000
Erro	16,743	40	0,419		
Total	1190,644	48			
Total corrigido	122,319	47			

$$b = r^2 = 0,863$$

Em relação a variável dependente “absorção”, o teste de variância ANOVA de duas vias demonstrou que houve efeito significativo das variáveis independentes “tipo de cimento” (CPIV e CPV) e “proporção de CCA” utilizada (0, 5, 10 e 15%), nas absorções médias dos blocos de concreto, indicado por $p < 0,001$ para todas as análises, conforme resultados apresentados na Tabela 33. Desta maneira, rejeita-se a hipótese de médias iguais para a absorção, reiterando a influência das variáveis independentes nos resultados obtidos. A ANOVA de duas vias indicou, também, que houve interação marginalmente significativa entre estas variáveis independentes ($p = 0,054$, Tabela 33). Este modelo apresentou um coeficiente de determinação de 89,5% de confiabilidade.

Tabela 33 – Variável dependente “Absorção”.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	36,633 ^c	5	7,327	20,548	0,000
Resíduo	1557,936	1	1557,936	4369,407	0,000
Cimento	6,480	1	6,480	18,174	0,001
Cinza	27,463	2	13,732	38,512	0,000
cimento * cinza	2,690	2	1,345	3,772	0,054
Erro	4,279	12	0,357		
Total	1598,848	18			
Total corrigido	40,912	17			

$$b = r^2 = 0,895$$

O teste de comparações múltiplas - teste de Tukey – usado para avaliar a influência dos teores de CCA nas resistências (tensão) demonstrou que houve diferença significativa entre as médias das resistências dos blocos para todos os teores de cinzas de cascas de arroz ($p < 0,001$ para todas as comparações), com exceção dos percentuais de cinzas de 5% e 10% que não apresentaram diferença significativa entre eles ($p > 0,05$, Tabela 34). Os resultados desta análise apresentam uma confiança de 95%.

Tabela 34 – Variável dependente “Tensão” (teste de Tukey).

Cinza	Cinza	Diferença de média	Desvio padrão	p
0%	5%	1,4483*	0,26412	0,000
	10%	2,0358*	0,26412	0,000
	15%	3,3983*	0,26412	0,000
5%	0%	-1,4483*	0,26412	0,000
	10%	0,5875	0,26412	0,134
	15%	1,9500*	0,26412	0,000
10%	0%	-2,0358*	0,26412	0,000
	5%	-0,5875	0,26412	0,134
	15%	1,3625*	0,26412	0,000
15%	0%	-3,3983*	0,26412	0,000
	5%	-1,9500*	0,26412	0,000
	10%	-1,3625*	0,26412	0,000

Já a aplicação do teste de Tukey para a variável “absorção” demonstrou que não houve diferença significativa nas médias de absorção entre os teores de 0 e 5% de cinzas de cascas de arroz ($p > 0,05$), o que demonstra que a utilização de 5% de CCA não apresenta diferença quando comparados com os blocos de referência. Ademais, a análise mostra que houve diferença significativa entre os valores médios de absorção dos blocos com teores de 0% e 10%, e, também, 5% e 10% de cinzas de cascas de arroz ($p < 0,001$, Tabela 35).

Tabela 35 – Variável dependente “Absorção” (teste de Tukey).

Cinza	Cinza	Diferença de média	Desvio padrão	Sig.
0%	5%	-0,3517	0,34475	0,579
	10%	-2,7783*	0,34475	0,000
5%	0%	0,3517	0,34475	0,579
	10%	-2,4267*	0,34475	0,000
10%	0%	2,7783*	0,34475	0,000
	5%	2,4267*	0,34475	0,000

5 Conclusões e considerações finais

Neste trabalho foi apresentado um estudo sobre a influência da cinza de cascas de arroz (CCA) nas propriedades de blocos de concreto usados na construção civil, para a elevação de alvenarias. Após todas as etapas cumpridas durante as fases de elaboração desta pesquisa, puderam ser formuladas algumas conclusões sobre o desempenho destes elementos, as quais são apresentadas conforme segue.

Inicialmente, fazendo-se uma síntese dos resultados obtidos, observou-se que a substituição parcial do cimento Portland pela CCA introduziu alterações significativas tanto no comportamento mecânico (resistência à compressão) quanto no comportamento físico (absorção por imersão). Também, formulando uma resposta à hipótese do trabalho, concluiu-se que a substituição parcial de diferentes teores de CCA produziu um material que atendeu as exigências das normas brasileiras, viabilizando um uso com um viés sustentável ao resíduo que seria descartado no meio ambiente.

Analisando os resultados da primeira etapa deste trabalho, ou seja, blocos de concreto sem substituição do aglomerante, observou-se que todos os blocos produzidos puderam ser classificados como elementos a serem usados em projetos de alvenaria estrutural, com classificações A ou B. Assim, colaborou-se na consolidação da metodologia de dosagem usada nesta pesquisa. Também, que as proporções entre o aglomerante e os agregados, como já era esperado, influenciou tanto em termos de custo quanto de comportamento dos elementos analisados.

No diz respeito aos tipos de cimentos usados na produção de blocos de concreto, observou-se que há uma relação direta entre o tipo de aglomerante e o comportamento do material. Fazendo-se uma análise dos tipos de cimento usados neste trabalho, notou-se que houve mudanças significativas, em termos de comportamento mecânico, dos blocos produzidos a partir do cimento CPIV em relação aos demais (CPII F 32 e CPV-ARI).

Entretanto, os resultados demonstraram que não houve diferença relevante entre as médias das resistências dos blocos de CPII e CPV, levando-se, para a segunda etapa deste trabalho, a utilização de somente os cimentos CPIV e CPV para a produção dos blocos. Uma explicação possivelmente aceita para a diferença entre os comportamentos dos blocos de CPIV em relação ao CPII e CPV é que o primeiro possui uma maior quantidade de adições minerais na sua composição quando comparado aos outros dois. É importante salientar aqui, que estas conclusões estão respaldadas por uma análise estatística de variância, com um nível de confiança de 95%.

Ao passar-se, agora, para as considerações da segunda etapa deste trabalho, ou seja, a análise de blocos de concreto com CCA, concluiu-se que a incorporação do resíduo não alterou as características geométricas dos blocos, o que é facilmente compreendido. Entretanto, houve mudanças tanto de caráter físico quanto mecânico.

Ao se fazer uma síntese dos resultados em termos de resistência à compressão, observou-se melhor comportamento, para todos os traços, dos blocos produzidos com o CPV, quando comparados aos dos blocos de CPIV. Ademais, todos os blocos produzidos com o CPV, com diferentes substituições ou sem CCA, puderam ser classificados como elementos a serem usados em alvenaria estrutural devido à obtenção de resistências superiores a 3MPa. O mesmo não pode ser dito para os blocos de CPIV com 15% de substituição do aglomerante por CCA, pois os mesmos obtiveram resistência média inferior a 3MPa. Entretanto, salienta-se a grande perda de capacidade resistente dos blocos com 15% de substituição, tanto para o CPV quanto para o CPIV, recomendando que sua utilização seja feita somente para alvenarias de vedação.

Outro fato extremamente importante observado durante a pesquisa, é que a substituição de aglomerante por CCA provocou perda na capacidade resistente dos blocos. Isso pode ter acontecido devido a não reatividade da CCA, ou seja, ser um material de característica cristalina, indicado pelo ensaio de difração de raios x. Também se constatou, através da análise estatística, que não houve diferença significativa entre as médias das resistências dos blocos com substituição de 5 e 10%, indicando comportamento mecânico semelhante destes elementos.

Ao analisar-se agora o comportamento físico (absorção) estudado nesta dissertação, pode-se estabelecer algumas considerações.

Ao encontro do que aconteceu com o comportamento mecânico, os resultados de absorção mostraram melhor comportamento dos blocos produzidos com o CPV quando comparados aos valores de absorção dos blocos de CPIV. Enfatiza-se aqui, que melhor comportamento significa menores absorções de água, o que pode refletir, possivelmente, em menores chances de surgimento de manifestações patológicas. Este fato não pode ser tratado como uma conclusão definitiva deste trabalho, pois isso deve ser comprovado com análises de durabilidade deste material, que não foi objetivo desta pesquisa.

Ainda com relação à absorção concluiu-se, com base nos resultados encontrados da análise estatística, que a substituição parcial do aglomerante por CCA provocou queda de desempenho, independentemente do tipo de cimento utilizado, quando comparados os valores dos blocos de referência para os blocos com 10% de CCA. Ao contrário disso, a análise de variância indicou que entre as médias dos blocos referência e dos blocos com 5% de CCA não houve diferença significativa, independentemente do tipo de cimento, o que se sugere que esta porcentagem de substituição não causaria queda de desempenho em relação aos blocos de concreto sem substituição. Vale lembrar aqui que a NBR 6136 (ABNT, 2014) estabelece como requisito que a absorção média para blocos de concreto classificados como “B” seja no máximo de 8% e dos blocos “C” não superior à 10%. Desta maneira, somente os blocos CPIV5, CPV0 e CPV5 cumpriram com as exigências normativas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Desta pesquisa, podem ser deixadas sugestões para trabalhos futuros conforme segue:

1. Efetuar outros teores de substituição de aglomerante por CCA para identificar qual o limite que permita que ainda o bloco seja usado estruturalmente;
2. Testar a adição de CCA para teores maiores, com finalidade que retirar o produto do meio ambiente, mas que ainda assim mantenha a qualidade dos blocos;

3. Realizar testes quanto à durabilidade deste tipo de concreto, para verificar se o uso da CCA provoca ou não um aumento do surgimento de manifestações patológicas neste material;
4. Executar ensaios que identifiquem como fica a matriz cimentícia deste concreto com CCA, visto que a maior parte dos estudos utilizam concretos não considerados “secos”;
5. Moldar blocos de concreto com outros resíduos para testar a potencialidade do uso e também testar os comportamentos de blocos com resíduos;
6. Realizar uma avaliação quanto a parâmetros de desempenho térmico e acústico destes blocos com utilização de cinza de casca de arroz.

Referências Bibliográficas

AGARWAL, S. K. **Pozzolanic activity of various siliceous materials.** Cement and Concrete Research, v.36, p.1735-1739, 2006.

ALY, V. L. C. **Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria de blocos de concreto submetidos à esforços de compressão.** 1992. 247p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria.** 1ª Ed. Sao paulo : Abci/projeto/pw , 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água:** NBR NM 53. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** NBR NM 30. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutura – Método de ensaio: Análise dimensional e determinação da absorção de água, da resistência à compressão e da retração por secagem.** NBR 12118. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural - Requisitos**. NBR 6136. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. NBR NM 23. Rio de Janeiro, 2001. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos - Classificação**. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.

BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Contribuição à Implementação da Coordenação Modular da Construção no Brasil**. 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BARBOSA, C. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BARBOZA, A. S. R.; BARBIRATO, J. C. C.; SILVA, M. M. C. P. Avaliação do uso de bambu como material alternativo para a execução de habitação de interesse social. **Ambiente Construído**, v.8, p.115-129, 2008.

BEZERRA, Augusto Cesar da Silva. **Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concretos: Uma análise experimental e computacional**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2007.

BRAVO, Rafael Segantini. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira. 2014.

BUI, D. D.; HU, J.; STROEVEN, P. Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. **Cement and Concrete Composites**, v.27, p.357-366, 2005.

CEMBUREAU. **Key Facts & Figures**. Disponível em: <<http://www.cembureau.eu/about-cement/key-facts-figures>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

CISSE, I. K; LAQUERBE M.. Mechanical characterization of filler sandcretes with rice husk ash additions: study applied to Senegal. **Cement and Concrete Research**, 30, 13-18, 2000.

CORDEIRO, G. C. **Influence of Particle Size and Specific Surface Area on the Pozzolanic Activity of Residual Rice Husk Ash**. *Cement and Concrete Composites*, v. 33, n. 5, p. 529-534, 2011.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agroindustriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, v.10, p.22-25, 2005.

DI CAMPOS, M. S.; BARBOSA, N. P.; SAVASTANO Jr., H. Swine deep bedding ashes as a mineral additive for cement based mortar. **Scientia Agricola**, v.65, p.109-115, 2008.

DRYSDALE, R. G.; HAMID, A. A.; BAKER, L. R. **Mansory Structures – Behavior and Design**. 2. Ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall. 888 p. 2012.

FELIPE, Alexandro dos Santos. **Contribuição para a otimização de traços de concreto utilizados na produção de blocos estruturais**, 2010. 158p. Dissertação (Mestrado em estruturas) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. 2010.

FENG, Q., LIN, Q., GONG, F., SUGITA, S., SHOYA, M. Adsorption of lead and mercury by rice husk ash. **Journal of Colloid and Interface Science**, 278(1), 1-8. 2004.

FERNANDES, Idário. **Blocos e Pavers – Produção e controle de qualidade**. 6ª edição. 2015, 200 pag. Ed Treino Assessoria e Treinamentos Empresarias Ltda. 2015.

FERREIRA JUNIOR, S. **Produção de blocos de concreto para alvenaria – Prática recomendada**. Boletim Técnico 103. São Paulo, São Paulo, 1995.

FOLETTTO, Edson Luiz, HOFFMANN, Ronaldo, HOFFMANN Rejane Scopel, PORTUGAL JR., Utinguassú Lima, JAHN, Sérgio Luiz. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Quim. Nova**, Vol. 28, No. 6, 1055-1060, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Rice Market Monitor**, v. 16, n. 1, Jan. 2013..

FORTES, Ernesto Silva. **Influência do capeamento e caracterização da resistência a compressão de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2012, 303 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2012.

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. São Paulo: USP, 1992. 319p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992.

FRASSON JUNIOR, A. **Metodologia de dosagem e processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2000.

FRASSON JÚNIOR, A.; OLIVEIRA, A. L. ; PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.. Metodologia de dosagem para blocos de concreto empregados em alvenaria estrutural - Parte 1. **Caderno técnico alvenaria estrutural**, v. 25, p. 31-38, 2008.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v.22, p.1675-1683, 2008.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.107-114, 2005.

GUEDERT, Luis Otavio. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza de casca de arroz com material pozolânico**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. 1989.

GUMIERI, Adriana Guerra. **Utilização de resíduos gerados na fabricação de blocos de concreto, no momento de prensagem, para confecção de micro concreto**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

HENDRY, A.W. **Engineered design of masonry buildings: fifty years development in Europe**. Prog. Struct. Eng. Mater. 2002; 4:291–300. University of Edinburgh, Scotland.

HWANG, C. L.; CHANDRA, S. The Use of Rice Husk Ash in Concrete. In: CHANDRA, S. (Ed.). **Waste Materials Used in Concrete Manufacturing**. Delhi: Standard Publishers Distributors, p. 184-234. 2002.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ. **Safras**. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

ISAIA, G. C.. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. v. 2. 1710p. 2007

ISAIA, G. C.; ZERBINO, R. L.; GASTALDINI, A. L. G.; SENSALÉ, G. R. **Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural (parte II): durabilidade**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 233-252, abr./jun. 2017.

ISAIA, G.C. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de Pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão de armadura**. São Paulo, 1995. 280 p. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1995.

ISAIA, Geraldo Cechella; GASTALDINI, Antonio Luiz Guerra; MEIRA, Leticia; DUART, Marcelo; ZERBINO, Raul. 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, n. 1, p. 121-137. 2010.

ISMAIL, M. S, WALIUDDIN A. M, Effect of rice husk ash on high strength concrete. **Construction and Building Materials** 10 (7): 521-526. 1996.

IZQUIERDO, O. S. **Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto**. São Carlos, 2011. 179p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2011.

JAMES, J.; SUBBA RAO, M. Reactivity of Rice Husk Ash. **Cement and Concrete Research**, v. 16, n. 3, p. 296-302, 1986.

KIELING, A.; CAETANO, M. O.; KULAKOSWKI, M. P.; KAZMIERCZAK, C. S. Influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento. **Ensaio Tecnológicos**, v.5, p.157-170, 2009.

KILINÇKALE, F. M., The effect of MgSO₄ and HCl solutions of the strength and durability of pozzolan cement mortars. **Cement and concrete Research**, vol 27 nº12pp. 1911-1918, 1997.

LIMA, José Antonio Ribeiro. et al. **Manual Resíduos de Construção : da geração à destinação responsável**. Salvador: SENAI-BA, 2007. 20 p.

LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A. Estudo das características químicas e físicas da conza da casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios. **Acta Scientiarum Technology**, v.32, p.383-389, 2010.

LORDSLEEM JR., Alberto Casado; A.C.; PÓVOAS, Yeda Vieira ; SOUSA, Rubia Valéria Rodrigues; SILVA, Claudia Flaviana Cavalcante. Blocos de concreto para vedação: estudo da conformidade através de ensaios laboratoriais. **Anais... XXVIII Encontro nacional de engenharia de produção**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

MARTIS, H. F. **Resistência ao cisalhamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MAURÍCIO, R. M.; CAMACHO, J. S.; ANDOLFATO, R. P. Resistência à compressão axial de blocos de concreto capeados com diferentes materiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46. 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004. v.6, p. 1271-1280. 2004.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. Dissertação (Mestrado), São Paulo, São Paulo, 1993.

MEDEIROS, J. S.; DORNELLES, V.P.; FRANCO, L. S. **Blocos de concreto para a alvenaria estrutural: avaliação de parâmetros básicos de produção**. Florianópolis, Santa Catarina, 1994.

MEHTA, P. K. Properties of Blended Cements Made from Rice Husk Ash. **ACI Journal**, v. 74, n. 40, p. 440-442, 1977.

MEHTA, P. K. **Sulfate attack on concrete: a critical review**, **Materials Science of concrete**. III, Ed. J. Skalny, American Ceramic Society, pp 105-30, 1994.

MENEZES, R. R.; FAGURY NETO, E.; FERNANDES, M. C.; SOUTO, P. M.; KIMINAMI, R. H. G. A. Obtenção de mulita porosa a partir da sílica da casca de arroz e acetato de alumínio. **Revista Cerâmica**, v.54, p.245-252, 2008.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; Ferreira, Heber C.; O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.303-313, 2002.

NAIR, D. G.; JAGADISH, K. S.; FRAAIJ, A. Reactive pozzolanas from rice husk ash: an alternative to cement for rural housing. **Cement and Concrete Research**, v.36, p.1062-1071, 2006.

NEHDI, M.; DUQUETTE, J.; EL DAMATTY, A. Performance of Rice Husk Ash Produced Using a New Technology as a Mineral Admixture in Concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 3, n. 5, p. 1203-1210, 2003.

OSAMA A. A.; AMEED, A. S. **The Effect of Capping Condition on the Compressive Strength of Concrete Hollow Blocks**. Na-Najah Universidade J. Res. (N. Sc), Vol. 17(1), 2003.

PADILHA, S.A.; PALIGA, C.M.; TORRES, A.S. Estudo comparativo da resistência à compressão de blocos de concreto produzidos com diferentes cimentos e dosados em ambiente de fábrica. **REEC – Revista eletrônica de engenharia civil**, vol 13, n2, 184-195, 2017.

PEREIRA, A. M.; SILVA, C. A. R.; QUEIROZ, D. C. A.; MORAES, M. J. B.; MELGES, J. L. P.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L. Estudo das propriedades mecânicas do

concreto com adição de cinza de casca de arroz. **Revista Matéria**, v.20, n.1, pp. 227– 238, 2015.

POLLET, V. et al. Recycled aggregates: alternative resources for the construction industry. In: International Conference Buildings and the Environment. P. 635-642. **Proceedings**. Paris, 1997.

POON, C. S.; CHAN, D. Paving Blocks made with recycled concrete aggregate and crushed Clay brick. **Construction and Building Materials**. v. 20, n. 8, p 569-577, 2006.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento de Cinza de Casca de Arroz Residual Com Vistas a Produção de Cimento Composto e/ou Pozolânico**. Porto Alegre, 2006. 329 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PRUDÊNCIO JR, L. R. **Resistência à Compressão da Alvenaria e Correlação entre a Resistência de Unidades, Prismas e Paredes Mestrado em Engenharia**. 1986. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil. 1986.

PRUDÊNCIO JR, L. R; OLIVEIRA, A. L; FRASSON JUNIOR, A. **Metodologia de dosagem para blocos concreto empregados em alvenaria estrutural**. Santa Catarina, 2000.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; SANTOS, S.; DAFICO, D. A. Cinzas da casca de arroz. **Coletânea Habitar: Utilização de resíduos na construção civil**. Editora Programa de Tecnologia de Habitação, vol. 4, 242-246p, Porto Alegre – RS: ANTAC, 2003.

RAMALHO, M.; CORREA, M. R. S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RAMEZANIANPOUR, A. A.; MAHDIKHANI, M.; AHMADIBENI, Gh. The effect of rice husk ash on mechanical properties and durability of sustainable concretes. **International Journal of Civil Engineering**, v.7, p.83-91, 2009.

RASHID, M. H.; MOLLA, M. K. A.; AHMED, T. U. Mortar incorporating rice husk ash: strength and porosity. **European Journal of Scientific Research**, v.40, p.471-477, 2010.

REGO, J. H. S. **As Cinzas de casca de arroz (CCAs) amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento** - PECC-UnB 2004, 274p. Tese de Doutorado. 2004.

RICHTER, Cristiano. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda : uma análise da confiabilidade e da conformidade**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem do Concreto**. São Paulo, São Paulo, 1995.

RODRIGUES, S. G. **High Performance Concrete With Residual Rice Husk ash**. In: DHIR, K. R.; NEWLANDS, M.; PAINE, K. (Eds.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM DEDICATED TO PROF. SURENDRAH SHAH, Dundee, 2003. Proceedings... London: Thomas Telford, 2003.

ROMAN, Humberto Ramos et al. **Manual de Análise de Alvenaria Estrutural da Caixa Econômica Federal**. Florianópolis: NPC (Núcleo de Pesquisa em Construção Universidade Federal de Santa Catarina); GDA (Grupo de Desenvolvimento de Sistemas de Alvenaria Universidade Federal de Santa Catarina) e FEESC (Fundação de Ensino de Engenharia em Santa Catarina), 2004.

SANTOS, Carlos Eduardo de Oliveira, **Análise de blocos estruturais de concreto utilizando a técnica da ultrassonografia**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. 2011.

SCOTT HOOD, Rogério da Silva, **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), 150p. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2006.

SENSALE, G. R. B. **Estudo Comparativo Entre as Propriedades Mecânicas dos Concretos de Alta Resistência e Convencionais Com Cinza de Casca de Arroz**. Porto Alegre, 2000. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SENSALE, R. & DAL MOLIN, D.C.C. Study of influence of rice-husk ash on compressive strength of concrete at different ages. SP 186-13. **Proceedings: High-Performance Concrete. Performance and Quality of Concrete Structures. Second CANMET/ACI International Conference. Gramado, Brazil, 1999, p. 213-224. 1999.**

SILVA, F. A. A.; **Proposta de morfologia racional de peças cerâmicas para aplicação em alvenaria estrutural**. 2005.163 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense. 2005.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Produção Nacional de Cimento por Regiões e Estado**. Disponível em: <http://www.snic.org.br/numeros/produ%C3%A7ao-regional-2012.htm>>. Acesso em: 16 nov. 2016

SOTO IZQUIERDO, I. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

SOUZA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 2008. 124p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. Tradução e revisão técnica Pedro Consentino, Ed 3. São Paulo: Makron Books, 1993, p. 369.

SUGITA, S.; SHOYA, M.; TOKUDA, H. **Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLYASH, SILICA FUME, SLAG AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, 4., Istanbul, 1992. Proceedings... Istanbul, 1992.

TANGO, C. E. S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, São Paulo, 1984.

TASHIMA, M. M. SILVA C. A. R. AKASAKI, J. L. BARBOSA, M. B. Influence of rice husk ash in mechanical characteristics of concrete. **In: IV International ACI/canmet conference on quality of concrete structures and recent advances in concrete materials and testing**. 2005. P. 780-790. 2004.

TORRES, A.S. 2011 **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil, 2011.

TUAN, B. L-A. **The use of black rice husk ash in concrete**. Saarbrücken: Lambert, 2012.

WEBER, Silvana Leonita. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz**. 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2001.

ZECHMEISTER, Dóris. **Estudo para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil. 2005.

ZERBINO, R.; GIACCIO, G.; ISAIA, G. C. Concrete incorporating Rice husk ash without processing. **Construction & Building Materials**, v.25, p.371-378, 2011.

ZHANG, M.-H.; MALHOTRA, M. High- Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash as a Supplementary Cementing Material. **ACI Materials Journal**, v. 93, n. 6, p. 629-636, 1996.

APÊNDICE A – Primeira etapa – Análise dimensional

Família	Bloco	Comprimento	Largura	Esp.		Altura	Média					
				Longitudinal	Transversal		Comprimento	Largura	Esp longitudinal	Esp. Transversal	Altura	
CPII 1:6	1	291	140	29	29	31	187	291,0	140,3	31,8	30,8	187,5
		291	140,5	39	30	30,5	188					
	2	291	140,5	29,5	30,5	30,5	186	290,8	140,3	30,1	30,5	186,8
		290,5	140	30,5	30	30,5	187,5					
	3	290,5	140,5	30,5	28	30,5	187	290,8	140,3	29,6	29,8	187,5
		291	140	29,5	30,5	29	188					
	4	291	140,5	29	31	31	187,5	291,0	140,5	30,4	31,5	188,3
		291	140,5	31	30,5	32	189					
	5	291,5	141	28	31	28,5	189	291,8	141,0	30,8	29,8	189,0
		292	141	32	32	31	189					
	6	292	140	32	31,5	30	187	291,8	140,5	31,0	30,0	187,5
		291,5	141	30,5	30	30	188					
CPII 1:8	1	290,5	140,5	30	30	30	187	291,0	140,3	29,8	30,0	187,5
		291,5	140	31	28	30	188					
	2	292	140,5	30,5	30,5	29	191	292,3	140,5	30,3	29,3	190,5
		292,5	140,5	30,5	29,5	29,5	190					
	3	291	140,5	28,5	30,5	30,5	192	290,8	140,5	29,4	30,8	191,8
		290,5	140,5	29,5	29	31	191,5					
	4	291	140,5	28	31,5	29,5	190,5	291,5	140,8	29,6	29,5	190,3
		292	141	30,5	28,5	29,5	190					
	5	290,5	140,5	29	30	28,5	188	291,3	140,5	29,3	29,8	187,5
		292	140,5	30	28	31	187					
	6	291	140	30,5	31,5	30	190,5	291,5	140,8	30,1	30,8	190,5

		292	141,5	29,5	29	31,5	190,5					
CPII 1:10	1	291	141	30,5	30	31	183	291,5	141,0	29,9	30,0	181,0
		292	141	31	28	29	179					
	2	291	140,5	29,5	30,5	30,5	191,5	291,3	140,5	29,6	30,8	190,3
		291,5	140,5	29,5	29	31	189					
	3	292	141	29,5	31	31	191	292,3	141,0	30,5	31,0	191,3
		292,5	141	31	30,5	31	191,5					
	4	291,5	140,5	29,5	29,5	30,5	190,5	291,5	140,8	29,5	30,5	189,5
		291,5	141	29,5	29,5	30,5	188,5					
	5	291,5	140	29,5	30	30,5	193	291,5	140,3	29,6	30,3	193,3
		291,5	140,5	29,5	29,5	30	193,5					
	6	291,5	140	28,5	31	30,5	191	292,0	140,5	30,3	29,5	190,8
		292,5	141	31	30,5	28,5	190,5					
CPIV 1:6	1	291,5	140,5	30	29,5	31	189,5	291,3	140,5	29,5	30,8	189,5
		291	140,5	29,5	29	30,5	189,5					
	2	291	140,5	29	31	30,5	192,5	291,3	141,0	30,0	31,3	192,8
		291,5	141,5	29	31	32	193					
	3	292	140,5	30	31,5	29	187,5	292,3	141,3	30,4	29,5	187,8
		292,5	142	28,5	31,5	30	188					
	4	290,5	140,5	29	29,5	28,5	188	290,8	140,5	29,1	29,0	188,0
		291	140,5	28	30	29,5	188					
	5	290,5	140	28,5	30	31,5	193,5	291,0	140,0	29,0	31,5	192,8
		291,5	140	28,5	29	31,5	192					
	6	292	140,5	28	31,5	30,5	194	292,3	140,5	30,3	29,8	193,8
		292,5	140,5	30	31,5	29	193,5					
CPIV 1:8	1	292	141	28	30	31	187	292,0	140,8	28,9	31,0	187,5
		292	140,5	28,5	29	31	188					

	2	291,5	141	28,5	30	31	188,5	291,8	141,0	29,1	31,0	188,8	
		292	141	29	29	31	189						
	3	290,5	140	29	30	31	188	290,8	140,0	29,8	31,0	188,5	
		291	140	30	30	31	189						
	4	291	140,5	30	28,5	30	186	291,0	140,5	28,9	30,0	186,5	
		291	140,5	29	28	30	187						
	5	291	140	29	29	32	188	291,3	140,3	29,5	31,8	188,5	
		291,5	140,5	29,5	30,5	31,5	189						
	6	291	141	30,5	28	30	188	291,0	140,8	29,1	30,3	188,3	
		291	140,5	29	29	30,5	188,5						
	CPIV 1:10	1	290,5	140	27	29	30	188	290,8	140,3	29,1	29,8	187,5
			291	140,5	30	30,5	29,5	187					
2		290	140	28,5	29,5	30	188,5	290,3	140,3	29,8	29,5	188,3	
		290,5	140,5	30	31	29	188						
3		291,5	140,5	28,5	28,5	30,5	188	291,5	140,5	28,9	30,5	188,8	
		291,5	140,5	29,5	29	30,5	189,5						
4		291	140,5	29	30	31	188,5	291,3	140,5	29,6	30,8	188,8	
		291,5	140,5	31	28,5	30,5	189						
5		291	140	29	30	29	188	291,0	140,0	30,3	29,8	189,0	
		291	140	31	31	30,5	190						
6		290,5	140,5	28	30	28,5	187	290,8	140,5	29,5	29,3	187,5	
		291	140,5	30	30	30	188						
CPV 1:6	1	290,5	140,5	29,5	30,5	31	189	290,8	140,3	29,9	31,3	189,0	
		291	140	30	29,5	31,5	189						
	2	291,5	141	28	30,5	30,5	190,5	291,5	141,0	29,9	29,8	191,0	
		291,5	141	31	30	29	191,5						
	3	291	140,5	28,5	31	30	192	291,0	140,8	29,5	30,8	192,0	

		291	141	29,5	29	31,5	192						
	4	291	140	29	29,5	30,5	189						
		290,5	140,5	29	29	30	189	290,8	140,3	29,1	30,3	189,0	
	5	291,5	140	28,5	31	30	193						
		292	140	30	31	29	192	291,8	140,0	30,1	29,5	192,5	
	6	290,5	141	29	30	29,5	188,5						
		291	140,5	31	28	30	189	290,8	140,8	29,5	29,8	188,8	
CPV 1:8	1	291	140,5	29	30	30,5	191						
		291	140	29,5	29,5	31	189,5	291,0	140,3	29,5	30,8	190,3	
	2	291,5	141	28	31	31,5	189						
		292	140	31	30	29,5	188	291,8	140,5	30,0	30,5	188,5	
	3	292	140	29,5	30,5	29,5	189						
		292	140,5	30,5	28	30	187,5	292,0	140,3	29,6	29,8	188,3	
	4	292	140,5	28,5	31	32	189,5						
		291,5	141	29	29,5	31,5	191	291,8	140,8	29,5	31,8	190,3	
	5	292	141,5	31	29	31,5	193						
		292	140	29	31	32	192	292,0	140,8	30,0	31,8	192,5	
	6	291	140,5	28,5	31,5	31	189,5						
		291,5	141	29,5	30,5	30,5	190,5	291,3	140,8	30,0	30,8	190,0	
	CPV 1:10	1	291	140,5	31	29,5	28,5	192					
			292	140	28	30,5	29,5	192,5	291,5	140,3	29,8	29,0	192,3
2		290,5	140,5	29	30	31,5	193,5						
		291	140	30,5	29,5	31,5	194	290,8	140,3	29,8	31,5	193,8	
3		291,5	140,5	30,5	31	30	190						
		292	140,5	29	30,5	28,5	190	291,5	140,5	30,3	29,3	190,0	
4		291	140,5	28	30,5	30	191						
		292	140,5	30,5	29,5	29	190,5	291,5	140,5	29,6	29,5	190,8	

5	290,5	140	30	30,5	28,5	189,5	291,3	140,3	29,4	29,3	189,8
	291	140,5	28	29	30	190					
6	291,5	140	30,5	28	30	191,5	291,0	140,0	29,4	30,5	191,5
	290,5	140	29,5	29,5	31	191,5					

APÊNDICE B – Primeira etapa – Resistência à compressão

Cimento	Família	cp	9 dias			30 dias		
			Carga (kN)	Tensão (Mpa)	Média (Mpa)	Carga (kN)	Tensão (Mpa)	Média (Mpa)
CPII	1:6	1	408,6	10,06	10,28	448,5	11,05	10,02
		2	439,1	10,82		507,6	12,50	
		3	404,3	9,96		383,2	9,44	
		4				399,4	9,84	
		5				440	10,84	
		6				363,7	8,96	
	1:8	1	301,2	7,42	7,43	333	8,20	9,21
		2	313,8	7,73		361,4	8,90	
		3	290,1	7,15		387,3	9,54	
		4				398,4	9,81	
		5				345,7	8,51	
		6				418,3	10,30	
	1:10	1	240,9	5,93	6,72	151,8	3,74	6,28
		2	217	5,34		207,6	5,11	
		3	184,9	8,89		247,1	6,09	
		4				259,4	6,39	
		5				329,9	8,13	
		6				230,8	5,68	
CPIV	1:6	1	257,4	6,34	6,90	410,3	10,11	11,07
		2	306,1	7,54		456,5	11,24	
		3	277,2	6,83		480,7	11,84	
		4				440,2	10,84	
		5				459,6	11,32	

		6				367,6		
	1:8	1	367,7	9,06	8,01	505,6	12,45	11,39
		2	326,8	8,05		405,3	9,98	
		3	281,1	6,92		452,3	11,14	
		4				506		
		5				474,2	11,68	
		6				474,6	11,69	
	1:10	1	263,8	6,50	6,79	281,4	6,93	6,81
		2	268	6,60		276	6,80	
		3	295,6	7,28		289,5	7,13	
		4				286,1	7,05	
		5				279,1	6,87	
		6				248	6,11	
CPV	1:6	1	239,9	5,91	9,25	539,8	13,30	11,90
		2	438,9	10,81		427,3	10,52	
		3	447,4	11,02		508	12,51	
		4				566,5	13,95	
		5				470,3	11,58	
		6				386,5	9,52	
	1:8	1	244	6,01	5,85	262,3	6,46	7,08
		2	249,1	6,14		272,9	6,72	
		3	219	5,39		226,5	5,58	
		4				278,9	6,87	
		5				377,2	9,29	
		6				307,3	7,57	
	1:10	1	196,4	4,84	5,11	227,7	5,61	5,58
		2	135,4	6,51		242,4	5,97	

	3	162,2	4,00		243	5,99
	4				204,5	5,04
	5				240,9	5,93
	6				199,9	4,92

APÊNDICE C – Segunda etapa- Análise dimensional

Família	Bloco	Comprimento	Largura	Esp. Longitudinal		Esp. Transversal	Altura	Média				
				Comprimento	Largura			Esp longitudinal	Esp. Transversal	Altura		
CPIV0	1	290,5	140	26,5	25	26	191,5	290,83	140,17	25,75	25,5	190,83
		291,5	140	26,5	25	26	190,5					
	2	290,5	140,5			24,5	190,5	291,00	140,50	25,875	26,33	191,83
		291	140,5	25	27	26,5	192					
	3	291	140,5	25	26,5	26,5	192	291,50	140,50	26,375	25,33	191,50
		291	140,5			26	191,5					
	4	291	140,5	26,5	26	25,5	191,5	290,33	141,33	26	25,33	189,87
		292	140,5	26,5	26,5	24,5	191,5					
	5	291,5	140,5			26	191,5	291,17	140,00	25,75	25,70	189,83
		290	141,5	26,5	25,5	25,5	190					
	6	290	141,5	26,5	25,5	25	190	290,67	139,83	25,625	25,17	192,00
		291	141			25,5	189,6					
CPIV5	1	290,5	140,5	26	26,5	24	188	290,50	140,50	25,65	24,67	188,50
		290,5	140,5	25,1	25	26	189					
	2	290,5	140,5			24	188,5	291,17	140,50	26	25,50	192,00
		291	140,5	25	26,5	26	192					
	3	291	140,5	26	26,5	25,5	192	291,33	140,33	25,75	25,67	192,00
		291,5	140,5			25	192					
	4	291	140	25	25	26	192	291,00	140,67	25,75	25,67	188,00
		291,5	140,5	26,5	26,5	25,5	192					
	5	291,5	140,5			25,5	192	291,33	139,83	25,75	25,00	191,83
		291,5	140,5	25,5	25,5	26	188					
	6	291,5	140,5	25,5	26,5	25	188					

CPV0	1	291,5	140,5	26,5	26	25,5	190	291,50	140,17	26,13	25,17	189,67	
		291,5	140	25,5	26,5	25,5	190						
	2	291,5	140			24,5	189	291,50	140,83	26,00	25,33	189,00	
		291,5	140	25,5	25,5	25	189						
	3	291,5	141	26,5	26,5	24,5	189	291,67	140,33	26,00	25,00	188,67	
		291,5	141,5			26,5	189						
	4	291,5	141	26,5	25,5	26	189	291,17	140,33	25,63	25,83	189,00	
		291,5	140	26	26	25	189						
	5	292	140			24	188	290,67	141,17	26,25	24,67	191,83	
		291,5	140,5	26	25,5	26	189						
	6	291	140,5	25,5	25,5	25	188,5	290,67	140,00	26,00	25,00	188,67	
		291	140			26,5	189,5						
	CPV5	1	291	141	26	26,5	24	191,5	291,50	140,17	25,75	24,83	191,50
			290,5	141	26,5	26	25	192					
2		290,5	141,5			25	192	291,50	140,17	25,75	25,33	192,00	
		290,5	140	26	26,5	25	188						
3		291	139,5	26	25,5	24,5	189	291,33	140,67	25,88	25,33	191,00	
		290,5	140,5			25,5	189						
4		291,5	140,5	25,5	26,5	25	191,5	291,33	140,17	26,13	25,00	190,33	
		291,5	140	26	25	25	191,5						
5		291,5	140			24,5	191,5	291,33	140,33	25,63	26,00	191,33	
		291,5	140	26	25,5	25	192						
6		291	140	26	25,5	25	192	291,17	140,17	26,38	25,17	188,67	
		292	140,5			26	192						
CPV10		1	291,5	141	25,5	26	25,5	190,5	290,83	140,00	25,88	25,67	189,67
			291	140,5	26,5	25,5	25	191					
	2	291,5	140,5			25,5	191,5	290,33	140,00	25,75	25,67	190,33	

		291	140,5	26	26,5	25	190,5					
	3	291,5	140	26,5	25,5	24,5	190	290,67	140,17	26,00	25,17	191,17
		291,5	140			25,5	190,5					
	4	291,5	140,5	26	26	26,5	191,5	290,67	140,50	26,13	25,33	190,00
		291,5	140	25	25,5	25	191					
	5	291	140,5			26,5	191,5	290,67	140,50	26,13	25,33	190,00
		291	140	26,5	26,5	25,5	189					
	6	291,5	140	26,5	26	25	188,5	290,83	140,00	25,75	25,67	192,00
		291	140,5			25	188,5					
CPV15	1	290,5	140	26,5	25	26,5	190	291,00	140,00	26,00	26,00	189,00
		291	140	26	26	25	189					
	2	291	140			25,5	190	290,00	140,00	25,88	25,33	191,00
		290	140	25,5	26	25	190,5					
	3	290,5	140	26	25,5	26	190,5	291,00	140,00	25,75	25,33	191,17
		290,5	140			26	190					
	4	290,5	140,5	26,5	25,5	24,5	191,5	289,83	140,83	26,00	24,83	189,17
		290,5	140	26	26	25	191					
	5	291	140			26	191	290,50	140,33	25,63	25,50	190,50
		290,5	140	27	26,5	26	190					
	6	290,5	140,5	25,5	25,5	25	190	290,00	139,67	25,63	25,33	191,00
		291	141			25	190					
		290,5	140	25	26,5	26	192					

APÊNDICE D – Segunda etapa – Resistência à compressão

Família	cp	30 dias			Família	cp	30 dias		
		Carga (kN)	Tensão (Mpa)	Média (Mpa)			Carga (kN)	Tensão (Mpa)	Média (Mpa)
CPIV0	1	221	5,44	5,75	CPV0	1	229,8	5,66	7,12
	2	272	6,70			2	323,4	7,97	
	3	230	5,67			3	279,2	6,88	
	4	230,5	5,68			4	297,7	7,33	
	5	240,8	5,93			5	276,9	6,82	
	6	207,1	5,10			6	328,2	8,08	
CPIV5	1	109,8	2,70	3,71	CPV5	1	210,7	5,19	6,27
	2	170,5	4,20			2	227,6	5,61	
	3	186,8	4,60			3	336,1	8,28	
	4	156,6	3,86			4	245	6,03	
	5	130,7	3,22			5	258,9	6,38	
	6	148,5	3,66			6	249,7	6,15	
CPIV10	1	116,4	2,87	3,59	CPV10	1	215,2	5,30	5,21
	2	118,4	2,92			2	212,3	5,23	
	3	166	4,09			3	208,4	5,13	
	4	155,4	3,83			4	229,7	5,66	
	5	162,3	4,00			5	218,5	5,38	
	6	156,1	3,84			6	186,1	4,58	
CPIV15	1	114	2,81	2,77	CPV15	1	121	2,98	3,31
	2	91,1	2,24			2	126,3	3,11	

3	107,3	2,64		3	151,6	3,73	
4	109,8	2,70		4	128,1	3,16	
5	136,7	3,37		5	147,2	3,63	
6	114,8	2,83		6	133,2	3,28	

APÊNDICE E – Segunda etapa – Absorção

Família	cp	Peso seco (g)	Peso úmido (g)	Absorção (%)	Média (%)
CPIV0	1	8788,5	9515,1	8,27	9,17
	2	8640,1	9475,4	9,67	
	3	8564,4	9383,9	9,57	
CPIV5	1	8034,7	8780,1	9,28	9,44
	2	8796,4	9565,3	8,74	
	3	8356,7	9218,7	10,32	
CPIV10	1	8438,5	9320,3	10,45	11,09
	2	8239,5	9199,7	11,65	
	3	8224,1	9143,6	11,18	
CPV0	1	8556,6	9180,5	7,29	7,35
	2	8752,1	9340,7	6,73	
	3	8501,9	9184,4	8,03	
CPV5	1	8740,7	9402,6	7,57	7,78
	2	8559,3	9246,7	8,03	
	3	8516	9174,1	7,73	
CPV10	1	8308,5	9224,2	11,02	10,98
	2	8485,8	9432,8	11,16	
	3	8384,2	9287,4	10,77	