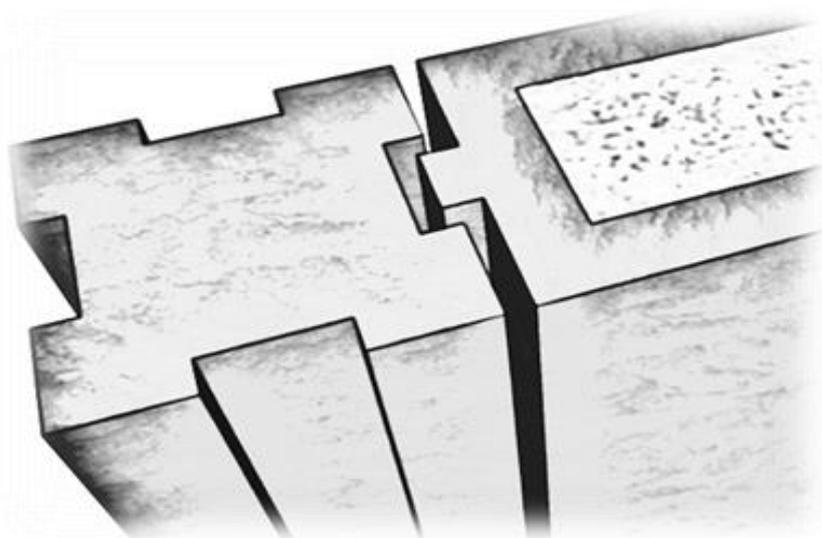


**UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE  
CONCRETO VISANDO A RACIONALIZAÇÃO  
CONSTRUTIVA**



**ALLANA DE DEUS PEIXOTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**FACULDADE DE ARQUITETURA E  
URBANISMO  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E**  
**URBANISMO**

**UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE**  
**CONCRETO VISANDO A RACIONALIZAÇÃO**  
**CONSTRUTIVA**

**ALLANA DE DEUS PEIXOTO**

**ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO LUNA DE MELO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E**  
**URBANISMO**

**BRASÍLIA/DF: JANEIRO – 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E**  
**URBANISMO**

**UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO**  
**VISANDO A RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA**

**ARQ.<sup>a</sup> ALLANA DE DEUS PEIXOTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO.

APROVADA POR:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Carlos Eduardo Luna de Melo, DSc (FAU/UnB)**  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Cláudio Henrique de A. Feitosa Pereira, DSc (FT/UnB)**  
(Examinador Externo)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Janes Cleiton Alves de Oliveira, DSc (FAU/UnB)**  
(Examinador Interno)

**BRASÍLIA/DF, 30 DE JANEIRO DE 2015**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**PEIXOTO, ALLANA DE DEUS**

Utilização de Painéis Pré-Fabricados de Concreto Visando a Racionalização Construtiva. [Distrito Federal] 2015.

xvii, 152p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2015).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1.Painéis

2.Concreto

3.Racionalização Construtiva

4.Pré-Fabricados

I. FAU/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

PEIXOTO, A. D. (2015). Utilização de Painéis Pré-Fabricados de Concreto Visando a Racionalização Construtiva. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 152p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Allana de Deus Peixoto

TÍTULO: Utilização de Painéis Pré-Fabricados de Concreto Visando a Racionalização Construtiva

GRAU: Mestre ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Allana de Deus Peixoto  
Av. Pedro Felício Cavalcante, nº 1740 – Granjeiro  
63.106-010 Crato - CE- Brasil  
e-mail: allanaddp@hotmail.com

À minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, aquele que me guia e ilumina minha vida com saúde, paz e amor e a meus pais e minha família por estarem sempre apoiando e incentivando o meu desenvolvimento pessoal;

Ao Professor Carlos Eduardo Luna de Melo, pelo tempo dedicado a este trabalho e por todos os ensinamentos e experiência transmitidos, além de proporcionar uma orientação motivada e sempre com grande apoio durante toda a realização do trabalho.

Ao Professor Janes Cleiton Alves de Oliveira, pela disponibilidade, pela experiência compartilhada e auxílio para a realização deste trabalho.

Ao Professor Márcio Augusto Roma Buzar, pela disponibilidade, apoio e auxílio com os materiais para a produção dos painéis pré-fabricados.

Ao Professor Cláudio Henrique de A. F. Pereira, pela disponibilidade e auxílio na realização do procedimento de capeamento dos painéis no Laboratório de Ensaios de Materiais (LEM/UnB), juntamente com o técnico Severino.

Ao Professor Jairo Furtado Nogueira, pelo apoio e disponibilização do laboratório da UniCEUB para a produção dos painéis de concreto, pela disponibilidade e orientação e aos técnicos do laboratório da UniCEUB, Régis, Dida e Vanilson, pela importante colaboração na produção dos painéis e pela disponibilidade.

Ao Professor Marcos Honorato e aos técnicos do Laboratório de Estruturas Magno, Leandro e Pedro, pela importante colaboração para a realização dos ensaios.

À equipe da marcenaria da Prefeitura da UnB, pela colaboração no fornecimento de materiais e na execução das formas de madeira.

À empresa Cinexpan Argila Expandida, pela disponibilidade e orientações referentes ao uso da argila expandida no trabalho.

À Central de Concreto Ciplan S/A, pelo fornecimento do aditivo polifuncional para a realização da pesquisa e ao técnico Leandro do laboratório pelo auxílio prestado.

À toda a equipe de professores e alunos do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB (PPG/FAU-UnB), pelas experiências e conhecimentos compartilhados durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro dado durante toda a realização do Mestrado.

## RESUMO

Atualmente, o setor da construção civil brasileira apresenta um predomínio da produção artesanal de habitações, que se caracteriza por ser onerosa e ineficiente, gerando altos índices de desperdício de materiais, baixa produtividade e incidência de patologias construtivas. Desse modo, este trabalho propõe como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema construtivo pré-fabricado de concreto que pode ser utilizado para habitações de interesse social, utilizando o processo de autoconstrução, com ênfase no uso de painéis pré-fabricados e nas estratégias de racionalização construtiva. Foram realizados ensaios de resistência à compressão, a fim de verificar o desempenho estrutural dos painéis de vedação e seu comportamento ao substituir, no concreto, o agregado graúdo comum por Resíduos de Construção Civil (RCC) e por argila expandida. Os resultados de resistência à compressão encontrados para os painéis ensaiados se mostraram satisfatórios para sua utilização como elementos de vedação. Em relação à massa específica, os resultados mostraram peças mais leves com o uso do agregado leve, podendo facilitar o transporte manual das peças. Os resultados observados demonstram a necessidade de realização de ensaios em um maior número de peças, além de outros ensaios de desempenho estrutural, como corpo mole e corpo duro, ensaios de resistência à flexão, ensaios de resistência em prismas, paredes e miniparedes, além de ensaios de absorção de água. Além disso, constatou-se que o processo de autoconstrução proposto nesse trabalho se mostrou viável para utilização na produção de habitações de interesse social. O sistema de ensaio utilizado apresentou um resultado satisfatório, sendo adequado seu uso para pesquisas futuras.

**Palavras-Chave:** Pré-Fabricação; Racionalização; Painéis Pré-Fabricados; Desempenho Estrutural.

## **ABSTRACT**

Currently, the Brazilian construction industry has a predominance of small-scale production of housing, which is characterized by being costly and inefficient, generating high rates of waste materials, low productivity and incidence of constructive pathologies. Thus, this work proposes as its main objective the development of a prefabricated building system of concrete that can be used for social housing, using the process of self-construction, focusing on the use of prefabricated panels and strategies of constructive rationalization. Compressive tests were performed in order to verify the structural performance of fence panels and their behavior to replace, in particular, the common coarse aggregate for Civil Construction Waste (CCW) and expanded clay. The results of the compressive tests found for all tested panels were satisfactory for use as sealing elements. Regarding the density, the results showed lighter elements with the use of lightweight aggregate in relation to other types of concrete and may facilitate the manual transport. The observed results further demonstrate the need of testing a larger number of elements, and to do other structural performance tests, such as impact resistance of soft body and hard body, flexion resistance tests, compression tests in prisms, small walls and walls and water absorption tests. In addition, it was found that the process of self-construction in this study proved to be viable for use in the production of social housing. The test system used showed a satisfactory result, being suitable using it in future researches.

**Keywords:** Prefabrication; Rationalization; Prefabricated Panels; Structural Performance.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	MOTIVAÇÃO DA PESQUISA	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	METODOLOGIA DE TRABALHO	3
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
2.1	ANTECEDENTES	5
2.1.1	O setor da Construção Civil e a Industrialização da Construção	5
2.1.2	Racionalização e Pré-Fabricação	7
2.1.3	Coordenação Modular	9
2.1.4	Sistemas Pré-Fabricados	11
2.2	O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A INDUSTRIALIZAÇÃO	16
2.3	RACIONALIZAÇÃO E PRÉ-FABRICAÇÃO	19
2.3.1	Racionalização Construtiva	19
2.3.2	Pré-Fabricação	22
2.3.3	Painéis Pré-Fabricados	25
2.3.4	Painéis Pré-Fabricados de Concreto	28
2.3.5	Sistemas Construtivos Pré-Fabricados de Interesse Social	32
2.4	COORDENAÇÃO MODULAR	35
2.4.1	Coordenação Dimensional	35
2.4.2	Coordenação Modular	36
2.4.3	Objetivos da Coordenação Modular	40
2.4.4	Vantagens do Uso da Coordenação Modular	40
2.4.5	Barreiras à Implementação da Coordenação Modular	41
2.4.6	Instrumentos da Coordenação Modular	41
2.4.7	Aplicações	44
2.5	RESÍDUOS SÓLIDOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD	47
2.5.1	Resíduos Sólidos	47
2.5.2	Resíduos Sólidos de Construção Civil (RCC)	50
2.5.3	Agregados Reciclados	58
2.6	DESEMPENHO ESTRUTURAL	61
2.6.1	Avaliação de Produtos Inovadores – ABNT NBR 15575:2013	61
2.6.2	O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT)	63
2.6.3	Segurança Estrutural e Estados Limites	65
2.6.4	ABNT NBR 6136:2007 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos.	66
2.6.5	Eficiência de elementos estruturais	67
2.7	PESQUISAS AFINS	68
2.7.1	Painéis Pré-Fabricados de Concreto	68
2.7.2	Agregados Reciclados	70
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CONSTRUTIVO</b>	<b>72</b>
3.1	GENERALIDADES	72
3.2	ELEMENTOS DO SISTEMA CONSTRUTIVO DESENVOLVIDO	75
3.2.1	Painéis Pré-Fabricados de Concreto	75
3.2.2	Pilar Pré-Fabricado de Concreto	77
3.2.3	Cálice Pré-Fabricado de Concreto	79
3.3	COORDENAÇÃO MODULAR E PRÉ-FABRICAÇÃO	79
<b>4</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL</b>	<b>87</b>

4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	87
4.2	PAINÉIS	88
4.2.1	Geometria e Caracterização dos Painéis	88
4.2.2	Formas	90
4.3	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS	92
4.3.1	Cimento	92
4.3.2	Agregado Miúdo	92
4.3.3	Agregado Graúdo	93
4.3.4	Aditivo Polifuncional	94
4.4	TRAÇOS UTILIZADOS	95
4.5	MOLDAGEM E CURA DOS PAINÉIS	96
4.6	METODOLOGIA DOS ENSAIOS	99
4.6.1	Capeamento dos Painéis	99
4.6.2	Procedimento de ensaio	101
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>106</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO	106
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS	111
5.3	CARGA DE RUPTURA DOS PAINÉIS ENSAIADOS	113
5.4	FATOR DE EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS EM RELAÇÃO AOS CORPOS DE PROVA	117
5.5	COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS PAINÉIS EM RELAÇÃO AOS REQUISITOS DA ABNT NBR 6136:2007	119
5.5.1	Painel como bloco Classe A	119
5.5.2	Painel como bloco Classe B	120
5.5.3	Painel como bloco Classe C	121
5.5.4	Painel como bloco Classe D	122
5.6	AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DOS PAINÉIS	124
5.7	AVALIAÇÃO DA CONFECÇÃO DOS PAINÉIS QUANTO AO PROCESSO DE AUTOCONSTRUÇÃO	126
5.8	COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM AGREGADO LEVE EM RELAÇÃO À ESPECIFICADA PELO FABRICANTE	128
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>130</b>
6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	130
6.2	SISTEMA CONSTRUTIVO E COORDENAÇÃO MODULAR	130
6.3	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO E DOS PAINÉIS	132
6.4	CARGA DE RUPTURA E FATOR DE EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS	134
6.5	ACABAMENTO SUPERFICIAL E PROCESSO DE AUTOCONSTRUÇÃO DOS PAINÉIS	136
6.6	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO EM RELAÇÃO AO FABRICANTE DO AGREGADO LEVE	137
6.7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	138
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>140</b>
	<b>ANEXO A</b>	<b>150</b>
	RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO CONVENCIONAL	150
	<b>ANEXO B</b>	<b>151</b>
	RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO	151
	<b>ANEXO C</b>	<b>152</b>



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência por classe de concreto para blocos de concreto segundo a ABNT NBR 6136:2007.....	67
Tabela 2 - Comparação entre a resistência em sito e em cubo-padrão.....	68
Tabela 3 – Medidas Modulares do sistema construtivo desenvolvido .....	81
Tabela 4 - Composição do cimento utilizado de acordo com o fabricante.....	92
Tabela 5 - Exigências Físicas e mecânicas do cimento fornecidas pelo fabricante. ....	92
Tabela 6 - Dados técnicos do aditivo polifuncional, fornecidos pelo fabricante. ....	94
Tabela 7 - Traços utilizados para cada tipo de concreto.....	95
Tabela 8 - Resultados experimentais do concreto aos 28 dias. ....	107
Tabela 9 - Características dos painéis ensaiados. ....	111
Tabela 10 - Fator de eficiência das massas específicas dos painéis de concreto utilizados em relação à massa específica ao painel de concreto convencional.....	112
Tabela 11 - Resultados de resistência à compressão dos painéis ensaiados.....	113
Tabela 12 - Fator de eficiência das resistências médias dos painéis de concretos utilizados em relação ao painel de concreto convencional. ....	116
Tabela 13 - Eficiência dos painéis isolados.....	117
Tabela 14 - Comparação das resistências médias dos painéis de concreto utilizados em relação à resistência mínima para blocos de concreto Classe A.....	120
Tabela 15 - Comparação das resistências médias dos painéis de concreto utilizados em relação à resistência mínima para blocos de concreto Classe B.....	121
Tabela 16 - Comparação das resistências médias dos painéis de concreto utilizados em relação à resistência mínima para blocos de concreto Classe C.....	122
Tabela 17 - Comparação das resistências médias dos painéis de concreto utilizados em relação à resistência mínima para blocos de concreto Classe D.....	123
Tabela 18 - Comparação da resistência do concreto com agregado leve, aos 28 dias, com os resultados do fabricante. ....	128
Tabela 19 – Resultados experimentais dos corpos de prova de concreto convencional. ..	150
Tabela 20 – Resultados experimentais dos corpos de prova de concreto com agregado reciclado.....	151
Tabela 21 – Resultados experimentais dos corpos de prova de concreto com agregado leve. ....	152

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do processo construtivo do IPT.	12
Figura 2 - Casa pronta, do Conjunto Vila Mutirão.	13
Figura 3 – Sistema PAC, do Grupo Inmax.	13
Figura 4 – Sistema Jetcasa.	14
Figura 5 - Fatores característicos do atraso tecnológico da construção com base no IPT - 1988.	16
Figura 6 - Industrialização e racionalização construtiva.	18
Figura 7 - Capacidade de influenciar o custo total durante o ciclo do empreendimento.	21
Figura 8 - Exemplo de alvenaria não racionalizada.	21
Figura 9 - Emprego da alvenaria racionalizada.	22
Figura 10 - Nível de produção de edificações tradicional (à esquerda). Nível de produção de edificações racionalizado (à direita).	23
Figura 11 - Vedação moldada in loco (à esquerda). Vedação industrializada (à direita).	25
Figura 12 - Laje pré-fabricada: elemento de vedação horizontal (à esquerda). Painel pré-fabricado: elemento de vedação vertical (à direita).	27
Figura 13 - Tipos de seção transversal do painel de concreto.	29
Figura 14 - Painel de concreto tipo sanduíche.	29
Figura 15 - Painel de concreto nervurado.	30
Figura 16 - Painel de concreto alveolar.	30
Figura 17 – Encaixe da placa com o pilar (à esquerda) e pilares de concreto armazenados (à direita).	32
Figura 18 – Projeto de residência do sistema Itakits.	33
Figura 19 – Placas pré-moldadas e construção do sistema da Avante Pré-moldados.	33
Figura 20 – Sistema pré-fabricado Nova Casa.	34
Figura 21 – Representação do encaixe das placas com os pilares no sistema Itakits. Impossibilidade de uniformização da superfície.	34
Figura 22 – Detalhe da casa pronta do sistema Nova Casa com estrutura aparente.	35
Figura 23 - <i>Modulor</i> de Le Corbusier.	37
Figura 24 – Palácio de Cristal, de Joseph Paxton.	38
Figura 25 - Coordenação Modular em blocos utilizados na construção civil.	40
Figura 26 - Sistema de Referência e Reticulado Modular Espacial de Referência.	42
Figura 27 - Medida Modular, Medida de Projeto, Junta Modular e Ajuste Modular.	43
Figura 28 - Desenho esquemático de uma residência em <i>Light Steel Framing</i> .	45
Figura 29 - Desenho esquemático de uma residência em alvenaria estrutural, com destaque para os blocos diferenciados.	46
Figura 30 - Exemplo de paginação de uma parede de alvenaria estrutural.	46
Figura 31 - Perspectiva dos blocos básicos da família MEHIS, com destaque para o sistema de encaixe removível.	47
Figura 32 - Resíduo classe A (à esquerda) e resíduo classe B (à direita).	49
Figura 33 - Resíduo classe C – gesso (à esquerda) e resíduo classe D (à direita).	49
Figura 34 - Deposição irregular de resíduos de construção.	51
Figura 35 - Composição média do RCD no Brasil.	53
Figura 36 - Equipamentos de uma central de reciclagem.	57
Figura 37 - Usina de reciclagem em Belo Horizonte/MG.	58
Figura 38 - Aspecto dos agregados reciclados de concreto e de alvenaria, respectivamente.	59
Figura 39 – Diretrizes publicadas pelo SINAT.	64
Figura 40 – Ensaio dos painéis á flexão.	69

Figura 41 – Secção do painel com descrição dos materiais empregados.	69
Figura 42 – Ensaio de resistência à compressão do painel com agregado reciclado.	70
Figura 43 – Agregados reciclados utilizados na pesquisa. A – Cerâmica Vermelha e B – Concreto.	71
Figura 44 - Volumetria do sistema construtivo desenvolvido, sem acabamento.	73
Figura 45 – Encaixe da placa de vedação (centro) aos pilares (extremidades) no sistema construtivo desenvolvido. Uniformização da superfície em tracejado vermelho.	74
Figura 46 – Representação modelo do sistema construtivo desenvolvido, com acabamento.	75
Figura 47 - Volumetria do painel pré-fabricado de concreto.	76
Figura 48 - Encaixe Painel-Pilar: folga de 10 mm para acomodação.	77
Figura 49 – Volumetria do pilar pré-fabricado de concreto.	78
Figura 50 – Volumetria do cálice pré-fabricado de concreto.	79
Figura 51 – Representação de topo das medidas de largura nominais, de coordenação e modulares do sistema construtivo desenvolvido.	80
Figura 52 – Modulação do pilar pré-fabricado - da esquerda para a direita: Medida Nominal, Medida de Coordenação e Medida Modular.	81
Figura 53 – Modulação do painel pré-fabricado tipo 1. Da esquerda para a direita: Medida Nominal e Medida de Coordenação. Abaixo: Medida Modular.	82
Figura 54 - Utilização dos painéis tipo 01 e tipo 02 dentro do sistema pré-fabricado.	83
Figura 55 - Proposta de habitação de interesse social: unidade básica (01 quarto).	84
Figura 56 - Proposta de habitação de interesse social: unidade ampliada (01 quarto).	84
Figura 57 - Proposta de habitação de interesse social: unidade ampliada (02 quartos).	85
Figura 58 - Proposta de habitação de interesse social: unidade ampliada (03 quartos).	86
Figura 59 - Proposta de habitação de interesse social: unidade ampliada (03 quartos).	86
Figura 60 - Fluxograma ilustrativo das etapas executadas no programa experimental.	88
Figura 61 - Planta Baixa do Painel (medidas em mm).	89
Figura 62 - Vista Lateral do Painel (medidas em mm).	89
Figura 63 - Vista Frontal do Painel à esquerda e Corte AA do Painel à direita (medidas em mm).	89
Figura 64 - Planta Baixa da forma do painel (medidas em mm).	90
Figura 65 - Vista frontal da forma do painel (medidas em mm).	90
Figura 66 - Vista Lateral da forma do painel (medidas em mm).	91
Figura 67 - Corte AA - forma painel (medidas em mm).	91
Figura 68 - Formas executadas e prontas para a concretagem.	91
Figura 69 - Areia média lavada.	93
Figura 70 - Brita 0 comum (à esquerda) e brita 0 reciclada (à direita).	93
Figura 71 - Argila expandida tipo 2215 (à esquerda) e argila expandida tipo 2215 britada para o tamanho de brita 0 (à direita).	94
Figura 72 - <i>Slump test</i> do concreto com agregado leve.	96
Figura 73 - Colocação da primeira camada de concreto (à esquerda) e colocação dos blocos de isopor em cima da primeira camada de concreto (à direita).	97
Figura 74 - Acabamento e regularização da superfície do painel (esquerda) e painéis executados e prontos para cura (direita).	98
Figura 75 - Moldagem e cura dos corpos de prova.	98
Figura 76 - Desmoldagem dos painéis (esquerda) e painel de concreto convencional desmoldado (direita).	99
Figura 77 - Pesagem dos painéis (à esquerda) e processo de colocação dos painéis em recipiente para cura por imersão total em água (à direita).	99
Figura 78 - Preparação da superfície para realização do capeamento.	100

Figura 79 - Acomodação da base do painel na pasta de cimento recém-espalhada.	100
Figura 80 - Aspecto da superfície regularizada do painel.	101
Figura 81 - Pórtico metálico utilizado para realização dos ensaios.	101
Figura 82 - Bomba hidráulica (à esquerda) e macaco hidráulico (à direita).	102
Figura 83 - Célula de carga (à esquerda) e leitor de célula de carga (à direita).	102
Figura 84 - Sistema de ensaio utilizado.	103
Figura 85 - Colocação das vigas de reação metálicas inferiores.	104
Figura 86 - Colocação do painel, da viga metálica superior de distribuição de carga e das chapas metálicas em contato com o macaco hidráulico.	104
Figura 87 - Execução do ensaio com aplicação de carga até a ruptura do painel.	105
Figura 88 - Variação de $f_c$ com o tempo - concreto com agregado comum.	108
Figura 89 - Variação de $f_c$ com o tempo - concreto com agregado reciclado.	109
Figura 90 - Variação de $f_c$ com o tempo - concreto com agregado leve.	109
Figura 91 - Comparação entre as variações de $f_c$ com o tempo, levando-se em conta o tipo de concreto utilizado.	110
Figura 92 - Comparação das massas específicas dos painéis de concreto utilizados em relação à massa específica ao painel de concreto convencional.	112
Figura 93 - Comparação da resistência média em MPa dos painéis por tipo de concreto produzido.	115
Figura 94 - Figura - Fator de eficiência das resistências médias dos painéis de concretos utilizados em relação ao painel de concreto convencional.	116
Figura 95 - Acabamento superficial dos painéis de concreto convencional.	124
Figura 96 - Acabamento superficial dos painéis de concreto com agregado reciclado.	125
Figura 97 - Acabamento superficial dos painéis de concreto com agregado leve.	125
Figura 98 - Comparação da superfície da argila expandida normal (à esquerda) com a argila expandida britada (à direita).	129

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\emptyset$ -	diâmetro;
$A_b$ -	área bruta;
$A_l$ -	área líquida;
$f_c$ -	resistência à compressão;
$f_{cm}$ -	resistência média à compressão;
$f_{bk}$	resistência característica à compressão;
$F_u$ -	carga de ruptura;

### Letras gregas

$\rho$ -	massa específica;
$\rho_m$ -	massa específica média;
$\sigma_u$ -	tensão de compressão;
$\sigma_{um}$ -	tensão média de compressão;

## LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE - Especiais	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
BNH -	Banco Nacional da Habitação
CIB -	Conceil International Du Bâtiment
CONAMA -	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DA-Tec -	Documento de Avaliação Técnica
ELS -	Estado limite de Serviço
ELU -	Estado Limite Último
EPS -	Poliestireno Expandido
FAU -	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

GRC -	Glass Reinforced Cement
HIS -	Habitação de Interesse Social
IPT -	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISSO -	International Organization for Standardization
ITA -	Instituto Tecnológico de Avaliação
LATEC -	Laboratório de Tecnologia
LSF -	Light Steel Framing
MEHIS -	Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais
NBR -	Norma Brasileira
PET -	Polietileno Tereftalato
RCC -	Resíduos de Construção Civil
RCD -	Resíduos de Construção e Demolição
RSD -	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSS -	Resíduos Sólidos de Saúde
RSU -	Resíduos Sólidos Urbanos
SINAT -	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
SFH -	Sistema Financeiro da Habitação
UnB -	Universidade de Brasília
UniCEUB -	Centro Universitário de Brasília

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA**

Nos últimos anos, a indústria da construção civil brasileira tem apresentado modificações consideráveis quanto à aplicação de novos sistemas construtivos. Antigas técnicas vêm sendo, aos poucos, substituídas ou aperfeiçoadas, através de processos de racionalização, de uma maior elaboração dos projetos de execução e do surgimento de profissionais mais especializados no mercado.

Apesar desse considerável avanço em relação à racionalização construtiva, o setor ainda possui um caráter heterogêneo em relação ao seu processo produtivo e ainda apresenta obras com elevados índices de desperdício, relacionados à baixa produtividade.

Com a otimização da pré-fabricação e da racionalização construtiva, teve origem a utilização de painéis pré-fabricados dentro da construção civil, tentando antecipar determinadas etapas construtivas, anteriormente realizadas apenas in loco.

O estudo dos painéis pré-fabricados, dentro da construção civil, é importante, portanto, porque promove o aumento da produtividade em obra, trazendo vantagens como: agilidade e redução de tempo da construção, possibilidade de construção sem restrições climáticas, menor geração de Resíduos de Construção Civil (RCC), entre outros.

A pesquisa, portanto, pretende aliar a necessidade de industrialização da construção civil ao avanço das técnicas de pré-fabricação, racionalização construtiva e Coordenação Modular através da proposição e do estudo de um sistema construtivo que utiliza painéis pré-fabricados de concreto para vedação. A motivação desse estudo reside em difundir a importância desses conceitos dentro do setor da construção civil atual, que tem se encaminhado cada vez mais para a urgência do emprego de sistemas racionalizados em seu processo produtivo.

Porém, é importante mencionar que o presente trabalho apenas abre espaço para os primeiros estudos sobre o sistema construtivo desenvolvido e, portanto, ainda há diversas abordagens a serem estudadas por trabalhos posteriores.

## **1.2 OBJETIVOS**

Desenvolver um sistema construtivo que agrega questões de grande importância atual, tais como: a pré-fabricação, a Coordenação Modular e o reaproveitamento de Resíduos de Construção Civil (RCC).

Os objetivos específicos são:

- Realização de ensaios de compressão de três painéis de concreto com agregados convencionais, três painéis de concreto com adição de Resíduos de Construção Civil (RCC) e três painéis de concreto com agregados leves, comparando os resultados;
- Analisar os resultados obtidos, através dos ensaios, de acordo com as normas de desempenho do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) e da ABNT NBR 15575:2013;
- Comparar os resultados obtidos pelos painéis de concreto com adição de Resíduo de Construção Civil (RCC) e os painéis de concreto com agregados leves, em termos de desempenho estrutural e vantagens, com os painéis de concreto com agregados convencionais;
- Comparar os resultados de resistência obtidos com a ABNT NBR 6136:2007, a fim de verificar se os mesmos atendem aos requisitos mínimos sugeridos;
- Verificar o valor das massas específicas por tipo de concreto e sua relação com o traço correspondente empregado;
- Fazer uma análise da eficiência do processo de autoconstrução empregado na produção das peças ensaiadas;
- fazer uma avaliação tátil-visual do acabamento superficial dos painéis ensaiados;
- Fazer um estudo de caracterização de cada tipo de concreto utilizado, comparando os resultados encontrados nos corpos de prova com os encontrados nos respectivos painéis.

### **1.3 METODOLOGIA DE TRABALHO**

A metodologia empregada para atingir os objetivos do trabalho é composta por:

- Revisão bibliográfica;
- Desenvolvimento do Programa Experimental;
- Projeto de formas e fabricação de protótipo do painel;
- Caracterização dos materiais e concretagem dos painéis;
- Ensaio de compressão dos painéis;
- Análise de resultados obtidos nos ensaios;
- Conclusões sobre o comportamento dos painéis e do sistema de ensaio.

Foram ensaiados nove painéis de vedação de concreto, sendo os três primeiros com agregados convencionais, os três seguintes substituindo os agregados convencionais por agregados reciclados e os três últimos substituindo os agregados convencionais por agregados leves, a fim de determinar o desempenho estrutural em termos de resistência à compressão, das nove peças pré-fabricadas. O intuito é verificar se os painéis atendem a requisitos estruturais satisfatórios e comparar o efeito da substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado e pelo agregado leve.

### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho é composto de seis capítulos. Além deste Capítulo 1, este trabalho está estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, onde é desenvolvida a base teórica sobre a industrialização da construção, a pré-fabricação, os tipos de painéis pré-fabricados, a técnica de Coordenação Modular, os Resíduos de Construção Civil (RCC), a avaliação de desempenho de sistemas construtivos, além de considerações sobre a segurança estrutural dos sistemas construtivos.

No Capítulo 3, é apresentado, de forma mais detalhada, o sistema construtivo desenvolvido pelo trabalho, mostrando os componentes pré-fabricados e caracterizando o painel de vedação de concreto, objeto dos ensaios a serem realizados.

No Capítulo 4, é apresentado o programa experimental da pesquisa, detalhando os materiais utilizados na produção dos elementos estudados, os traços utilizados para cada tipo de concreto, assim como todo o procedimento de moldagem e cura das peças ensaiadas.

No Capítulo 5, são apresentados os resultados encontrados a partir dos ensaios realizados e a discussão e análise desses resultados, levando em consideração aspectos como: caracterização do concreto e dos painéis, resistência encontrada, acabamento superficial das peças, processo de autoconstrução e eficiência dos painéis em relação aos respectivos corpos de prova.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões da presente pesquisa quanto aos ensaios realizados e aos demais resultados encontrados durante o processo de produção das peças ensaiadas e propõe sugestões de pesquisa para trabalhos futuros baseados no tema estudado e nos resultados encontrados nessa pesquisa.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 ANTECEDENTES**

#### **2.1.1 O setor da Construção Civil e a Industrialização da Construção**

De acordo com Módena (2009), o surgimento da construção industrializada ocorreu a partir da necessidade de reconstrução das edificações de alguns países, que foram aniquilados pelas guerras. Os sistemas construtivos propostos, na época, foram desenvolvidos para permitir a reconstrução das edificações em um menor espaço de tempo.

No Brasil, não houve a necessidade de reconstrução das cidades por conta da Segunda Guerra Mundial, como ocorreu na Europa. Dessa forma, a preocupação com a adoção de técnicas construtivas industrializadas surgiu a partir da década de 1950, com a construção de Brasília e de grandes conjuntos habitacionais, baseados nos modelos do pós-guerra europeu.

Até o final da década de 1970, a indústria da construção civil brasileira caracterizou-se por uma postura tradicional e conservadora que mostrava uma falta de interesse pela busca de inovações construtivas. A partir de meados de 1970, com a busca por ganhos de produtividade, os sistemas construtivos industrializados começaram a ser importados e empregados na construção de grandes conjuntos habitacionais, cujos resultados ainda deixavam a desejar.

O Banco Nacional da Habitação (BNH), inicialmente, atuou, dentro do setor habitacional brasileiro, através de uma política de desestímulo ao emprego dos componentes pré-fabricados. A partir da segunda metade da década de 1970, buscando atender ao grande déficit habitacional brasileiro, passou a reorientar suas ações tentando estimular, ainda que de forma incipiente, a introdução de novas tecnologias e a construção com elementos pré-fabricados.

Segundo Parizotto Filho (2004), o surgimento, no Brasil, de processos construtivos industrializados, entre as décadas de 1970 e 1980, revelou a adoção de algumas

interpretações errôneas a respeito do conceito de industrialização, o que contribuiu para o fracasso da maioria dos empreendimentos habitacionais construídos com esses preceitos.

Além disso, após a desarticulação do Sistema Financeiro da Habitação (SFH), no final da década de 1980, e da diminuição dos financiamentos habitacionais, com a crise econômica, os sistemas construtivos industrializados foram sendo, aos poucos, deixados de lado e tornando-se cada vez mais escassos. Porém, a partir dessas experiências, ficou claro que esses processos construtivos precisavam ser melhorados e estudados.

Deve-se ressaltar que, até o início da década de 1990, a industrialização da construção deveu-se, em grande parte, à iniciativa de empresários que buscavam a redução de custos e menores prazos de execução de seus empreendimentos. Por essa razão, e também pela falta de uma política para o desenvolvimento da construção industrializada no Brasil, a utilização de elementos pré-fabricados foi e tem sido mais expressiva em empreendimentos comerciais, hoteleiros e industriais.

Percebe-se que, mesmo com as mudanças ocorridas, principalmente nas últimas décadas, no setor da construção civil, o modelo de produção brasileiro ainda é baseado em modelos artesanais, resultando em um processo muito oneroso, ineficiente e demorado. Por conta disso, percebe-se que o Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer no sentido de industrializar a construção civil, que ainda dispõe de mão de obra barata, situação essa que se acredita estar prestes a ter um fim.

Outros entraves à adoção da construção industrializada no Brasil são: a resistência dos executores, que ainda possuem uma visão tradicionalista e conservadora, a falta de conhecimento dos benefícios da industrialização da construção e também alguns fracassos que levaram o sistema ao descrédito. Mitidieri Filho (1998) afirma que esse descrédito só pode ser revertido a partir de uma nova consciência sobre os processos construtivos industrializados, baseada em avaliações de desempenho como mecanismos de comprovação e de melhoria da qualidade dos produtos inovadores.

### **2.1.2 Racionalização e Pré-Fabricação**

A evolução da construção pré-fabricada ocorreu de formas diferentes em cada país. A partir do emprego do concreto armado, no início do século XX, as construções pré-fabricadas difundiram-se, principalmente na Europa, que acabou por influenciar outros países como EUA, Canadá e, posteriormente, o Brasil (STEUERNAGEL, 2008).

Após a Segunda Guerra Mundial, houve a necessidade de formulação de uma política eficaz de produção de moradias, que levasse em conta a questão das limitações decorrentes da falta de materiais, do déficit de moradias, das dificuldades econômicas e da escassez de mão de obra especializada. A partir daquela época, todos esses fatores contribuíram para o processo de mecanização da construção através de um maior controle da produção e da simplificação da montagem no canteiro de obras.

A primeira fase de implementação do processo de pré-fabricação é denominada por muitos autores de ciclo fechado. Esse processo difundiu-se nos anos 1950 e 1960, inicialmente com a introdução de grandes painéis de concreto na reconstrução da Europa no pós-guerra. O período compreendido de 1970 a 1980, ainda com a adoção do ciclo fechado, caracterizou-se pela ocorrência de muitos acidentes em edifícios construídos com painéis pré-fabricados. Esses acidentes foram responsáveis por provocar uma grande rejeição aos sistemas pré-fabricados, que perdura até os dias de hoje, gerando um declínio na utilização desses elementos. Para exemplificar, o período de 1980 caracterizou-se pela demolição de muitos conjuntos habitacionais devido à rejeição e à deterioração dos sistemas construtivos (STEUERNAGEL, 2008).

O sistema de pré-fabricação de ciclo fechado baseava-se na pré-fabricação pesada, na padronização de produtos e na repetição das atividades produtivas. O fracasso da aplicação desses princípios à construção civil reside na rigidez excessiva dos sistemas construtivos, que apresentavam pouca flexibilidade, não sendo capazes de atender às novas características do mercado.

No final da década de 1980 e início da década de 1990, a Europa passou para a segunda geração da tecnologia da pré-fabricação. Nessa fase, foi introduzido o ciclo aberto de produção, que se caracteriza pela flexibilidade dos processos e pelo uso da Coordenação

Modular dos elementos do sistema construtivo a fim de permitir uma padronização dimensional. A pré-fabricação de ciclo aberto apresenta como características positivas: a coordenação dimensional dos elementos, a flexibilidade do processo de produção e a facilitação da montagem dos componentes.

No Brasil, até a década de 1990, não existiu uma política de desenvolvimento da construção industrializada. A primeira utilização dos elementos pré-fabricados deu-se em 1926, na execução do Hipódromo da Gávea no Rio de Janeiro (STEUERNAGEL, 2008). No entanto, a preocupação com a racionalização da construção dos processos construtivos só apareceu por volta da década de 1950.

Como mencionado anteriormente, o impulso ao desenvolvimento de obras pré-fabricadas deu-se, inicialmente, devido à atuação do BNH a partir da década de 1970, porém esses edifícios apresentaram muitos problemas patológicos e funcionais, aliados ao alto custo de manutenção, que levaram a demolições contínuas. De acordo com Sabbatini (1989), um dos grandes motivos para esse insucesso foi a falta de desenvolvimento tecnológico apropriado dos sistemas construtivos utilizados.

A partir da década de 1990, com a utilização da pré-fabricação em empreendimentos comerciais e hoteleiros, ressurgiu o interesse de utilização dos painéis pré-fabricados, principalmente os painéis pré-fabricados de fachada para prédios de múltiplos pavimentos, também denominados de painéis arquitetônicos, que aumentavam a velocidade de execução da construção, juntamente com a redução de desperdícios.

Atualmente, o Brasil dispõe de um campo produtor de pré-fabricados com experiência e capacitação técnica que permitem o desenvolvimento de produtos de qualidade. Porém, ainda persiste a falta de disseminação do uso dos sistemas pré-fabricados, que hoje esbarra em uma questão fortemente cultural, muito mais que uma limitação tecnológica, como já o fora anteriormente. A consequência gerada por esses entraves é a aplicação ainda incipiente da pré-fabricação e a manutenção de processos artesanais, que aumentam os gastos com desperdícios e postergam a execução da obra de forma significativa.

### 2.1.3 Coordenação Modular

De acordo com Rosso (1976), a primeira aplicação da Coordenação Modular, na época moderna, foi o Palácio de Cristal, construído entre 1850 e 1851 e projetado por Joseph Paxton. Foi totalmente montado com elementos pré-fabricados, utilizando um módulo baseado em grandes placas de vidro. A construção do Palácio foi bastante representativa, pois muitas estruturas semelhantes passaram a ser construídas em diversos locais, inclusive casas pré-fabricadas.

Em meados do século XX, surgiu uma abordagem baseada na intercambialidade de componentes que eram compatíveis entre si, através de uma padronização dimensional, caracterizadora da já mencionada pré-fabricação de ciclo aberto. Porém, não houve uma perfeita comunicação entre os seus componentes, constituindo-se em uma barreira à eficiência construtiva. Alguns arquitetos, como Walter Gropius, nessa época, anteciparam o uso da Coordenação Modular através da proposição de componentes pré-fabricados de estrutura e de vedação.

A partir da década de 1950, devido à destruição causada pelas guerras na Europa, foram realizados importantes esforços na tentativa de promover o desenvolvimento de sistemas modulados, contribuindo para a produção, em larga escala, de construções habitacionais pré-fabricadas e industrializadas. Nessa época, o alemão Ernst Neufert, realizou um estudo sistemático de técnicas de Coordenação Modular. Ele publicou, em 1943, um sistema de coordenação dimensional baseado no módulo de 12,5 cm, cuja preocupação era conceber um sistema que não alterasse, de modo significativo, as medidas dos tijolos convencionais alemães usados na época.

No Brasil, os estudos da Coordenação Modular começaram a se desenvolver a partir da década de 1940. Foi um dos primeiros países do mundo a aprovar uma norma de Coordenação Modular, a NB-25R: *Modulação das Construções*, em 1950. Porém, enquanto, em outros países, foram mobilizados esforços no sentido de dar continuidade aos estudos, no Brasil, o processo não ocorreu da mesma maneira, pois os pesquisadores que participavam dos estudos consideravam que sua capacidade de levar adiante os estudos iniciados estava esgotada. Além disso, a partir da década de 1980, além da abrupta interrupção da produção de estudos bibliográficos a respeito da Coordenação Modular,

formou-se um cenário de caos dimensional entre grande parte dos componentes construtivos.

O BNH, a partir da década de 1970, no Brasil, teve a idéia de implantar a Coordenação Modular através de uma experiência-piloto, que envolvia também o uso de conceitos de racionalização e industrialização da construção. Essa experiência iniciou-se em 1978 e levou à construção estimada de 4.000 a 5.000 casas por ano durante os três anos de vigência da mesma. Infelizmente, houve diversos problemas posteriores em relação a essas edificações, relacionados tanto a aspectos técnicos quanto funcionais e ligados à falta de desenvolvimento tecnológico apropriado. A partir de 1986, com a extinção do BNH, nada mais significativo foi realizado para a implantação da Coordenação Modular no Brasil, apesar de terem aparecido publicações pontuais tratando do tema e de possíveis estratégias de implementação (BADAULF, 2004).

Alguns autores apontam possíveis causas para o insucesso da implantação da Coordenação Modular no Brasil, tais como: falta de conhecimento, negligência da cadeia produtiva, divergência de interesses dentro da cadeia produtiva da construção, entre outros. Por conta disso, os produtos ofertados no mercado seguem os critérios dimensionais definidos pela indústria da construção, tornando impossível a coordenação dimensional dos componentes. Aliado a isso, o Brasil ainda executa moradias com mão de obra despreparada, causando erros e imprecisões que praticamente inviabilizam a adoção de elementos pré-fabricados e coordenados, pois os mesmos exigem uma alta precisão construtiva.

A existência, hoje, de pesquisas que abordem a necessidade de implementação da Coordenação Modular no Brasil constitui um importante passo para a sua implantação, devendo ser impulsionadas de forma que não se perca mais uma oportunidade de empregá-la de forma efetiva. As normas técnicas relativas a blocos e tijolos já se têm mostrado ferramentas importantes para o alcance desse objetivo, pois são componentes de larga utilização no território brasileiro, devendo haver o devido cuidado para que essas normas possuam coerência entre si e para que não haja conflitos indesejados.

#### **2.1.4 Sistemas Pré-Fabricados**

De acordo com Steuernagel (2008), o primeiro sistema de habitações com vedações pré-fabricadas de concreto que se tem conhecimento é de William Henry Lascalles, desenvolvido em 1878. Esse sistema era destinado a habitações de baixo custo com estrutura de madeira e painéis de concreto verticais para vedação e dimensões de 60 cm x 90 cm e espessura de 4 cm, fixados aos elementos de madeira através de parafusos.

Depois da Segunda Guerra Mundial, com a difusão da construção pré-fabricada e da necessidade de industrialização da construção, a opção pelos grandes painéis pré-fabricados de concreto passou a ser fortemente empregada como resposta técnica e econômica gerada pela escassez de mão de obra e pela necessidade de rápida reconstrução das edificações em grande escala.

A partir da década de 1940, surgiram no mercado alguns sistemas construtivos de painéis pré-fabricados, em sua maioria de vedação, como é o caso dos painéis de gesso acartonado para divisórias internas, nos EUA, na década de 1940, e a utilização em larga escala dos painéis de concreto, entre as décadas de 1950 e 1960, na Europa. Esses painéis surgem como diferentes possibilidades de diminuir os desperdícios construtivos e facilitar o emprego da racionalização construtiva. Os painéis de vedação podem ser projetados para substituir as alvenarias, podendo possuir características autoportantes, isolantes e de estanqueidade.

No Brasil, com a vinda da Corte Portuguesa, ocorreu uma grande valorização e importação de tecnologias da Europa, que incentivou a compra de diversos produtos industrializados. Um dos exemplos de sistemas construtivos industrializados empregados na época foram os painéis de ferro utilizados por volta de 1880 e 1888 na Região Sudeste do Brasil. Pode-se dizer que as importações não ocorreram em larga escala ou em regiões específicas, mas apenas alguns exemplares em regiões de grande desenvolvimento econômico.

No século XX, a partir da década de 1980, começaram a ser desenvolvidos sistemas construtivos com painéis pré-fabricados utilizando o bloco cerâmico. É o caso, por exemplo, do sistema construtivo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas

(IPT), constituído basicamente por componentes pré-fabricados que cumpriam função estrutural, de vedação e de compartimentação da edificação (Figura 1).

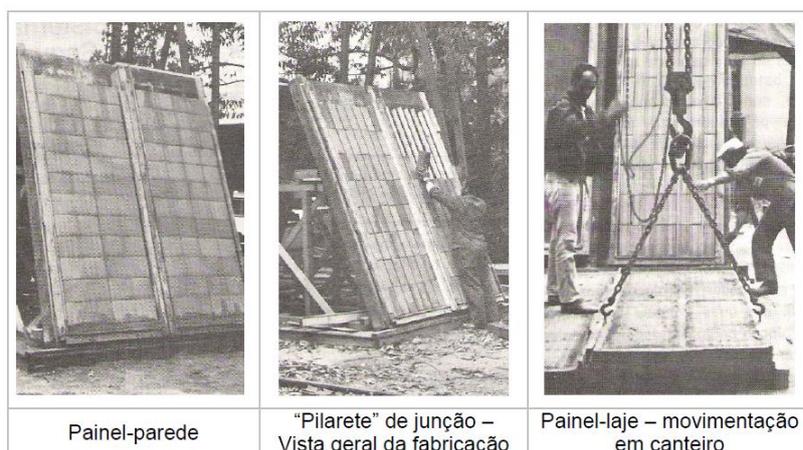


Figura 1 - Componentes do processo construtivo do IPT.

Fonte: (CESAR, 2007).

Em 1982, o arquiteto Joán Villá desenvolveu, no Laboratório de Habitação da Unicamp, um sistema construtivo com painéis pré-fabricados de blocos cerâmicos que se baseava na Coordenação Modular e possuía diversos componentes.

Em 1983, foi desenvolvido, em Goiânia, um conjunto habitacional chamado Vila Mutirão, que promovia moradia para pessoas que viviam em abrigos improvisados e insalubres. A escolha do sistema construtivo adotado baseou-se na ideia de produção de casas em maior velocidade e também à opção por peças mais leves e de menor tamanho que facilitassem o manuseio e o transporte, por duas pessoas, para a construção em mutirão, evitando maiores despesas com o transporte mecanizado. O sistema era composto por placas pré-fabricadas de concreto para vedação e colunas de concreto com função estrutural (Figura 2). O conjunto habitacional foi erguido com a meta de construção de 1.000 casas em um dia, ao menor custo, e com mão de obra voluntária.



Figura 2 - Casa pronta, do Conjunto Vila Mutirão.  
Fonte: (CESAR, 2007).

A partir da década de 1980, muitos outros sistemas foram propostos, tanto no Brasil como em outros países, como é o caso do Sistema K. O sistema K foi desenvolvido, na década de 1980, por uma empresa italiana chamada Technopref e é classificado como um sistema de pré-fabricação de ciclo aberto, que, possibilitando diversas configurações, é constituído de um esqueleto de concreto armado e elementos pré-fabricados estruturais leves, que facilitam o transporte e a montagem.

No Brasil, em 1982, o Grupo InMAX desenvolveu, em São Paulo, o Sistema PAC (Figura 3), que trouxe como princípio a racionalização e a industrialização da construção, permitindo a diminuição de desperdícios de materiais, porém com a utilização de painéis estruturais pré-fabricados de concreto que exigiam guias e sistemas mecanizados para o transporte dos elementos construtivos.



Figura 3 – Sistema PAC, do Grupo Inmax.  
Fonte: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/136/artigo286523-4.aspx>.

A partir da década de 1990, os empresários dos setores comercial, industrial e hoteleiro interessaram-se pela industrialização da construção e passaram a utilizar, em seus empreendimentos, painéis pré-fabricados de vedação. Esses painéis eram os denominados painéis arquitetônicos, que permitiam eficientes acabamentos e detalhes construtivos, além de conferirem um aumento da velocidade de execução e uma melhor qualidade estética do produto final.

Ainda na década de 1990, podemos citar o aparecimento de outros sistemas construtivos inovadores, como é o caso do Sistema Jetcasa (Figura 4). Em 1998, a empresa Jetcasa desenvolveu o sistema construtivo Jetcasa, que consistia na fabricação de painéis autoportantes estruturais com nervuras de concreto armado e fechamento com tijolo cerâmico de 8 furos. Esse sistema voltava a investir na racionalização e na redução de desperdícios construtivos, porém com elementos que exigiam um sistema de transporte mais robusto para promover sua eficiência, cujo mercado busca atender a casas de alto padrão, conjuntos habitacionais e empreendimentos comerciais.



Figura 4 – Sistema Jetcasa.  
Fonte: [www.sinduscon-pr.com.br](http://www.sinduscon-pr.com.br).

No Brasil, ainda predominam os sistemas construtivos convencionais, apesar de, nos últimos anos, ter havido uma maior aplicação de sistemas construtivos inovadores, que ainda necessitam de referências normativas para avaliações eficientes em termos de desempenho. A utilização de painéis de vedação tem se desenvolvido bastante, apesar de estar atrasada em relação ao uso dos mesmos na Europa e nos EUA, que já ocorre desde o século XIX.

Analisando os diversos sistemas construtivos pré-fabricados propostos ao longo dos anos, percebe-se que as preocupações relativas a esses sistemas evoluíram de forma significativa, passando a considerar questões que antes levaram ao fracasso, em larga escala, de sua utilização. Um dos aspectos fortemente incorporado é a questão do uso da Coordenação Modular, que permite que os elementos sejam empregados de forma padronizada e eficiente, diminuindo muito a incidência de desperdícios e a geração de resíduos em obras.

Percebe-se, também, que ainda persiste proposições mais acentuadas de sistemas construtivos que, apesar de racionalizados e padronizados, não consideram a questão do transporte e da manutenção de forma mais ponderada. Uma consequência disso é a proposição de painéis, seja de concreto, ou de blocos cerâmicos, de grandes dimensões e de peso muito considerável, de forma que a mobilização de seus elementos fica dependente de um sistema de transporte mecanizado e oneroso.

É inegável que a tendência, para os próximos anos, é que o processo de construção em mutirão continue em crescimento ainda por muitas décadas no Brasil. Não se pode ignorar que esse fenômeno deve ser levado em conta para a proposição de sistemas construtivos voltados para atender ao déficit habitacional brasileiro. Sabe-se que as moradias ofertadas para o setor de mais baixa renda, muitas vezes, poderiam ser erguidas pelo sistema de autoconstrução com supervisão técnica. Uma forma de promover esse processo e evitar a autoconstrução sem qualidade é investir na proposição de sistemas construtivos que possibilitem sua produção sem a necessidade de utilização mão de obra especializada. Uma das questões a ser levada em consideração, portanto, além da facilidade construtiva dos sistemas, é o peso e a dimensão das peças pré-fabricadas, que poderiam ser mais leves e menores, facilitando o manuseio e o transporte durante a construção em regime de mutirão.

Além disso, percebe-se que uma das grandes dificuldades de lidar com as inovações tecnológicas, dentro da construção civil, é a falta de segurança dos componentes da edificação quanto ao atendimento de requisitos mínimos de segurança e de conforto ambiental dos usuários. Por conta das rápidas transformações construtivas observadas, ao longo dos anos, surge o questionamento acerca de como avaliar o desempenho desses novos sistemas, demonstrando a grande importância da proposição de sistemas construtivos que não somente sejam aliados ao baixo custo e à rapidez de execução, mas,

principalmente, que se preocupem em atender a um eficiente desempenho, seja térmico, acústico ou estrutural, e a uma maior funcionalidade de seus elementos.

## 2.2 O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A INDUSTRIALIZAÇÃO

O processo de construção e de autoconstrução, nas cidades brasileiras, ainda é caracterizado por um processo construtivo essencialmente tradicional. Segundo Barbosa *et al.* (2011), a construção civil tem se baseado em um modelo de produção que é artesanal, o que gera uma produção onerosa, ineficiente e demorada.

Sabe-se que a indústria da construção civil brasileira, mesmo tendo promovido algumas mudanças dentro do setor, nas últimas décadas, ainda não conseguiu igualar seu nível de eficiência ao nível de outros setores da indústria nacional. Contribui para esse processo a adoção, já mencionada, em maior escala, dos processos construtivos convencionais. Dessa forma, a indústria da construção civil ainda pode ser considerada, no Brasil, como sendo uma indústria atrasada e detentora de algumas características específicas, tais como: mão de obra pouco qualificada, baixa mecanização da produção, baixa produtividade, alto índice de desperdício em seu processo produtivo e alta incidência de patologias construtivas (Figura 5).

<b>Características do atraso tecnológico na construção</b>
base manufatureira da construção
baixa mecanização do setor
ausência de coordenação entre projetos
ausência ou caracter sumário do controle da qualidade
insuficiência, desatualização das normas técnicas do setor
desconhecimento ou desobediência das normas técnicas existentes
baixa produtividade da mão-de-obra
alta incidência de patologias no produto
grandes desperdícios ao longo da produção
ambiente de trabalho adverso: ausência de segurança, baixa higiene no local de trabalho
utilização intensiva de horas, serões e viradas..

Figura 5 - Fatores característicos do atraso tecnológico da construção com base no IPT - 1988.

Fonte: (MÓDENA, 2009).

A baixa qualidade das construções também está relacionada à falta de domínio e de clareza dos processos construtivos, gerando, entre outras consequências, uma grande variabilidade de resultados, incompatibilidades construtivas e um maior descontrole sobre o processo construtivo. Diante desse cenário, a indústria da construção civil vem buscando modificar essa realidade a fim de diminuir os custos do processo produtivo e aumentar a eficiência de seus processos de produção e a qualidade final de seus produtos.

Segundo Caiado (2005), as características peculiares da construção civil e que dificultam o processo de transformação do setor, são as seguintes:

- A construção civil é uma indústria de caráter nômade;
- Seus produtos são únicos e não seriados;
- A produção é centralizada;
- Sua produção é realizada sob intempéries;
- Utiliza mão de obra intensiva, com pouca qualificação e com alta rotatividade;
- Possui baixo grau de precisão, se comparado com outras indústrias.

A reformulação do setor da construção civil exige estratégias de modernização através da utilização de recursos técnicos como, por exemplo, o emprego da racionalização construtiva na concepção e na execução das edificações. A tendência, portanto, seria o emprego de sistemas total ou parcialmente pré-fabricados, elevando, dessa maneira, o potencial de racionalização e pré-fabricação dos sistemas.

Ressaltando a urgente necessidade de modernização da indústria da construção civil, está o discurso de Sabbatini (1998), quando afirma que “a modernização da construção civil é hoje uma exigência da sociedade. Os desperdícios, os atrasos tecnológicos, a primariedade dos processos construtivos e o despreparo da mão de obra são temas discutidos por toda coletividade e não apenas no setor”.

Os sistemas construtivos industrializados têm se tornado cada vez mais necessários para que se possa alcançar a tão almejada modernização da construção civil. Pode-se afirmar que, a partir do processo de industrialização da construção, devido à atual necessidade de

se diminuir o tempo de execução das construções, de promover menores despesas e de oferecer uma maior produtividade em obra, o canteiro transforma-se em mero um local de montagem dos sistemas construtivos.

Segundo Ferreira (2009), a Construção Industrializada é, portanto, a construção com o emprego de processos industrializados. Além disso, o grau de industrialização de um processo pode ser medido por seu nível organizacional (Figura 6).

Segundo Sabbatini (1998), “a industrialização da construção é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e introdução de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva”.

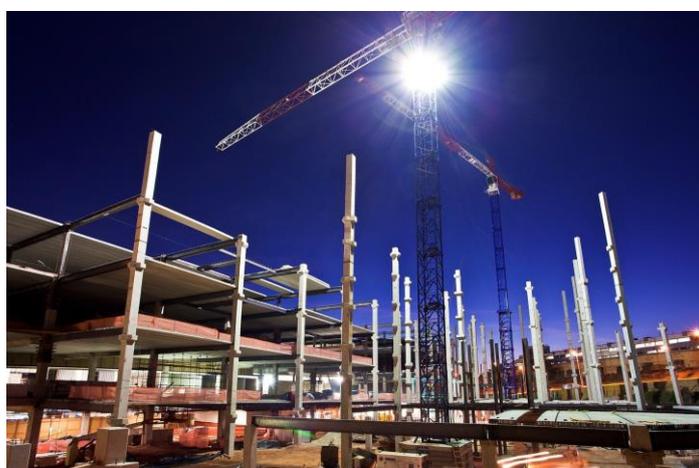


Figura 6 - Industrialização e racionalização construtiva.

Fonte: [www.feiraconstruir.com.br/bahia/pdfs/Palestra%20Iria%20Doniak.pdf](http://www.feiraconstruir.com.br/bahia/pdfs/Palestra%20Iria%20Doniak.pdf).

Dentre os benefícios gerados pela industrialização da construção, podemos destacar: a velocidade de execução da obra, um canteiro de obras limpo e organizado, a contribuição para a diminuição da geração de resíduos, a eliminação de desperdícios, um maior controle de qualidade da produção, dentre outros.

A industrialização da construção civil é um processo que também colabora com a sustentabilidade da construção, pois, através do emprego de técnicas de racionalização da construção, a geração de resíduos sólidos é menor, considerando que as peças são produzidas fora do canteiro, o que torna o sistema mais limpo, com menos desperdícios de materiais e, conseqüentemente, mais simplificado.

Muitos autores ressaltam que é necessária a aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos e que o caminho para a industrialização da construção brasileira não deve ser a total substituição de sua base produtiva por uma base totalmente industrializada, sendo necessário, em primeiro lugar, a busca pela organização do setor de acordo com medidas de planejamento voltadas para a racionalização construtiva.

Um dos processos construtivos industrializados mais significativos é a pré-fabricação. Segundo Oliveira (2002), “a pré-fabricação é considerada a manifestação mais significativa da industrialização da construção, sendo definida como uma fabricação industrial, de partes da construção, capazes de ser utilizadas mediante ações posteriores de montagem”.

## **2.3 RACIONALIZAÇÃO E PRÉ-FABRICAÇÃO**

### **2.3.1 Racionalização Construtiva**

Rosso (1990) define racionalização como “o processo material que governa a ação contra os desperdícios temporais e materiais dos processos produtivos, aplicando o raciocínio sistemático, lógico e resolutivo, isento do fluxo emocional”.

Sabbatini (1998) define ainda a racionalização construtiva como “um conjunto de todas as ações que tenham por objetivo o uso de recursos materiais humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases”.

A racionalização construtiva pode ser aplicada a diversos métodos, processos ou sistemas construtivos, significando a adoção de medidas de padronização de componentes para promover a simplificação das operações construtivas, o aumento da produtividade e a possibilidade de redução de custos.

A racionalização construtiva objetiva: a diminuição do consumo de materiais, a diminuição do consumo de mão de obra, a uniformização dos elementos e do produto, o aumento do nível de organização do canteiro de obras, o aumento da qualidade e do desempenho da construção e a diminuição de problemas patológicos gerados pela execução da edificação.

A racionalização construtiva, portanto, é uma ferramenta de essencial importância para a modernização da indústria da construção civil, pois procura promover a organização da produção e o aumento da eficiência do processo produtivo, que se constituem em estratégias de considerável urgência para o setor.

Dentre os princípios da racionalização construtiva, é importante destacar:

**A. Construtibilidade:** “é o uso otimizado do conhecimento das técnicas construtivas e da experiência nas áreas de planejamento, projeto, contratação e da operação em campo para se atingir os objetivos globais do empreendimento” (FRANCO e AGOPYAN, 1993).

**B. Desempenho:** é definido pelo Conceil International Du Bâtiment (CIB, 1975) como sendo o comportamento de um produto de utilização.

**C. Garantia de Qualidade:** é definida pela ISSO (International Organization for Standardzation) como sendo as características do produto que atendam às necessidades explícitas ou implícitas dos clientes, proporcionando satisfação.

Quando consideramos a aplicação dos princípios de construtibilidade, de desempenho e de garantia de qualidade, é preciso destacar o papel fundamental da coordenação de projetos. Segundo Franco e Agopyan (1993), a fase de concepção e de projeto desempenha um papel estratégico na medida em que as decisões tomadas trazem maior repercussão nos custos, na velocidade e na qualidade dos empreendimentos (Figura 7).

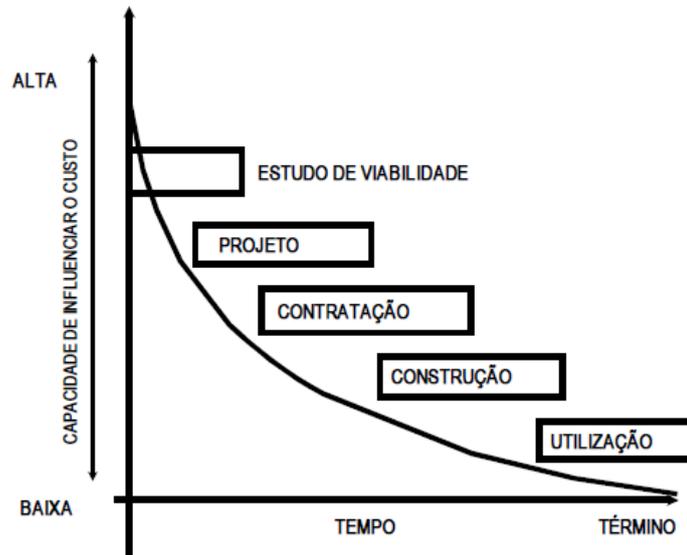


Figura 7 - Capacidade de influenciar o custo total durante o ciclo do empreendimento.  
 Fonte: (O'CONNOR e DAVIS, 1988).

O emprego da alvenaria racionalizada é uma das formas de aplicação da racionalização construtiva e da coordenação de projetos como estratégias produtivas. Existe, portanto, uma visão sistemática do processo onde os projetistas compatibilizam os sistemas e subsistemas, tornando o processo industrializado e reduzindo os desperdícios de materiais e a geração excessiva de resíduos (Figura 8 e Figura 9).



Figura 8 - Exemplo de alvenaria não racionalizada.  
 Fonte: <http://www.npc.ufsc.br/gda/humberto/08.pdf>.



Figura 9 - Emprego da alvenaria racionalizada.

Fonte: <http://www.revistatechne.com.br>.

A pré-fabricação é uma das ferramentas mais empregadas quando se busca o aperfeiçoamento do processo produtivo da construção civil e só pode ser considerada eficiente se nela estiver incorporada, como parte fundamental do processo, a racionalização construtiva e os princípios agregados a ela.

### 2.3.2 Pré-Fabricação

Antes de mencionar os aspectos relativos à pré-fabricação, é interessante mostrar os diferentes níveis de produção das edificações e suas respectivas características (Figura 10). Segundo Sabbatini (1989), os processos construtivos podem ser classificados da seguinte maneira:

- a) **Tradicional:** *“baseados na produção artesanal, com uso intensivo da mão-de-obra, baixa mecanização com elevado desperdício de mão-de-obra, material e tempo (...)”;*
- b) **Racionalização:** *“aqueles que incorporam princípios de planejamento e controle tendo como objetivo eliminar desperdício, aumentar a produtividade, planejar o fluxo de produção e programar as decisões”;*
- c) **Industrialização Plena:** *“baseados no uso intensivo de componentes e elementos produzidos em instalações fixas e posteriormente acoplados no canteiro (...)”.*



Figura 10 - Nível de produção de edificações tradicional (à esquerda). Nível de produção de edificações racionalizado (à direita).

Fonte: <http://www.ricardoferrao.com.br> e <http://www.sh.com.br>.

A pré-fabricação é uma ferramenta que está diretamente associada aos processos construtivos que empregam a racionalização, pois, assim como estes, possuem o objetivo de eliminar os desperdícios, aumentar a produtividade e programar as decisões. Além disso, essa ferramenta só é eficiente quando a racionalização é parte fundamental do processo.

Segundo Ordonéz *et al.* (1974), a pré-fabricação é “uma fabricação industrial, fora do canteiro, de partes da construção, capazes de serem utilizadas mediante ações posteriores de montagem.

A ABNT NBR 9062:2006 diferencia os componentes pré-fabricados dos elementos pré-moldados, afirmando que o pré-moldado é um elemento fabricado fora do local de utilização, sendo produzido em condições menos rigorosas de qualidade e sem necessidade de instalações próprias. Afirma também que o pré-fabricado é um elemento produzido fora do local da obra em instalações que disponham de pessoal e laboratórios de controle de qualidade.

No contexto histórico, a construção pré-fabricada de concreto começou a crescer, após a Segunda Guerra Mundial, a partir da necessidade de reconstrução da Europa. Por conta da falta de recursos da época, houve a necessidade de aplicação da racionalização construtiva e conseqüentemente da modularidade dos componentes construtivos, difundindo a industrialização da construção.

É importante mencionar que, no Brasil, não existiu uma política eficiente de desenvolvimento da construção industrializada. Percebe-se que, até hoje, a utilização dos processos pré-fabricados é mais expressiva em construções industriais, comerciais e em empreendimentos hoteleiros, baseando-se na busca pela redução de custos e pela agilidade de execução da obra.

Segundo Lopes *et al.* (2012), podemos citar como principais benefícios do uso da pré-fabricação:

- Simplificação do projeto e diminuição do tempo de construção;
- Maior coerência entre projeto e construção, uma vez que os pormenores construtivos irão coincidir com os elementos reais;
- Rapidez de execução dos elementos em obra, tornando-se menos dependentes das condições climáticas;
- Maior facilidade de desconstrução e desmontagem em caso de necessidade;
- Redução dos resíduos de construção produzidos em obra;
- Redução do tempo de construção;
- Aproveitamento de mão de obra não especializada.

Existem algumas razões que podem explicar a ocorrência da baixa aplicação da pré-fabricação na produção de edificações, tais como: o aumento do custo inicial da obra, o aumento do tempo de concepção, a necessidade de estudos mais aprofundados e de maior rigor na fase de projeto, a falta de experiência nesse tipo de processo, a existência de projetos pouco padronizados, a visível dependência do setor da construção civil em relação às tecnologias de construção convencionais e a influência cultural.

Por fim, outro ponto destacado por Lopes *et al.* (2012) é a relação entre a pré-fabricação e a sustentabilidade da construção:

- Redução de 50% da quantidade de água utilizada para construir uma casa típica;
- Redução de 50% dos materiais oriundos de uma pedreira;
- Redução de 50% do consumo de energia incorporada;
- Redução do tempo da construção, diminuindo o impacto de atividade da construção, reduzindo a exposição da população, da fauna e da flora ao ruído e à poluição do ar;

- Redução de resíduos associados à construção, que, no caso das demolições, representam de 30% a 40% da produção, tendência que pode aumentar.

### 2.3.3 Painéis Pré-Fabricados

Inicialmente, é importante mencionar como as vedações podem ser classificadas. Segundo Caiado (2005), as vedações podem ser de dois tipos (Figura 11):

a) **Vedação moldada in loco ou alvenarias:** produzida pela união de blocos através de argamassa de assentamento. Sua produção é artesanal, com baixa mecanização, elevado desperdício de mão de obra, de material e de tempo. Possui vantagens quanto à modulação e à forma final;

b) **Vedação industrializada:** são denominadas de painéis, posicionadas na estrutura da edificação, funcionando como “pele”, sem estrutura de apoio auxiliar, provido por sua geometria e resistência.



Figura 11 - Vedação moldada in loco (à esquerda). Vedação industrializada (à direita).

Fonte: <http://comoconstruirasuacasa.arteblog.com.br/20491/ALVENARIA/> e <http://estadodeminas.lugarcerto.com.br>.

Os painéis pré-fabricados, portanto, podem ser considerados como um tipo de vedação industrializada, por serem elementos previamente processados, em local próprio, direcionados à obra já prontos, aguardando o processo de montagem, o que difere da vedação moldada in loco, cuja produção é artesanal, mediante a união de blocos.

Os painéis pré-fabricados para vedação podem, em relação à sua disposição no espaço, ser elementos verticais ou horizontais, podendo, ainda, em relação à sua funcionalidade, atuar

tanto como envoltória externa da edificação, quanto como compartimentação interna ou até mesmo como meio de separação entre unidades habitacionais.

Construir com painéis significa, portanto, construir com elementos, que podem ser autoportantes ou não, e que possuem a função de separar e de delimitar os espaços. Dessa forma, podemos afirmar que os painéis pré-fabricados podem ter função estrutural, quando recebem as cargas da edificação, ou podem ser apenas elementos de vedação da edificação, quando necessitam de estrutura de suporte.

A adoção de painéis como alternativa à utilização da alvenaria tradicional deve ser feita na etapa de concepção do projeto, devendo este ser utilizado quando o custo da obra for compensado com o aumento da produtividade e quando houver otimização do uso da mão de obra através da eliminação de etapas construtivas.

Também é interessante, quando da utilização de painéis pré-fabricados, a observação acerca da dimensão dos mesmos. Quanto maior seu tamanho, mais rápida será a montagem final da edificação, aumentando o peso e os custos com equipamento de transporte, enquanto que, quanto menor o tamanho do painel, maior será o tempo de montagem da edificação e haverá maior agilidade no processo de fabricação.

César (2007) lista algumas vantagens da adoção do sistema construtivo de painéis pré-fabricados, tais como:

- Agilidade de construção;
- Assentamento executado por pequenas equipes de trabalho;
- Menor custo de construção, tanto para painéis estruturais, quanto para painéis de vedação;
- Redução de tempo da construção;
- Possibilidade de construção sem restrições climáticas;
- Melhor entendimento dos riscos de projeto e desperdícios, com consequente redução de custos;
- Possibilidade de colocação dos painéis com acabamentos incorporados.

Franco (2005) propõe a seguinte classificação para os painéis pré-fabricados:

- a) **Quanto à posição:** externos ou internos;
- b) **Quanto à execução:** por conformação (obtido por moldagem a úmido no local), por acoplamento a seco (obtido por montagem através de dispositivos de fixação) e por acoplamento úmido (obtido com montagem a seco com solidarização através de argamassa ou concreto);
- c) **Quanto à densidade superficial:** leves ou pesados;
- d) **Quanto à estruturação:** auto suporte (não possui estrutura complementar) e estruturado (possui estrutura de suporte);
- e) **Quanto à continuidade superficial:** monolíticos (sem junta aparente) e modulares (com juntas aparentes).

Quanto ao posicionamento, os painéis pré-fabricados ainda podem ser classificados como verticais ou horizontais (Figura 12). Os painéis de vedação horizontais podem ser exemplificados pelas lajes e pelos forros, enquanto que os painéis de vedação vertical compreendem as paredes, as divisórias e os vãos de esquadrias e os revestimentos incorporados.



Figura 12 - Laje pré-fabricada: elemento de vedação horizontal (à esquerda). Painel pré-fabricado: elemento de vedação vertical (à direita).

Fonte: <http://rj.quebarato.com.br> e <http://www.arcoweb.com.br>.

Os painéis pré-fabricados de vedação verticais têm a função de criar condições de habitabilidade e de servir como mediadores entre os meios interno e externo da edificação. Nesse subsistema de vedação, podemos observar a ocorrência dos maiores índices de desperdícios de materiais e de mão de obra, além da ocorrência dos maiores índices de patologias construtivas.

Existem vários tipos de painéis pré-fabricados, sejam eles de função estrutural ou de vedação. Dentre eles, podemos citar:

- Painel pré-fabricado de concreto (maciço ou vazado, estrutural ou de vedação);
- Painel pré-fabricado com blocos cerâmicos (maciço estrutural);
- Painel pré-fabricado do tipo Light Steel Framing (perfilado estrutural);
- Painel pré-fabricado do tipo Wood Frame (perfilado estrutural);
- Painel pré-fabricado de gesso acartonado ou drywall (painel de material composto para vedação);
- Painel pré-fabricado GRC (painel de vedação);
- Painel pré-fabricado com garrafas PET (painel estrutural ou de vedação).

### 2.3.4 Painéis Pré-Fabricados de Concreto

Dentre os painéis pré-fabricados verticais, os painéis de concreto sempre foram e continuam sendo utilizados em proporções consideráveis, seja com função estrutural, seja com função de vedação. Possuem diversos formatos e possibilidades de acabamento, constituindo-se em uma opção bastante considerada em pesquisas e dentro do mercado da construção civil.

Segundo Silva (2004), os painéis pré-fabricados de concretos podem ser classificados quanto ao formato geométrico da seguinte forma (Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16):

- a) **Maciços** – aqueles cuja seção transversal é constituída por apenas um tipo de material, que ocupa todo o volume aparente da peça;
- b) **Alveolares** – aqueles cuja seção transversal é constituída por partes ocas (vazios) em todo o comprimento da peça;
- c) **Sanduíches** – aqueles constituídos de duas camadas de concreto separadas por um material não estrutural com características de isolante térmico ou acústico;
- d) **Nervurados** – aqueles reforçados por um sistema de nervuras em uma ou duas direções da peça.

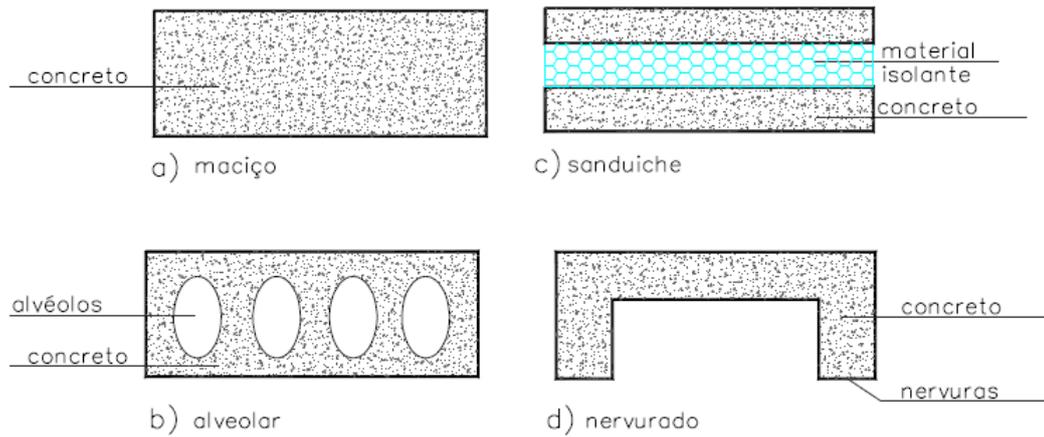


Figura 2-2 – Tipos de seção transversal do painel

Figura 13 - Tipos de seção transversal do painel de concreto.

Fonte: (OLIVEIRA, 2002).

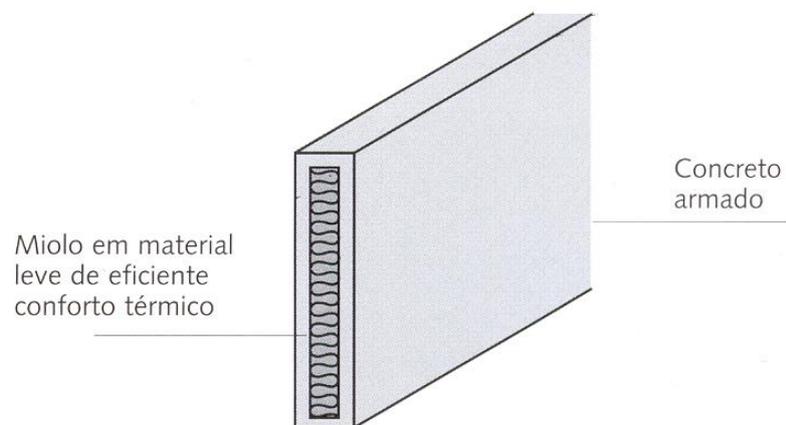


Figura 14 - Painel de concreto tipo sanduíche.

Fonte: (NETO *et al.*, 2004).

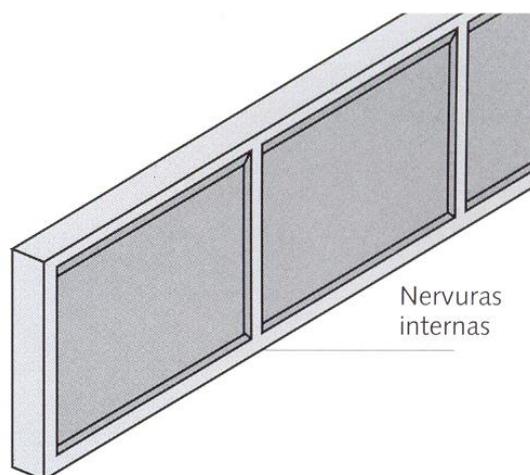


Figura 15 - Painel de concreto nervurado.  
 Fonte: (NETO *et al.*, 2004).

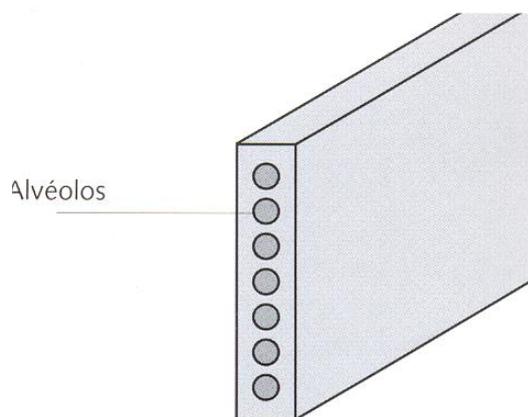


Figura 16 - Painel de concreto alveolar.  
 Fonte: (NETO *et al.*, 2004).

Podemos caracterizar os painéis pré-fabricados de concreto maciços da seguinte forma:

- Fazem parte do subsistema de vedação vertical;
- Possuem os seguintes componentes de formação: painel, fixação e juntas;
- São compostos de unidades pré-fabricadas em formas especiais ou padronizadas;
- São mais resistentes e de flexibilidade volumétrica;
- São maciços, pesados e com baixo desempenho como isolantes térmicos;
- Podem ser usados como elemento estrutural ou de vedação;
- Podem ser produzidos industrialmente ou na própria obra.

De acordo com Oliveira (2002), podemos ainda classificar os painéis pré-fabricados de concreto quanto ao acabamento de sua face externa em:

- a) **Sem revestimento** – aparente (textura e cor natural do concreto);
- b) **Com revestimento** – denominado, pelo mercado, de painel arquitetônico: pintado (textura e cor dadas por um revestimento de pintura), com revestimento incorporado no processo de moldagem e com revestimento incorporado após a desforma dos painéis.

Silva (2004) faz uma classificação dos painéis de concreto, para vedação, quanto ao suporte ou não da estrutura, em:

- a) **Painéis-cortina:** painéis sem função estrutural que recobrem externamente a estrutura da edificação. A principal vantagem é sua retirada do local sem modificação na estabilidade estrutural do edifício;
- b) **Painéis de vedação:** painéis sem função estrutural, fixados à estrutura principal do edifício, preenchendo os vãos entre elementos estruturais.

Dentre as vantagens da utilização do painel pré-fabricado de concreto, pode-se destacar as seguintes:

- A padronização dos painéis gera economia;
- Resistência ao fogo, inércia térmica e acústica e boa relação resistência/peso próprio;
- Variedade de dimensões e de acabamentos;
- Possuem boa durabilidade, necessitando de pouca manutenção;
- Os revestimentos podem ser incorporados na própria fábrica;
- Permite a possibilidade de emprego como painel estrutural;
- A instalação de caixilhos e de isolamento é feita na fábrica.

Silva (2004) cita as principais desvantagens da utilização do painel pré-fabricado de concreto:

- Quando não padronizados, geram altos custos por não aproveitamento de formas;
- Grande peso, dificultando o manuseio e o transporte;
- Falta de normalização;
- Dificuldade de manuseio/substituição de componentes devido ao peso;
- Probabilidade de ocorrência de problemas de corrosão, em caso de descuido.

### 2.3.5 Sistemas Construtivos Pré-Fabricados de Interesse Social

Existem, atualmente, no mercado, algumas empresas que trabalham com sistemas de casas pré-fabricadas de interesse social, cuja configuração de elementos construtivos baseia-se em um sistema de encaixe de painéis de concreto com pilares de concreto. A montagem dos painéis é feita encaixando nos pilares e colocando uma peça sobre a outra, partindo do chão (Figura 17). É o caso, por exemplo, de empresas como a Avante Pré-Moldados em Minas Gerais e a Itakits, em São Paulo.



Figura 17 – Encaixe da placa com o pilar (à esquerda) e pilares de concreto armazenados (à direita).

Fonte: <http://casadeconcreto.com.br/etapas.html>.

O que se pode verificar de semelhante entre todas as propostas é a utilização de placas de concreto armado vibrado e de pilares de concreto armado. As placas geralmente são moduladas e encaixadas nos pilares da estrutura, rejuntadas com argamassa polimérica. As casas pré-fabricadas ITAKITS, por exemplo, utilizam uma modulação de 98 cm (Figura 18). Além disso, muitas vezes, o acabamento externo é executado em forma de tijolos de alvenaria (Figura 19).

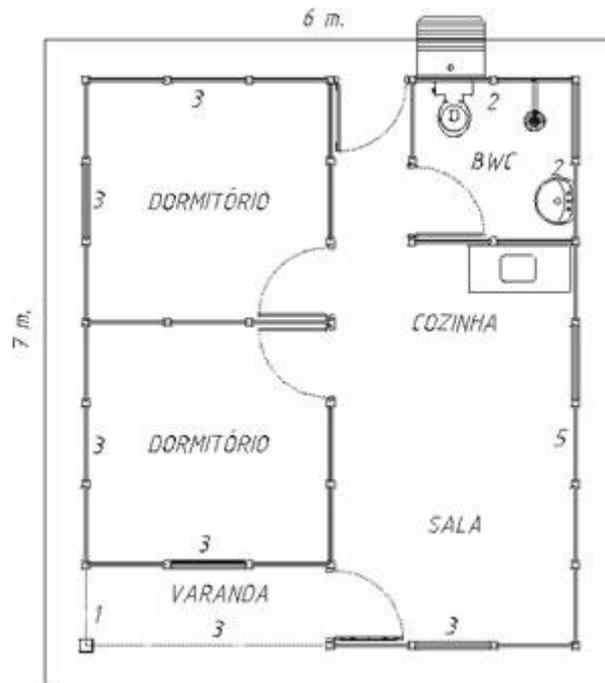


Figura 18 – Projeto de residência do sistema Itakits.  
 Fonte: <http://www.itakits.com.br/empresa/empresa.htm>.



Figura 19 – Placas pré-moldadas e construção do sistema da Avante Pré-moldados.  
 Fonte: <http://www.premoldadosavante.com.br/portfolio.html>.

Esse sistema surgiu, no mercado, por volta do final da década de 1990, tornando-se bastante inovador para a época. Passados alguns anos, nota-se que não houve muita evolução em termos formais e técnicos, que continuam a oferecer praticamente as mesmas possibilidades construtivas. O que se desenvolveu foram as possibilidades de uso do sistema, que passou a ser empregado tanto em empreendimentos residenciais, como comerciais e outros. Além disso, verifica-se que houve um aumento das possibilidades de emprego desse sistema em conjunto com outros materiais, tais como a madeira e pedras naturais (Figura 20).



Figura 20 – Sistema pré-fabricado Nova Casa.  
Fonte: <http://casadeconcreto.com.br/etapas.html>.

Como aspecto positivo, cabe citar o emprego da pré-fabricação e da Coordenação Modular dos componentes, que reduzem, significativamente, os desperdícios e aceleram o tempo de execução da obra. Por outro lado, há uma limitação estética desses sistemas em termos de acabamento, pois, por conta da diferença de espessura das placas em relação aos pilares, não há a possibilidade de uniformizar a superfície externa, fazendo que a estrutura da edificação fique sempre aparente (Figura 21 e Figura 22). Além disso, a pequena espessura das placas de concreto pode não ser uma opção muito vantajosa em termos de desempenho térmico e acústico.

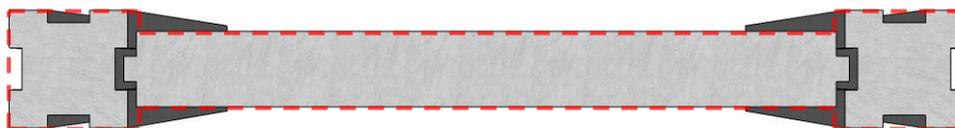


Figura 21 – Representação do encaixe das placas com os pilares no sistema Itakits.  
Impossibilidade de uniformização da superfície.  
Fonte: Arquivo Pessoal.



Figura 22 – Detalhe da casa pronta do sistema Nova Casa com estrutura aparente.  
Fonte: <http://casadeconcreto.com.br/etapas.html>.

## **2.4 COORDENAÇÃO MODULAR**

### **2.4.1 Coordenação Dimensional**

De acordo com Andrade (2000), a coordenação dimensional pode ser entendida como o emprego de padrões de dimensão com o objetivo de criar boas relações de escala e de proporção entre as partes da edificação.

Segundo Nissen (1976), todo projeto necessita de uma coordenação dimensional. Comprimentos, superfícies e volumes devem ser dimensionados através de sua estrita relação. Dessa forma, é um processo que permite a introdução de procedimentos padronizados na execução e que aumenta a precisão com que se produz a obra.

Segundo Caporioni *et al.* (1971), a Coordenação Modular é um nome particular dado à coordenação dimensional da edificação quando esta se obtém utilizando um módulo de referência.

## **2.4.2 Coordenação Modular**

### 2.4.2.1 Conceito

Como definição básica, pode-se citar a NBR 5706:1977 que diz: “Técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de reticulado espacial modular de referência”.

A Coordenação Modular pode ser considerada como um instrumento geométrico, físico e econômico que tem por função: compatibilizar dimensionalmente os espaços disponíveis e ocupados de uma edificação. Enquanto utilizada como instrumento de projeto, tem por objetivo contribuir para a melhoria da qualidade do mesmo, facilitando a concepção, a elaboração e a construção das edificações.

Segundo Lucini (2001), pode ser compreendida como um sistema dimensional de referência que se baseia em medidas de um módulo de referência e que compatibiliza e organiza a aplicação racional de técnicas construtivas. Constitui-se como instrumento importante para alcançar níveis de racionalização e de normalização pretendidas.

Para Mascaró (1976), a Coordenação Modular é “um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes”.

### 2.4.2.2 Caracterização

Surge como ferramenta que busca o controle, a estabilidade do produto e dos procedimentos da produção, compondo um claro sistema de leis e de princípios. “É ferramenta indispensável para o processo de industrialização da construção, reformulando os procedimentos de projeto e alcançando o canteiro de obras” (...) (BARBOSA *et al.*, 2011).

A técnica da Coordenação Modular requer o estabelecimento de um sistema que coordene as dimensões do projeto, fazendo uso de três princípios fundamentais: o sistema de

referência, o módulo e o ajuste modular. Sua aplicação nos processos construtivos proporciona simplificação, organização, rapidez de produção, redução de mão de obra, de desperdícios de materiais e de custos na construção.

“É um sistema que qualificou a indústria da construção em um grande número de países, e, no contexto atual da produção de edificações, é imprescindível que ela volte a ser considerada, agora aliada a questões econômicas e de sustentabilidade” (GREVEN e BADAULF, 2007).

A Coordenação Modular promove a chamada construtibilidade na construção civil, o que significa, de forma simplificada, facilitar a etapa de construção. Através dessa construtibilidade e da padronização dos elementos, possibilita a redução de desperdícios, o aumento da produtividade e uma maior qualificação da indústria da construção civil.

#### 2.4.2.3 Coordenação Modular e Arquitetura

Ao longo da história da arquitetura, existiram regras para definir, organizar e estruturar o espaço. Tais regras continuam tendo o mesmo valor para o arquiteto. Prova disso são as diversas teorias de proporções desejáveis desenvolvidas no decorrer da história: a Secção Áurea, as Ordens Clássicas e Renascentistas, o Modulor de Le Corbusier (Figura 23), entre outros.

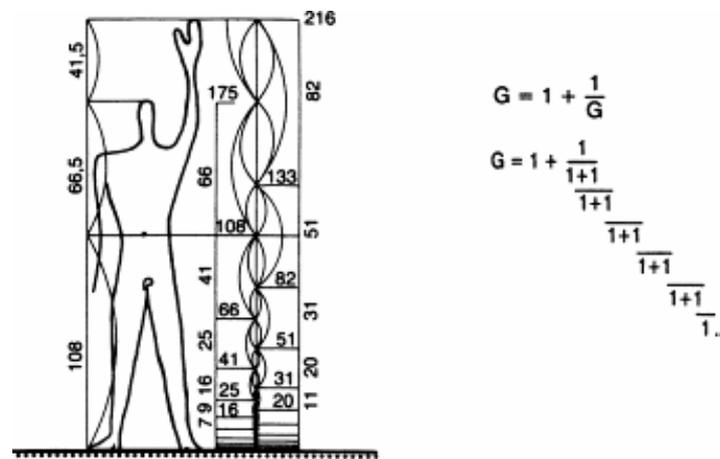


Figura 23 - Modulor de Le Corbusier.  
Fonte: (ZECHMEISTER, 2005).

Historicamente, muitos autores afirmam que o uso do módulo aparece, na Arquitetura, inicialmente, através de uma interpretação clássica dos gregos sob um caráter essencialmente estético (dimensão das colunas). Para os romanos, o módulo já aparece, na arquitetura, sob um caráter tanto estético quanto funcional, enquanto que os japoneses já o utilizavam sob um caráter primordialmente funcional.

“Na arquitetura helênica (Grécia Antiga), como na egípcia, já se construiu partindo de uma medida básica. No primeiro caso, o raio da coluna serviu de unidade para determinar as demais medidas do edifício e no segundo, a distância alcançada por um homem ao estender seu braço horizontalmente” (ARGENTINA, 1977).

Considera-se, como primeira aplicação da Coordenação Modular, o Palácio de Cristal, projetado por Joseph Paxton e construído entre 1850 e 1851 (Figura 24). “A partir de então, arquitetos e engenheiros de várias escolas e nacionalidades sensíveis às modificações provocadas pela industrialização crescente e pela produção em massa (...)” (ROSSO, 1976).



Figura 24 – Palácio de Cristal, de Joseph Paxton.

Fonte: <http://hid0141.blogspot.com.br/2013/10/fotos-antigas-de-londres-na-era.html>.

Segundo Bruna (1976), O Palácio de Cristal antecipou em cem anos a problemática que os arquitetos e engenheiros do pós-guerra na Europa deveriam enfrentar com a industrialização da construção.

A partir do processo de industrialização que se processou em vários setores, no século XX, a construção civil passou por uma profunda revisão. Profissionais da área iniciaram e

desenvolveram diversos estudos, na Europa, a respeito da pré-fabricação e, conseqüentemente, da Coordenação Modular. Na Europa, na década de 1950, realizaram-se esforços importantes na tentativa de determinar sistemas de Coordenação Modular que contribuíssem para a produção em larga escala.

Desde a época da Revolução Industrial, arquitetos e engenheiros de várias escolas, tais como Walter Gropius, Ernest Neufert e Le Corbusier, sensíveis às modificações geradas pela industrialização crescente, começaram a submeter o processo arquitetônico a um profundo trabalho de revisão. Pode-se dizer que, desde então, o estudo e a aplicação da Coordenação Modular assumiram um caráter universal.

#### 2.4.2.4 O Módulo

A partir do Tratado de Arquitetura escrito pelo arquiteto-engenheiro Vitruvius, no século I a.C, explica-se a aplicação de módulos que garantam a proporção e a simetria na criação de efeitos plásticos das formas arquitetônicas. Nesse contexto, o módulo é a unidade básica de medida usada para quantificar e medir um espaço. A utilização do módulo, na arquitetura, intensificou-se somente após a 2ª Guerra Mundial, quando os países passaram a necessitar de métodos construtivos mais simplificados, rápidos e de custo baixo.

A palavra “módulo” tem origem no latim *modulu* e, para Ferreira (1999), é uma medida reguladora das proporções de uma obra e é uma quantidade que se toma como unidade de qualquer medida. A Coordenação Modular utiliza um vocabulário técnico específico. No Brasil, esses termos estão definidos na norma técnica ABNT NBR 5731: 1982.

A Coordenação Modular se baseia em um princípio fundamental: o espaço ocupado por um elemento ou componente construtivo deve ter medidas múltiplas de 100 mm nas três dimensões (Figura 25). Diante disso, pode-se concluir que o módulo é uma medida utilizada como padrão construtivo que tem o intuito de simplificar e de ordenar o desenvolvimento da obra, facilitando sua execução.

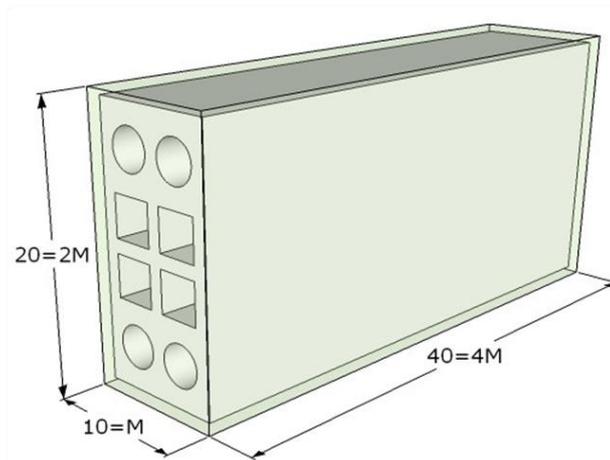


Figura 25 - Coordenação Modular em blocos utilizados na construção civil.  
Fonte: [http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/23\\_cm/index.html](http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/23_cm/index.html).

### 2.4.3 Objetivos da Coordenação Modular

- Racionalizar a construção e simplificar o projeto;
- Possibilitar níveis de repetição de técnicas e processos;
- Possibilitar níveis de redução de variedade de tipos e de dimensões de componentes;
- Possibilitar níveis de aumento de produtividade na fabricação e na montagem;
- Racionalizar a variedade de medidas de coordenação empregada na fabricação de componentes construtivos;
- Simplificar o processo de marcação no canteiro de obras para posicionamento e instalação de componentes construtivos;
- Aumentar a intercambialidade entre componentes construtivos.

### 2.4.4 Vantagens do Uso da Coordenação Modular

- Simplificação da elaboração do projeto;
- Normalização dos componentes de construção;
- Otimização das dimensões com redução da possibilidade de formatos discrepantes de componentes construtivos;
- Redução de problemas de interface entre componentes e subsistemas;
- Padronização dos detalhes e precisão dimensional;

- Racionalização e simplificação na execução da obra devido à facilidade de montagem;
- Redução de quebras de materiais, evitando-se perdas na construção.

#### **2.4.5 Barreiras à Implementação da Coordenação Modular**

- Uso de elementos diversificados (blocos, telhas, etc) que não possuem nenhuma relação métrica entre si, obrigando que, nas obras, sejam feitas as mais diversas adaptações;
- Muitos arquitetos ainda têm dúvidas se a padronização dos meios diminui ou não a liberdade criativa;
- Falta de conhecimento pelos agentes da construção sobre a Coordenação Modular;
- Falta de conhecimento do conceito e da aplicação do método, de modo geral;
- Reconhecimento limitado de seus benefícios;
- Diversidade e incoerência das normas relativas ao assunto, gerando confusão em relação à sua implantação;
- Persistência de preconceitos como a ideia de que a construção coordenada levaria a uma monotonia do ambiente construído.

#### **2.4.6 Instrumentos da Coordenação Modular**

##### **2.4.6.1 Sistema de Referência**

É formado por pontos, linhas e planos em relação ao qual ficam determinadas a posição e a medida de cada componente da construção. Nesse sistema, pode-se estabelecer um plano horizontal de referência definido por dois eixos cartesianos ortogonais  $x$  e  $y$ , e por dois planos verticais de referência, definidos pelos eixos cartesianos ortogonais  $x$ ,  $y$  e  $z$  (ROSSO, 1976) (Figura 26).

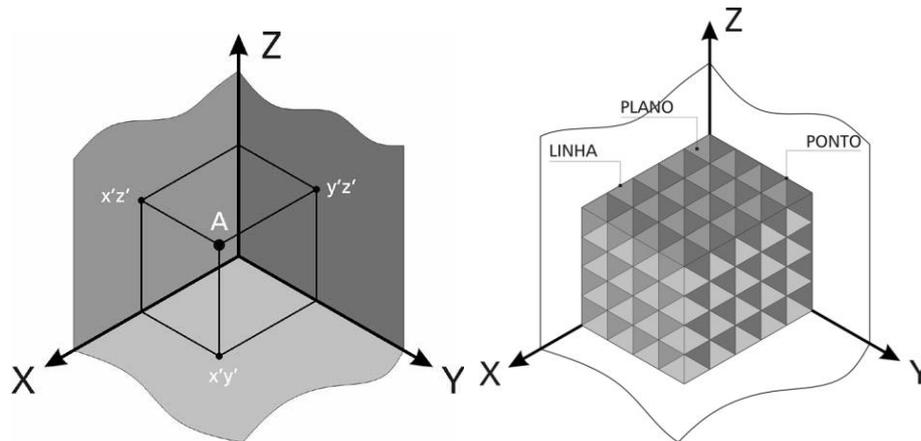


Figura 26 - Sistema de Referência e Reticulado Modular Espacial de Referência.  
 Fonte: (GREVEN e BADAULF, 2007).

#### 2.4.6.2 Reticulado Modular Espacial de Referência

É constituído pelas linhas de interseção de um sistema de planos separados entre si por uma distância igual ao módulo e paralelo a três planos ortogonais, dois a dois. Configura uma malha espacial que serve de referência para o posicionamento dos componentes da construção, das juntas e acabamentos (ABNT NBR 5706: 1977) (Figura 26).

#### 2.4.6.3 Sistema Modular de Medidas

É baseado na unidade de medida básica da Coordenação Modular, o módulo, e em alguns múltiplos dele (GREVEN e BADAULF, 2007).

#### 2.4.6.4 Medida Modular

É a medida igual a um módulo ou um múltiplo inteiro de um módulo. Inclui o componente e a folga perimetral, necessárias para absorver as tolerâncias de fabricação e a colocação em obra. Garante que cada componente disponha de espaço suficiente para sua colocação em obra, sem invadir a medida modular do componente adjacente (LUCINI, 2001).

#### 2.4.6.5 Junta Modular

É a distância prevista no projeto arquitetônico entre os extremos de dois componentes (GREVEN e BADAULF, 2007).

#### 2.4.6.6 Ajuste Modular

É uma medida que relaciona a medida de projeto do componente com a medida modular. Estabelece a relação dos componentes da construção com o sistema de referência. Permite definir com segurança os limites dimensionais dos elementos em função das exigências de associação ou montagem (GREVEN e BADAULF, 2007). (Figura 27).

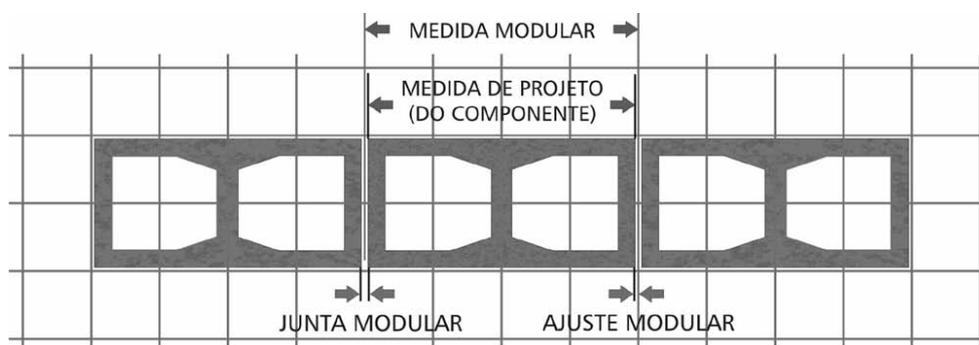


Figura 27 - Medida Modular, Medida de Projeto, Junta Modular e Ajuste Modular.  
Fonte: (GREVEN e BADAULF, 2007).

#### 2.4.6.7 Termos e Definições

- a) **Medida Nominal:** determinada para o projeto ou produção de um componente. É sempre inferior à medida modular para possibilitar a inclusão de tolerâncias de fabricação e sua colocação em obra sem invadir a medida modular do componente adjacente.
- b) **Medida Real:** aquela que se obtém ao medir qualquer componente de construção. Será maior ou menor que a medida nominal de acordo com as tolerâncias previstas na produção do componente.
- c) **Tolerância de Fabricação:** diferença máxima admissível entre a Medida Nominal e a Medida Real.

- d) **Junta Nominal:** distância prevista no projeto entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção a partir de sua Medida Nominal.
- e) **Junta Real:** distância real, medida em obra, entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção.
- f) **Módulo Básico:** menor unidade de medida linear da Coordenação Modular, representada pela letra M.
- g) **Espaço de Coordenação:** espaço necessário a um elemento, incluídas folgas para deformações e instalação, tolerâncias e materiais de união.
- h) **Elemento Modular:** elemento construtivo cujas medidas de coordenação são modulares.
- i) **Conjunto Modular:** agrupamento de componentes construtivos que, em conjunto, resultam em medidas de coordenação modulares.
- j) **Medida Modular:** Medida Nominal + Ajuste de Coordenação (LUCINI, 2001).

## 2.4.7 Aplicações

### 2.4.7.1 Light Steel Framing - LSF

De acordo com Jardim e Campos (2005), o LSF caracteriza-se como um sistema construtivo aberto que confere potenciais de utilização de materiais diversos, flexibilidade, controle de recursos e customização. Segundo Vivan *et al.* (2010), em um empreendimento que utiliza o sistema LSF, a Coordenação Modular torna-se uma estratégia de projeto da maior importância.

Freitas e Crasto (2006) incluem a modulação como um dos fundamentos do sistema LSF (Figura 28). A adoção da estratégia de Coordenação Modular, dessa forma, pode ser considerada como um instrumento fundamental para a implementação da racionalização construtiva no processo de projeto e para a normalização de elementos na construção.

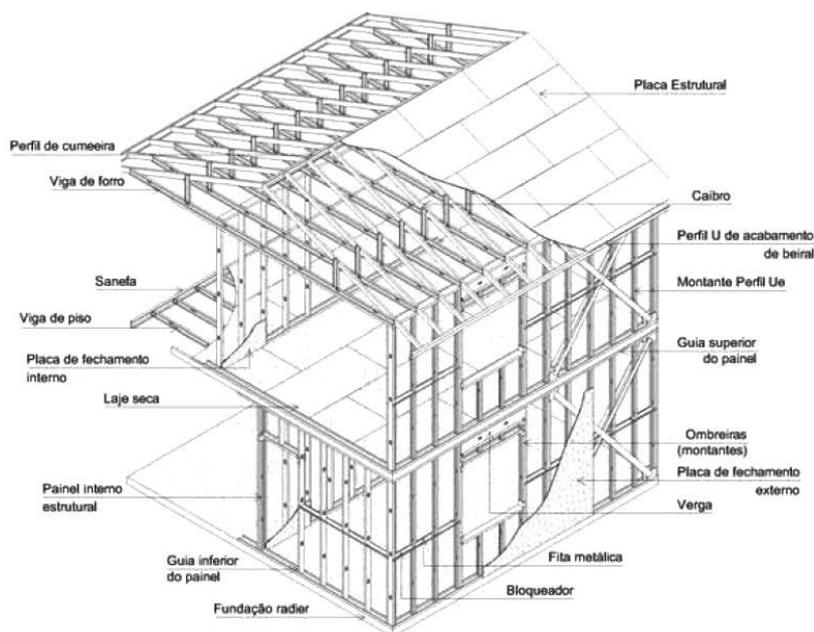


Figura 28 - Desenho esquemático de uma residência em *Light Steel Framing*.  
Fonte: FREITAS e CRASTO (2006).

#### 2.4.7.2 Alvenaria Racionalizada

Tem-se verificado que a padronização das unidades de alvenaria no Brasil é uma medida extremamente necessária, pois tais elementos são uma constante na atividade construtiva. Apesar dessa constatação, ainda é comum observar, nas obras, o uso de blocos de comprimentos incompatíveis. Os resultados dessa falta de padronização de elementos são custos excessivos, projetos complexos, desperdícios de materiais, entre outros prejuízos.

A alvenaria estrutural é um exemplo de sistema construtivo que demonstra grande viabilidade e possibilidade de emprego da Coordenação Modular, pois é um sistema que já agrega conceitos de industrialização, pré-fabricação e racionalização construtiva. A vantagem de utilizar a modulação nesse tipo de sistema é a possibilidade de padronizar seus elementos, proporcionando diversos benefícios, tais como: a diminuição de desperdícios, a rapidez de execução da obra e a economia de custos (Figura 29 e Figura 30).

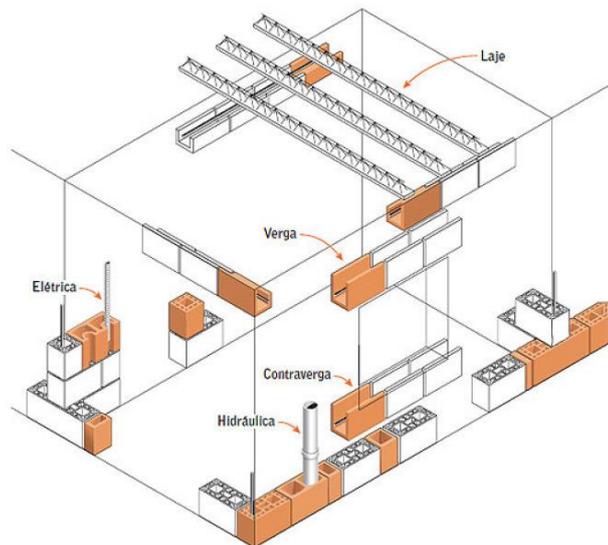


Figura 29 - Desenho esquemático de uma residência em alvenaria estrutural, com destaque para os blocos diferenciados.

Fonte: (ROMCY, 2012).

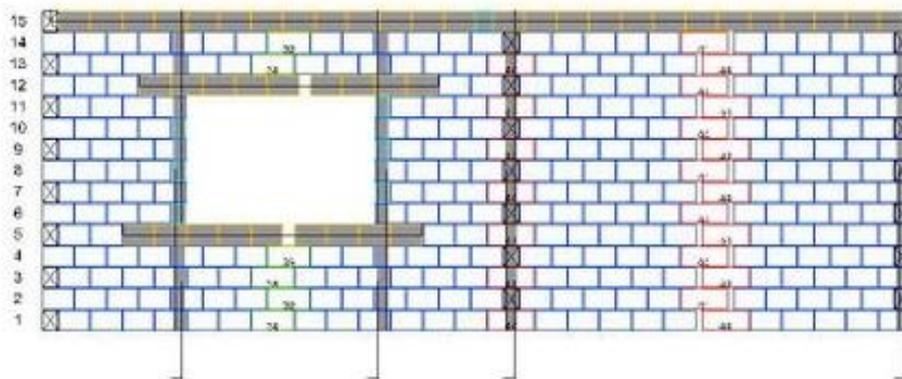


Figura 30 - Exemplo de paginação de uma parede de alvenaria estrutural.

Fonte: <http://eng-cirilojr.blogspot.com.br/p/projeto-estrutural-em-alvenaria-armada.html>.

#### 2.4.7.3 Bloco Cerâmico – Projeto MEHIS

O Projeto MEHIS, desenvolvido através da pesquisa “Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais” do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, apresentou como objetivo o desenvolvimento e a difusão de melhorias no processo tradicional de construção em alvenaria cerâmica voltado para Habitação de Interesse Social (HIS).

Foram feitos estudos associados à produção de elementos cerâmicos para a alvenaria. Um dos resultados obtidos foi uma família de blocos cerâmicos, coordenados modularmente, utilizando a malha decimétrica como referência espacial (Figura 31).

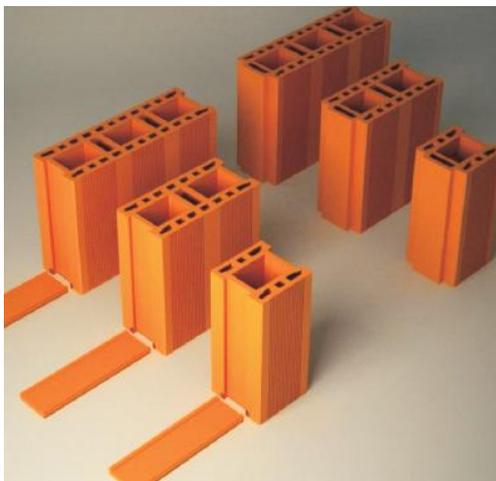


Figura 31 - Perspectiva dos blocos básicos da família MEHIS, com destaque para o sistema de encaixe removível.  
Fonte: (ROMCY, 2012).

## 2.5 RESÍDUOS SÓLIDOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD

### 2.5.1 Resíduos Sólidos

Segundo a ABNT NBR 10004:2004, resíduos sólidos são “resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”.

De acordo com Pupo (2012), ficam também incluídos na definição de resíduos sólidos os lodos provenientes dos tratamentos de água, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água ou que exijam soluções técnicas economicamente inviáveis.

Alguns autores exemplificam os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) da seguinte maneira:

a) **Pneus inservíveis e derivados da borracha:** continuam sendo depositados inadequadamente no meio ambiente. A questão destes pneus requer uma atenção especial,

pois, além de constituírem um passivo ambiental, ocasionam sérios riscos ao meio ambiente (RODRIGUES JORGE *et al.*, 2004);

b) **Resíduos sólidos de construção:** ao relacionar os resíduos sólidos de construção com os resíduos urbanos gerados em algumas cidades brasileiras, os resíduos de construção representam, em massa, por volta de dois terços de todos os resíduos gerados na malha urbana (SOUZA *et al.*, 2004);

c) **Plástico:** assumiu grande importância econômica na sociedade moderna. Porém, seus problemas ambientais são de ordem global, gerando múltiplos resíduos, consumindo matérias-primas e energia e avolumando-se nos aterros sanitários (PUPO, 2012);

d) **Resíduos agroindustriais:** são provenientes de processos produtivos da atividade agrícola, ou seja, são provenientes de matérias-primas produzidas no campo, resultantes das atividades de colheita. Exemplos: bagaço e palhiço de cana-de-açúcar, casca de arroz, sabugo de milho, casca de amendoim, entre outros (PUPO, 2012);

Devido à sua acumulação no meio ambiente, os resíduos sólidos são materiais que, apesar de serem rejeitos de diversas atividades industriais, domésticas, de construção, entre outras, devem ser corretamente destinados e, sempre que possível, devem ser reutilizados e reciclados para que possam retornar à cadeia produtiva de forma sustentável.

Podemos observar que os resíduos sólidos urbanos, industriais e agroindustriais representam, atualmente, um grande avanço no mercado mundial em relação à tecnologia de produção de painéis pré-fabricados compostos, evidenciando a possibilidade de utilização de materiais alternativos na produção de elementos construtivos.

A ABNT NBR 10004: 2004 classifica os resíduos sólidos segundo cinco critérios: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, e patogenicidade:

a) **Classe I – Perigosos:** quando suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente;

b) **Classe II A - Não Inertes:** aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I ou de resíduos Classe II B. São aqueles que podem ter propriedades, tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

c) **Classe II B – Inertes:** não apresentam, após testes de solubilização, concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água;

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) classifica, na Resolução nº 358 (2005), os resíduos sólidos da seguinte forma (Figura 32 e Figura 33):

- a) **Grupo A:** Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção;
- b) **Grupo B:** Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Enquadram-se nesse grupo as drogas quimioterápicas, resíduos farmacêuticos e demais produtos perigosos;
- c) **Grupo C:** Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista;
- d) **Grupo D:** Resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares;
- e) **Grupo E:** Materiais perfurocortantes ou escarificantes.



Figura 32 - Resíduo classe A (à esquerda) e resíduo classe B (à direita).  
Fonte: (FRAGA, 2006).



Figura 33 - Resíduo classe C – gesso (à esquerda) e resíduo classe D (à direita).  
Fonte: (FRAGA, 2006).

A relação entre os resíduos e a problemática ambiental torna-se cada vez mais evidente quando se está tratando de resíduos de constituição sólida, pois o grau de dispersão desses elementos é consideravelmente menor do que o grau de dispersão dos elementos líquidos e gasosos, gerando maior acúmulo dos mesmos no meio ambiente e, portanto, maiores impactos ambientais.

Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil -2012, pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o Brasil produziu no ano de 2012, cerca de 62.730.096 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), apresentando um crescimento de 1,3% em relação ao ano de 2011, quando produziu cerca de 61.936.368 toneladas.

A importância inicial dada aos impactos gerados pelos resíduos sólidos promoveu um enfoque que recaiu muito mais sobre os problemas causados por resíduos sólidos considerados mais agressivos, como, por exemplo, os resíduos sólidos domiciliares (RSD) e os resíduos sólidos de saúde (RSS). Porém, devido ao aprimoramento das investigações sobre os diversos aspectos relativos aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), verificou-se a real dimensão dos problemas causados pelos grandes volumes gerados de Resíduos da Construção Civil (RCC), que segundo Pinto (1999), estima-se que esteja entre 41% a 71% dos resíduos sólidos produzidos em todo o ambiente urbano.

## **2.5.2 Resíduos Sólidos de Construção Civil (RCC)**

### **2.5.2.1 Definições**

O CONAMA conceitua, através da Resolução nº 307 (2002), os resíduos sólidos da construção civil como sendo “resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras (...)”.

Vieira *et al.* (2004) diz que Resíduo de Construção Civil (RCC) é qualquer material proveniente da demolição de obras civis, tais como: resto de obras, reformas ou

autoconstrução, podendo ser considerado como Resíduo de Construção e Demolição (RCD).

#### 2.5.2.2 Impactos

Por conta do fato de esses resíduos serem pouco putrescíveis, pouca importância foi dada a esse tipo de resíduo, que ainda causa baixo desconforto entre a população. Além disso, o fato de serem classificados como inertes passa a impressão errônea de que causam pouco impacto ambiental e baixo prejuízo à saúde pública. Percebe-se que, nas cidades brasileiras, a maioria desses Resíduos de Construção Civil (RCC) são depositados clandestinamente (Figura 34). Esses aterros clandestinos são um dos principais fatores de obstrução de córregos e drenagens, além de favorecerem a proliferação de mosquitos.

A deposição irregular dos Resíduos da Construção Civil (RCC), no meio ambiente, traz diversos problemas à população por constituir meios para vetores de doenças e pelo entupimento da drenagem, além de promover o assoreamento dos recursos hídricos, contribuindo para a ocorrência de enchentes. Pode-se afirmar que os impactos relacionados à drenagem urbana são ainda mais extensos, ocorrendo situações que vão desde a ocorrência de drenagem superficial até a obstrução completa de córregos, que é um dos sistemas mais importantes para a drenagem urbana.



Figura 34 - Deposição irregular de resíduos de construção.

Fonte: (PINTO, 1999).

Amadei *et al.* (2011) enumera alguns dos principais impactos gerados pelos Resíduos da Construção Civil (RCC):

- a) **Ambientais:** ocupação de áreas naturais em baixadas, terrenos desocupados e fundos de vale, obstrução de rios e córregos que fazem a drenagem superficial das águas;
- b) **Sociais:** há uma classe social de gestores e coletores, sejam grandes ou pequenos, mas em geral não possuem o conhecimento técnico necessário para a preservação sanitária e ambiental;
- c) **Sanitários:** a presença de RCC cria um ambiente propício para o desenvolvimento de vetores que exercem efeito deletério para o saneamento local;
- d) **Visuais:** a paisagem local fica comprometida;
- e) **Econômicos:** altos custos para a realização da gestão corretiva dos RCC.

#### 2.5.2.3 Geração

Supõe-se que sejam gerados cerca de 2 a 3 bilhões de toneladas de entulho de construção e demolição por ano em todo o mundo. No Brasil, estima-se que essa geração seja da ordem de 220 a 670 quilos por habitante ao ano. Estima-se, ainda, que, para cada tonelada de lixo domiciliar, sejam recolhidas duas toneladas de entulho (NETO, 2005).

Na execução, a geração dos RCC pode ocorrer quando são descartados e saem das obras, sendo denominados de entulhos, ou quando são desperdiçados e acabam sendo incorporados à obra. Pinto (2005) aponta que, em alguns municípios brasileiros, 75% dos Resíduos de Construção Civil (RCC) são oriundos de construções informais, enquanto que 15% a 30% derivam das construções formais. Ainda em relação à geração, Pinto (1999) estima que 42% a 80% dos resíduos de construção sejam gerados em atividades de manutenção, reformas e demolições.

#### 2.5.2.4 Classificação e Composição

De acordo com Brito (2006), os resíduos sólidos de construção e demolição podem ser classificados, segundo sua reciclabilidade em:

- a) **Reutilizáveis em boas condições de e com efeito imediato:** alguns componentes arquitetônicos, madeira, aço e pedra;

- b) **Reutilização e aplicação proveitosa após processamento:** entulho (alvenaria e concreto) e madeira;
- c) **Incineração:** papel, têxteis e madeira;
- d) **Produção de novos materiais, após processamento:** metais, madeira para pirólise, vidro e plásticos;
- e) **Materiais Inúteis:** materiais contaminados não reutilizáveis (amianto, resíduos químicos), material não contaminado, mas não reutilizável (reboco, vidro, lixo misturado).

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são formados por uma variedade de componentes. Dentre eles, podemos destacar a ocorrência de componentes orgânicos, tais como a madeira, o papel, os materiais betuminosos, entre outros, e de componentes inorgânicos, tais como o concreto, a cerâmica, a argamassa e outros produtos.

Fazendo uma estimativa, Ribas *et al.* (2008) conclui que os RCD são constituídos de, aproximadamente, 64% de argamassa, 30% de componentes de vedação e 6% de materiais diversos como concreto, pedra, areia, metálicos e plásticos. Lucena *et al.* (2005) também realizou um estudo sobre a composição dos RCD e constatou que, no Brasil, aproximadamente 80% são compostos de tijolos, areias e argamassas, 9% são compostos de concreto, 6% de pedras, 3% de cerâmica, 2% de gesso e 1% de madeira.

Zordan (1997) encontrou outros valores para a composição dos RCD no Brasil, que pode ser observado na Figura 35:

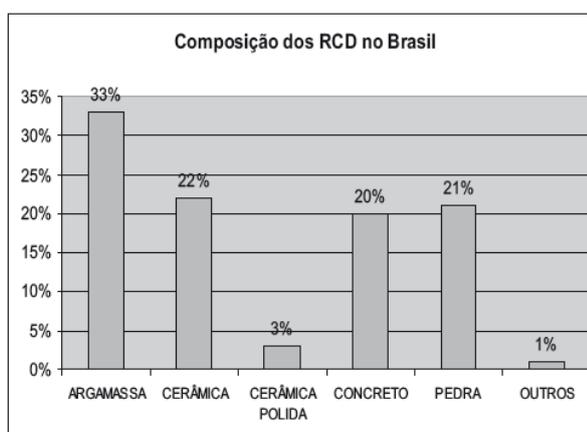


Figura 35 - Composição média do RCD no Brasil.  
Fonte: (ZORDAN, 1997).

#### 2.5.2.5 Gestão

A preocupação com os resíduos sólidos, no Brasil, ainda é uma atividade recente, diferente de outros países, como por exemplo, os EUA, onde já existia uma política de gerenciamento de resíduos desde a década de 1960. Inicialmente, a Resolução CONAMA nº 307, de 2002, já estabelecia critérios para melhorar a qualidade da gestão dos resíduos sólidos gerados no Brasil. Atualmente, já existe uma legislação mais abrangente acerca do gerenciamento desses resíduos sólidos, que é a Política Nacional de Resíduos Sólidos, publicada em 02 de agosto de 2010.

No dia 05 de julho de 2002, foi aprovada, no CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), a resolução nº 307, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos de construção civil. Tal Resolução afirma que os geradores devem ter como objetivo maior a não geração de resíduos e, de forma secundária, a reciclagem e a destinação final. Define ainda que os grandes geradores públicos de resíduos ficam obrigados a desenvolver e implantar um plano de gestão dos RCC, buscando sua reciclagem, reutilização ou outra destinação final que seja ambientalmente correta.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) estabelece que a responsabilidade de destinação adequada dos resíduos sólidos deve ser compartilhada entre o poder público, o setor empresarial e a coletividade, promovendo a efetividade de execução de ações que assegurem a sua devida observância. É determinado que o titular dos serviços públicos de limpeza urbana deve adotar procedimentos de reaproveitamento dos resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis, de forma que se possa estabelecer um sistema de coleta seletiva e uma adequada disposição aos rejeitos gerados.

Apesar de já existir uma legislação que contemple a adequada destinação de resíduos sólidos, percebe-se que persiste, em grande escala, a deposição de resíduos sólidos em aterros sanitários ou lixões a céu aberto. O problema da deposição desses resíduos nos aterros sanitários ou nos lixões, além dos elevados impactos ambientais causados, é que a construção de um aterro sanitário pode ser considerada uma operação pouco eficiente se levado em conta o custo da construção e da operação, além do elevado valor imobiliário dos terrenos em que esses aterros são construídos.

Segundo Souza *et al.* (2004), embora seja muito importante destinar adequadamente os resíduos gerados, é necessário que se busque ações imperativas para a redução dos mesmos diretamente na sua fonte de geração (canteiro de obras), contribuindo para a redução de seu impacto sobre o meio ambiente, juntamente com sua adequada destinação.

É preciso, portanto, buscar alternativas para a redução do acúmulo de Resíduos de Construção Civil através da melhoria da qualidade dos processos construtivos e, conseqüentemente, da diminuição das perdas e desperdícios de materiais. Além disso, é necessário implantar programas que visem a reutilização desses resíduos e também sua devida reciclagem.

#### 2.5.2.6 Reciclagem

D’Almeida e Vilhena (2000) definem a reciclagem como sendo “resultado de uma série de atividades, pela qual materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos”.

Dentro do contexto da indústria da construção civil, Amadei *et al.* (2011) define esse processo como sendo a introdução do resíduo, no ciclo de produção do setor da construção, em substituição total ou parcial da matéria-prima. Diferencia, portanto, do processo de Reutilização, que considera como sendo o emprego do resíduo sem a existência do beneficiamento.

O processo de reciclagem de elementos da construção não é uma ideia nova, pois os romanos, em sua época, já reconstruíam suas cidades destruídas, durante as guerras de conquista, utilizando os escombros das edificações. Apesar de não ser uma prática nova, sua difusão veio acontecer em um tempo consideravelmente posterior. A partir de 1946, com o fim da Segunda Guerra Mundial, os RCD começaram a ser largamente introduzidos, com o objetivo de reconstruir as cidades europeias que haviam sido destruídas.

Atualmente, essa prática está amplamente consolidada na Europa, que iniciou sua introdução na Alemanha e, posteriormente, nos demais países da Comunidade Europeia, onde existem instalações de reciclagem de RCC em praticamente todos os países-membro, sendo a Holanda um dos países mais destacados.

Fernandes e Motta (2005) apontam que, em relação à reciclagem de RCC, países como Holanda, Bélgica e Dinamarca reciclam aproximadamente 90% dos resíduos gerados, além de importarem essa matéria-prima de outros países. Pode-se dizer que estes países estão muito acima da média de reciclagem europeia, que é de cerca de 28% dos resíduos gerados.

A prática de reciclagem de Resíduos de Construção Civil (RCC), no Brasil, ainda pode ser considerada bastante atrasada quando comparada às ações de outros países, ocorrendo, de forma notadamente reduzida, apesar de a indústria da construção civil brasileira apresentar um significativo potencial para ampliar essa prática.

Alguns pesquisadores brasileiros apresentam a reciclagem como uma alternativa que possui potencial tanto de reduzir a deposição de entulho às margens de vias públicas, recursos hídricos e terrenos baldios, quanto de viabilizar a proposição de sistemas construtivos e materiais mais baratos e de boa qualidade. Dessa forma, sua reincorporação ao processo produtivo reduziria significativamente o impacto ambiental.

O processo de reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC) pode ser realizado dentro do próprio canteiro de obras através da utilização de equipamentos móveis (Figura 36). Essa abordagem é bastante interessante, pois busca trazer vantagens como: a redução do consumo de matéria-prima e a redução do volume de resíduos descartados.



Figura 36 - Equipamentos de uma central de reciclagem.  
 Fonte: (EVANGELISTA *et al.*, 2010).

Até 2002, existiam, no Brasil, cerca de 16 usinas de reciclagem de Resíduos de Construção Civil (RCC) (Figura 37). Após a publicação da Resolução nº 307 do CONAMA, a taxa de instalação de usinas aumentou significativamente. Além disso, até o ano de 2009, estima-se que já existiam, no Brasil, pelo menos, 47 usinas de reciclagem. Apesar da grande quantidade de instalações de usinas públicas de reciclagem, nos últimos anos, apenas uma parte está de fato operando, pois, apesar das vantagens que a administração pública obteria com a implantação dessa prática, ainda existem dificuldades relacionadas ao desinteresse e à falta de manutenção e operação dessas usinas (MIRANDA *et al.*, 2009).

Segundo Ângulo (1998), para a obtenção do agregado reciclado, as usinas de reciclagem percorrem as seguintes etapas:

- a) Coleta do entulho por um sistema de caçambas;
- b) Receber os RCC, triar e separar os resíduos Classe A, retirando as impurezas (ferragens, madeiras, plásticos);
- c) Encaminhamento do material ao alimentador vibratório através de uma pá carregadeira;
- d) Britagem de componentes através de britador de mandíbulas;
- e) Passagem do material por calha vibratória e moinho de martelos;
- f) Peneiramento através de peneira rotativa;
- g) Estocagem do agregado reciclado obtido.



Figura 37 - Usina de reciclagem em Belo Horizonte/MG.  
Fonte: (ÂNGULO, 1998).

É importante ressaltar que o tipo de equipamento utilizado nas usinas e o tipo de RCD reciclado podem influenciar consideravelmente as propriedades do agregado reciclado, devendo estas serem consideradas para o circuito correto de reciclagem. Além disso, os teores de cerâmica, argamassa e concreto afetam, de acordo com sua variação, o desempenho e a qualidade desse agregado.

### 2.5.3 Agregados Reciclados

Levy (2001) propõe a seguinte classificação para os agregados reciclados, segundo sua composição (Figura 38):

- a) **Agregados provenientes de resíduos de alvenaria:** são agregados obtidos através da britagem de fragmentos de materiais minerais, provenientes de demolição de alvenarias, ou resíduos de construção, que podem ou não estar contaminados com resíduos de tinta, gipsita e outras substâncias em maior ou menor teor. Normalmente, sua resistência à compressão será inferior que a resistência à compressão de agregados naturais;
- b) **Agregados reciclados provenientes de resíduos de concreto:** são agregados obtidos através da britagem de fragmentos de materiais minerais, provenientes de demolição de estruturas de concreto, assim como concretos frescos, endurecidos e rejeitados, conforme o caso, esses materiais poderão estar contaminados por agentes agressivos como cloretos e/ou sulfatos. Normalmente, sua resistência à compressão dependerá da resistência à compressão dos agregados naturais utilizados na produção do concreto original;

c) **Agregados reciclados provenientes de resíduos compostos:** são agregados obtidos através da britagem de fragmentos de materiais minerais, provenientes de demolição de obras convencionais, de partes conjuntas de estruturas de concreto e vedações de alvenaria revestida ou aparente, em blocos de concreto ou cerâmico ou mesmo em tijolos maciços. Normalmente sua resistência à compressão dependerá da resistência à compressão dos agregados naturais utilizados na produção do concreto original.

Quando se utiliza os agregados reciclados, deve-se levar em consideração a forma dos grãos por conta da influência do volume de pasta necessário para garantir a plasticidade do concreto produzido. Diversos estudos realizados na área demonstram que a forma dos agregados reciclados tende a ser mais angular que a dos agregados naturais, o que influencia de forma considerável as propriedades do concreto produzido.

De acordo com Levy (2001), os formatos cúbicos e as texturas impermeáveis apresentam menor demanda de água para alcançar a plasticidade do concreto. Dessa forma, resíduos provenientes de alvenarias devem ser utilizados com cautela, uma vez que apresentam agregados reciclados angulosos e mais absorventes que os agregados reciclados provenientes de concretos.



Figura 38 - Aspecto dos agregados reciclados de concreto e de alvenaria, respectivamente.  
Fonte: (LEVY, 2001).

Em relação à diferenciação entre agregado miúdo reciclado e agregado graúdo reciclado, a maioria das pesquisas aponta que os concretos elaborados exclusivamente com agregados reciclados miúdos, que possuem partículas mais angulosas que os graúdos, apresentam menor trabalhabilidade do concreto produzido.

Diversos autores afirmam ainda que as principais diferenças de propriedade entre os agregados reciclados e os agregados convencionais são: a maior absorção de água dos agregados reciclados, sua considerável heterogeneidade de composição e a menor resistência mecânica proporcionada pelos grãos.

Sobre a resistência à compressão dos agregados reciclados, as pesquisas indicam que a maior porosidade e a alta taxa de absorção de água dos agregados reciclados são fatores que influenciam na redução dessa resistência. Além disso, por ser mais poroso, o agregado reciclado precisa de mais água para obter a mesma trabalhabilidade que os concretos com agregados naturais.

Sob o parâmetro da durabilidade, é possível constatar a viabilidade da utilização dos agregados reciclados em concretos. Porém, os resultados das pesquisas realizadas mostram que é válida a substituição do agregado convencional até certo percentual, pois misturas com substituição total desse elemento podem prejudicar o desempenho do concreto em função da menor resistência a ataque de agentes corrosivos. Além disso, quando há interação entre agregados reciclados e agregados naturais, praticamente não há muita diferença quanto à resistência e durabilidade do concreto produzido, em alguns casos podendo até melhorá-las, o que tornaria sua utilização viável e economicamente favorável.

Para Goonam (2000), o futuro dos agregados reciclados será impulsionado pela indisponibilidade de aterros, pelas políticas governamentais de incentivo ao uso de agregados reciclados, por uma maior aceitação do produto e pelas necessárias e urgentes exigências ambientais. Porém, apesar de muitas pesquisas terem constatado a viabilidade da utilização dos agregados reciclados em concretos, é preciso que a regulamentação desses produtos seja controlada pela seleção de procedência e origem dos resíduos com o objetivo de garantir a durabilidade dos concretos produzidos.

É importante mencionar ainda que a falta de avaliação eficiente para o lançamento de produtos reciclados no mercado pode, adversamente, desacreditá-los, de forma que diminuam sua aceitabilidade, podendo ressaltar a ideia precipitada e formulada pela maioria dos clientes de que os produtos com agregados reciclados possuem menor qualidade.

Cabe, portanto, destacar as principais dificuldades evidenciadas por grande parte dos pesquisadores a respeito da viabilização de materiais produzidos com agregados reciclados:

- A abundância de materiais e o desconhecimento de materiais alternativos;
- O conservadorismo do setor da construção civil, que dificulta a inserção de um produto novo no mercado;
- A ausência de tecnologia eficiente para a correta seleção dos materiais empregados nas usinas de reciclagem, dificultando seu emprego em concretos;
- A grande variabilidade que caracteriza os agregados reciclados;
- O recente emprego da reciclagem de agregados na produção de concretos no país.

## **2.6 DESEMPENHO ESTRUTURAL**

### **2.6.1 Avaliação de Produtos Inovadores – ABNT NBR 15575:2013**

A inovação, na construção civil, geralmente é um processo que ocorre de forma lenta, se comparado a outros setores, pois este setor é dependente da organização econômica e social e do contexto em que está inserida. Juntamente com a inovação tecnológica, surgem diversos produtos inovadores que compreendem sistemas, subsistemas, materiais e processos construtivos.

De acordo com a Téchne (2009), os produtos inovadores são aqueles que, não identificados como produtos tradicionais, precisam ser muito bem avaliados para adquirirem credibilidade e reconhecimento perante seus consumidores e financiadores. Ainda há uma grande resistência à implantação desses produtos no mercado, evidenciando ainda mais a

necessidade de comprovação das características técnicas dos produtos através de avaliações de desempenho eficientes.

Os produtos inovadores não possuem, de imediato, regulamentações técnicas para a aprovação e a comprovação de seu desempenho. Por conta disso, no Brasil, a elaboração de normas para a avaliação de produtos inovadores é baseada na norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013 – Desempenho de Edificações Habitacionais, que define critérios e requisitos de desempenho a serem alcançados por esses produtos.

O objetivo da ABNT NBR 15575:2013 é estabelecer uma sistemática de avaliação de sistemas construtivos habitacionais, baseando-se em requisitos e critérios de desempenho desenvolvidos pelas normas técnicas brasileiras. Esses métodos de avaliação consideram ensaios em laboratório, ensaios de campo, entre outros tipos, além de simulações e análises numéricas. Além disso, a própria norma recomenda que as avaliações de desempenho sejam realizadas por instituições de ensino e de pesquisa, laboratórios e empresas de reconhecida capacidade técnica.

A ABNT NBR 15575:2013 está estruturada da seguinte maneira:

- ABNT NBR 15575-1: Requisitos Gerais;
- ABNT NBR 15575-2: Requisitos para os Sistemas Estruturais;
- ABNT NBR 15575-3: Requisitos para os Sistemas de Pisos Internos;
- ABNT NBR 15575-4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas;
- ABNT NBR 15575-5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas;
- ABNT NBR 15575-6: Requisitos para os Sistemas Hidrossanitários.

A parte 4 da norma analisa os requisitos de desempenho para os sistemas de vedações verticais internas e externas, definindo os principais critérios para a verificação de desempenho desses sistemas: Desempenho Estrutural, Segurança contra Incêndio, Estanqueidade, Desempenho Térmico, Desempenho Acústico, Durabilidade e Manutenibilidade.

## **2.6.2 O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT)**

O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) foi criado, em 2007, no âmbito do Ministério das Cidades, com o objetivo de proporcionar a validação de novas alternativas tecnológicas para sistemas inovadores na construção civil. Esse sistema é o resultado da mobilização da comunidade técnica brasileira no sentido de elaborar um suporte necessário à avaliação de inovações tecnológicas.

O SINAT procura elaborar diretrizes técnicas de avaliação dos sistemas construtivos inovadores através do DA-Tec (Documento de Avaliação Técnica), de forma a viabilizar a implementação dos produtos inovadores no mercado.

A Diretriz SINAT é um documento que apresenta critérios e requisitos de desempenho, além de métodos de avaliação a serem utilizados nos produtos. Essa diretriz é elaborada por uma Instituição Técnica Avaliadora (ITA), que é um instituto de pesquisa autorizado pelo SINAT para analisar e conceder avaliações técnicas dos produtos.

Atualmente, já existem cerca cinco diretrizes publicadas pelo SINAT (Figura 39), tais como: Diretriz Nº 001 – Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas Construtivos em Paredes de Concreto Armado Moldadas no Local (2009); Diretriz Nº 002 – Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas Construtivos Integrados por Painéis Estruturais Pré-Moldados para Emprego em Casas Térreas, Sobrados e Edifícios Habitacionais de Múltiplos Pavimentos (2009). Atualmente, existem outras diretrizes em elaboração e em vias de elaboração.

Documento	Tema	Última atualização	Revisão
Diretriz SINAT	001 - Sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local	Ago/2011	2
	002 - Sistemas construtivos integrados por painéis estruturais pré-moldados, para emprego em casas térreas, sobrados e edifícios habitacionais de múltiplos pavimentos	Nov/2009	-
	003 - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (sistemas leves tipo "Light Steel Frame")	Abr/2010	-
	004 - Sistemas construtivos de paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto	Set/2010	-
	005 - Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (sistemas leves tipo "light wood framing")	Set/2011	-
Documento	Tema	Validade	Revisão

Figura 39 – Diretrizes publicadas pelo SINAT.  
Fonte: SINAT.

A Diretriz N° 002 do SINAT, que propõe diretrizes de avaliação para sistemas construtivos de painéis pré-moldados, sugere que o desempenho estrutural desse tipo de sistema atenda aos critérios mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4:2013, que apresenta os requisitos mínimos de desempenho estrutural para sistemas de vedações verticais. A ABNT NBR 15575-4:2013, por sua vez, refere-se ao critério de estado limite último, sugerindo que as vedações devam atender às exigências da ABNT NBR 15575-2:2013, já mencionada no item anterior desse trabalho.

Ao verificar os critérios de desempenho estrutural da ABNT NBR 15575-2:2013, por sua vez, percebe-se que, quanto ao estado limite último, a norma determina algumas exigências de dimensões mínimas e ensaios a serem realizados. Quanto ao ensaio exigido, não foi encontrada nenhuma referência a uma resistência mínima específica a ser alcançada pela vedação ensaiada, somente sendo mencionado o traçado de um diagrama de carga x deslocamento.

Percebe-se assim, que há uma certa dificuldade de encontrar, tanto no SINAT, quanto na própria norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013, critérios objetivos que estabeleçam uma resistência mínima específica a ser alcançada pelas vedações, que possam atestar com precisão o atendimento de um nível mínimo de desempenho em termos de valores absolutos.

O Documento de Avaliação Técnica (DA-Tec) é um documento sintetizador da avaliação técnica realizada sobre um sistema. Para a sua concessão, é necessário que haja uma Diretriz SINAT relativa ao produto que está sob avaliação técnica. Dessa forma, é necessário realizar as seguintes etapas:

- Entrada com pedido de avaliação técnica do produto inovador;
- Elaboração da Diretriz para o produto;
- Publicação da Diretriz;
- Realização de avaliação técnica com análises e ensaios, por uma Instituição Técnica Avaliadora (ITA);
- Elaboração do DA-Tec;
- Publicação do DA-Tec.

Após a concessão do DA-Tec, devem ser realizadas vistorias frequentes do processo e do produto para determinar se estão atendidos os parâmetros de controle de qualidade definidos pelo produtor e os parâmetros publicados no DA-Tec e na Diretriz SINAT.

### **2.6.3 Segurança Estrutural e Estados Limites**

A segurança estrutural de uma estrutura pode ser caracterizada como a capacidade que ela possui de suportar as diversas ações de solicitação que agem sobre a mesma durante sua vida útil. As variáveis para o estabelecimento da segurança de uma estrutura são as ações, os esforços internos (solicitações, efeitos solicitantes e tensões) e os efeitos estruturais (deformações, deslocamentos e aparecimento de fissuras) (ABNT NBR 8681:2003).

A ABNT NBR 6118:2007 indica que o estado limite de uma estrutura é atingido quando a mesma se torna inutilizável, seja de modo efetivo ou convencional, ou quando não mais satisfaz as condições necessárias para sua utilização. Dessa forma, diz-se que, quando a estrutura deixa de atender às condições necessárias de segurança, de funcionalidade e de durabilidade, ela passou a atingir o seu denominado Estado Limite.

Há dois tipos de Estados Limites: o Estado limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS). De modo geral, esses estados limites são atingidos por deficiências de resistência e de rigidez. De acordo com Camacho (2005), os Estados Limites de Serviço

(ELS) são aqueles que se relacionam à durabilidade, à aparência, ao conforto e à funcionalidade das estruturas. Podem originar-se a partir de fissuras, deformações excessivas, vibrações excessivas, dentre outros processos. Sob a ação de cargas, variações de temperatura, vento e umidade, a estrutura não deve apresentar deslocamentos correspondentes ao Estado Limite de Serviço (ELS), que provocam fissuras maiores que o limite estabelecido.

Os Estados Limites Últimos (ELU) são aqueles que se relacionam com o colapso ou outra forma de ruína da estrutura, determinantes da paralisação de uso da mesma (CAMACHO, 2005). De acordo com a ABNT NBR 8681:2003, são exemplos de ELU:

- Proveniente da perda de equilíbrio da estrutura;
- Proveniente do esgotamento da capacidade resistente da estrutura;
- Proveniente da ação de solicitações dinâmicas.

Entre as causas que podem determinar a ocorrência do ELU, podemos citar: ruína devido a deformações, colapso de estrutura hiperestática, tombamento da estrutura, perda de estabilidade, flambagem, compressão excêntrica, grandes deformações e destruição por fadiga. Ainda de acordo com a ABNT NBR 8681: 2003, os ELU são caracterizados por perda de equilíbrio global ou parcial da estrutura, ruptura ou deformação plástica excessiva, instabilidade por deformação e instabilidade dinâmica.

#### **2.6.4 ABNT NBR 6136:2007 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos.**

A ABNT NBR 6136:2007 divide os blocos de concreto em 4 classes: A, B, C e D, sendo:

- a) Classe A: com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- b) Classe B: com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- c) Classe C: com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;

- d) Classe D: sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

A partir dessa classificação, a ABNT NBR 6136:2007 estabelece requisitos mínimos de resistência característica à compressão para cada classe de bloco de concreto, como pode ser observado na tabela abaixo (Tabela 1):

Tabela 1 - Resistência por classe de concreto para blocos de concreto segundo a ABNT NBR 6136:2007.

<b>Classe</b>	<b>Resistência característica fbk (MPa)</b>
A	$\geq 6,0$
B	$\geq 4,0$
C	$\geq 3,0$
D	$\geq 2,0$

Fonte: (ABNT NBR 6136:2007).

Tomando como base as resistências mínimas exigidas pela referida norma para cada tipo de utilização dos blocos de concreto, é possível verificar se os elementos de vedação estudados estão de acordo com os requisitos mínimos de resistência exigidos para a classe de concreto a que correspondem.

### **2.6.5 Eficiência de elementos estruturais**

As propriedades do concreto a ser analisado variam de acordo com o elemento em que o mesmo foi empregado. Evangelista (2002), por exemplo, menciona que “as propriedades do concreto em sito variam de acordo com o elemento estrutural (laje, viga, pilar), devido principalmente às diferenças de compactação, cura e exudação, sendo a resistência do concreto na estrutura menor do que a obtida de ensaios em corpos de prova – padrão”.

De acordo com Bungey (1989) *apud* Evangelista (2002), é possível comparar a resistência obtida pelo concreto extraído de peças estruturais, ou seja, em sito, com a resistência obtida em corpos de prova de concreto moldados. Os valores encontrados na tabela a

seguir (Tabela 2), de acordo com o mesmo autor, podem ser considerados como típicos, pois se verificou resultados semelhantes em diversos trabalhos publicados.

Tabela 2 - Comparação entre a resistência em sito e em cubo-padrão.

Elemento Estrutural	Relação entre a resistência obtida em testemunhos e de corpos de prova-padrão, aos 28 dias	
	Média	Intervalo
Pilar	65%	55% - 75%
Parede	65%	45% - 95%
Viga	75%	60% - 100%
Laje	50%	40% - 60%

Fonte: (EVANGELISTA, 2002).

## 2.7 PESQUISAS AFINS

Durante a realização da revisão bibliográfica, foram analisadas pesquisas (sobre painéis pré-fabricados) que agregassem a proposição da utilização de agregados reciclados em concretos. Dessa forma, foram escolhidos alguns trabalhos que se considera serem relevantes, em termos de métodos utilizados, materiais e, principalmente, de resultados obtidos, além de sugestões para trabalhos futuros.

### 2.7.1 Painéis Pré-Fabricados de Concreto

Dentre as pesquisas encontradas, que propunham painéis pré-fabricados de concreto, inclusive com a possibilidade de utilização de agregados reciclados, podemos citar os trabalhos de Latterza (1998), Milovanovic *et al.* (2012) e Sobri *et al.* (2011). Foram considerados relevantes porque propõem, de modo geral, sistemas construtivos pré-fabricados de concreto e a realização de ensaios de desempenho estrutural.

O objetivo do trabalho de Latterza (1998) era a demonstração de viabilidade da utilização da fração graúda do reciclado para concretos estruturais de média e de baixas resistências, avaliando o desempenho estrutural, através de ensaios à flexão (Figura 40), de painéis

confeccionados com esse agregado reciclado. Seus estudos mostraram a viabilidade de execução do painel de vedação leve de concreto e a viabilidade técnica e econômica do emprego de agregados reciclados graúdos para painéis de vedação.



Figura 40 – Ensaio dos painéis á flexão.  
Fonte: (LATTERZA, 1998)

Milovanovic *et al.* (2012) propôs um painel que consistia em duas camadas de concreto pré-moldado interconectado através de treliças de aço inoxidável, substituindo 50% dos agregados naturais por agregados reciclados obtidos de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (Figura 41). Sua pesquisa concluiu que o sistema apresentado de painéis pré-fabricados sustentáveis, com uso de agregados reciclados, trazia benefícios em relação à energia incorporada e a pesquisa pôde ajudar a delimitar o limiar da utilização desses agregados reciclados em concretos para construções residenciais e comerciais.

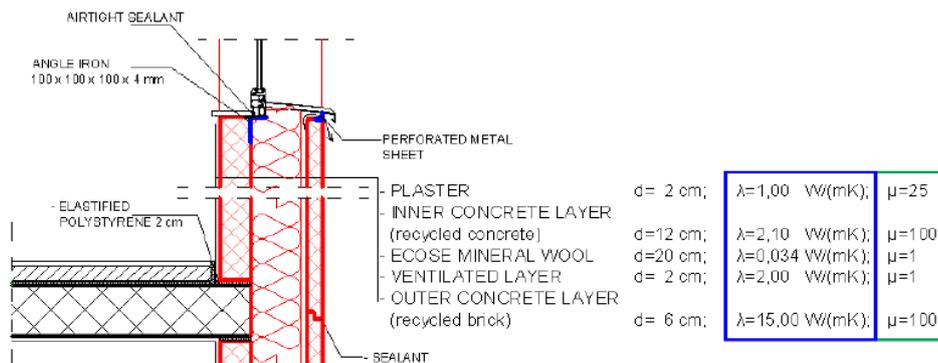


Figura 41 – Secção do painel com descrição dos materiais empregados.  
Fonte: (MILOVANOVIC *et al.*, 2012).

A pesquisa de Sobri *et al.* (2011) foi conduzida de forma a estudar o comportamento do aço reforçado em painel de concreto, incorporando agregados reciclados em substituição aos agregados naturais. O trabalho experimental envolveu a construção de 10 painéis de dimensões de 7,5 cm de espessura, 50 cm de altura e 100 cm de comprimento. Foi determinado o comportamento estrutural dos painéis em termos de resistência máxima e modo de ruína (compressão e fadiga estática) (Figura 42). Com base nos resultados, a pesquisa concluiu que, apesar de propenso a falhas notáveis por conta da baixa resistência de ligação entre as partículas do agregado reciclado sob carga de ruína, o painel de concreto com agregado reciclado podia suportar maiores carregamentos, sem ruína notável, especialmente quando projetado com uma dupla camada de aço, podendo ser utilizado como unidade de suporte de carga. Além disso, concluiu que o painel com agregado reciclado apresentava um comportamento estrutural semelhante aos painéis com agregados convencionais em termos de carga última, perfil de deslocamento e modo de ruína.

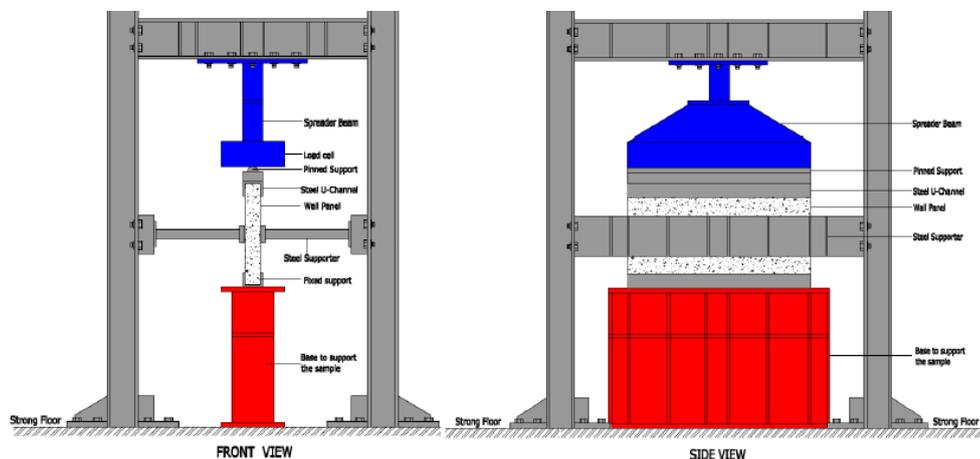


Figura 42 – Ensaio de resistência à compressão do painel com agregado reciclado.  
Fonte: (SOBRI *et al.*, 2011).

### 2.7.2 Agregados Reciclados

Entre as pesquisas que trabalharam com agregados reciclados em concretos, foram analisados com mais detalhe os trabalhos de Tenório *et al.* (2012) e Cabral *et al.* (2009). Ambas as pesquisas buscaram caracterizar o comportamento de concretos produzidos através da substituição de agregados convencionais por agregados reciclados de concreto e de cerâmica vermelha, provenientes de construção e demolição.

Tenório *et al.* (2012) buscou avaliar a mecânica e as propriedades do concreto durável produzido com agregados graúdos reciclados de concreto e de cerâmica vermelha em comparação com aqueles obtidos com agregados naturais (Figura 43). Dentre as suas conclusões, verificou-se que as propriedades de resistência à compressão e à durabilidade dos concretos, em geral, apresentaram melhor desempenho nos concretos com agregado graúdo reciclado de maior densidade, em comparação com os concretos com reciclado agregado de menor densidade, independente do tipo de agregado miúdo. Além disso, os concretos com agregado miúdo reciclado normalmente tiveram suas propriedades inferiores aos concretos com agregado miúdo natural.

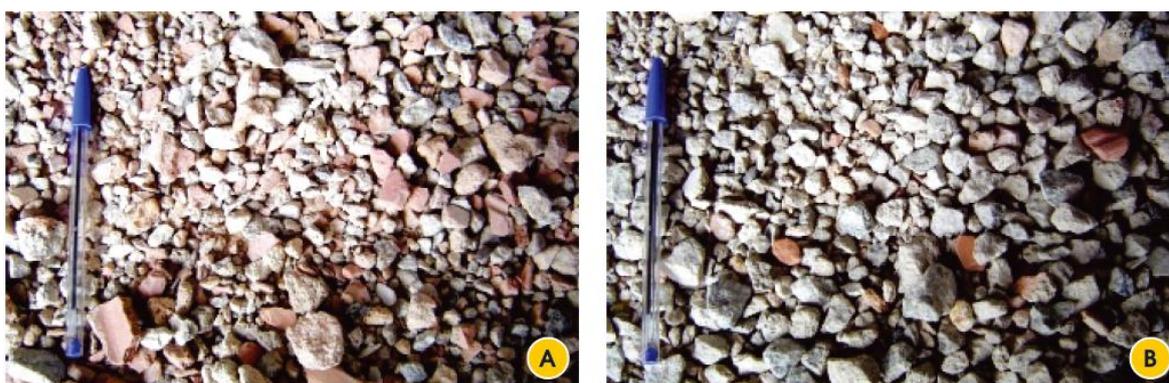


Figura 43 – Agregados reciclados utilizados na pesquisa. A – Cerâmica Vermelha e B – Concreto.

Fonte: (TENÓRIO, 2012).

A pesquisa de Cabral *et al.* (2009) buscava determinar o comportamento do agregado reciclado de cerâmica vermelha na produção de concretos. Dentre os resultados alcançados na pesquisa, observou-se que a substituição do agregado miúdo natural pelo miúdo reciclado resultava em um acréscimo da resistência à compressão dos concretos produzidos e para a substituição do agregado graúdo natural pelo graúdo reciclado, um decréscimo. Além disso, a utilização dos agregados reciclados, tanto graúdos quanto miúdos, influi negativamente no comportamento do concreto, sendo que o agregado do tipo graúdo reciclado exerceu em todas as propriedades, uma maior influência.

### **3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CONSTRUTIVO**

#### **3.1 GENERALIDADES**

O sistema construtivo desenvolvido nesse trabalho foi referenciado no trabalho iniciado por um Projeto de Extensão Universitária da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (FAU/UnB). O projeto de extensão propunha a elaboração de projetos para a construção de casas em um assentamento rural em Itaúna (GO) e foi denominado de Projeto de Habitação de Interesse Social em Assentamentos Rurais (PHISAR) no ano de 2010.

Após desenvolver um sistema construtivo com elementos pré-fabricados de concreto, o projeto de extensão não o levou adiante, deixando a ideia ainda a ser aprofundada e aprimorada. Essa pesquisa de mestrado, por verificar o potencial de utilização de tal sistema construtivo, buscou desenvolver esse sistema de elementos pré-fabricados, desenvolvendo-o e aprimorando-o, de forma a atestar sua viabilidade e proposição no mercado, tanto para habitações de interesse social, foco dessa pesquisa, quanto para outras proposições de mercado, a serem aprofundadas em pesquisas posteriores.

Sendo assim, o sistema construtivo mencionado está sendo desenvolvido junto ao Laboratório de Tecnologia em Estruturas e Construção Civil da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (LATEC/FAU-UnB).

A proposta geral da pesquisa, portanto, é desenvolver um sistema construtivo que busque, inicialmente, incorporar estratégias de racionalização construtiva. Dessa forma, uma das ferramentas fundamentais do sistema é a aplicação dos princípios da Coordenação Modular em todos os seus componentes construtivos.

Outro aspecto levado em consideração é a preocupação com o peso das peças de vedação, que, por serem de dimensões maiores do que os blocos de concreto convencionais, poderiam tornar-se um fator negativo para a execução do sistema. Por isso, propõem-se a utilização da argila expandida em substituição aos agregados convencionais do concreto como alternativa a ser estudada, por ser um material de menor massa específica e tornar mais leves as peças de vedação.

O sistema construtivo desenvolvido possui potencial para produção industrial, embora tenha sido aprofundado na pesquisa seu uso voltado para a produção de Habitações de Interesse Social (HIS), possibilitando, assim, a autoconstrução para a execução do mesmo. Outras premissas são: a utilização de elementos pré-fabricados, que reduzem o desperdício em obra, e aumentam a produtividade, além da proposição de um sistema que possibilite um menor custo de execução.

Agrega-se ao subsistema de vedação a utilização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como forma de promover uma reutilização eficiente desse material e de diminuir o impacto que esses resíduos causam ao meio ambiente. Ressalta-se que o resíduo pode ser aplicado apenas em peças de vedação, devido à possível diminuição da capacidade de resistência estrutural sofrido pelo concreto através de sua adição.

As partes que compõem o sistema construtivo desenvolvido são listadas a seguir (Figura 44):

- Cálice de Concreto Pré-Fabricado;
- Pilar de Concreto Pré-Fabricado;
- Painéis de Concreto Pré-Fabricados para Vedação;
- Vergas e Contra Vergas Pré-Fabricadas de Concreto

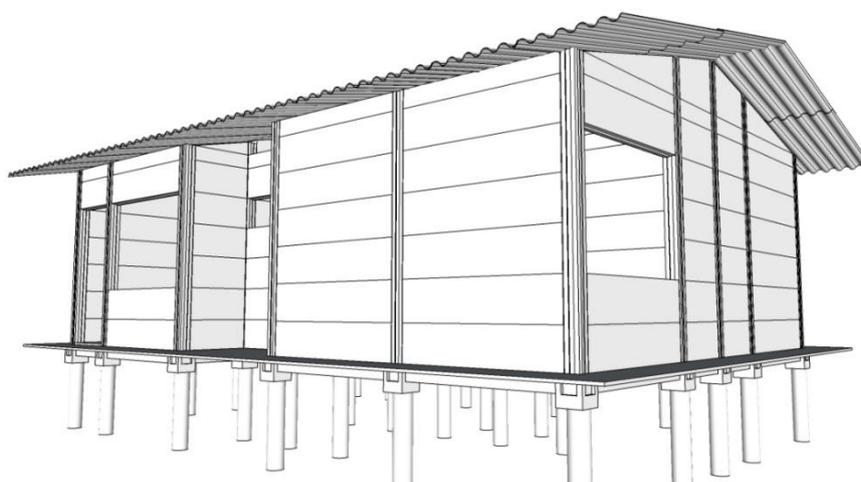


Figura 44 - Volumetria do sistema construtivo desenvolvido, sem acabamento.  
Fonte: Arquivo Pessoal.

No sistema construtivo desenvolvido nesse trabalho, verifica-se que há semelhanças, em relação a outros sistemas de encaixe painel-pilar utilizados no mercado e voltados para habitação de interesse social, (item 2.3.5 da Revisão Bibliográfica) quanto ao emprego de técnicas de racionalização construtiva, tais como: o uso de peças pré-fabricadas de concreto e a utilização da Coordenação Modular como estratégia de padronização e de redução de desperdícios em obra.

Porém, um dos aspectos que diferenciam o sistema desenvolvido nessa pesquisa, em relação aos demais utilizados no mercado, é o aumento da espessura dos painéis, que passam a possuir a mesma espessura dos pilares, de maneira que, ao encaixar nos mesmos, haja uma perfeita compatibilização entre as peças, possibilitando, assim, uma completa uniformização da superfície, deixando a estrutura não aparente como solução alternativa (Figura 45).

Além disso, a proposição de painéis de vedação com a mesma espessura dos pilares pré-fabricados no sistema desenvolvido pela pesquisa busca trazer como vantagem um melhor comportamento termo acústico dos componentes de vedação devido ao aumento de espessura dos mesmos em relação às placas de vedação já existentes no mercado. O que se observa em grande parte das placas de vedação utilizadas no mercado atualmente é que as espessuras utilizadas são insuficientes para proporcionar bons resultados termo acústicos, o que traz diversos problemas para os sistemas construtivos que a utilizam.

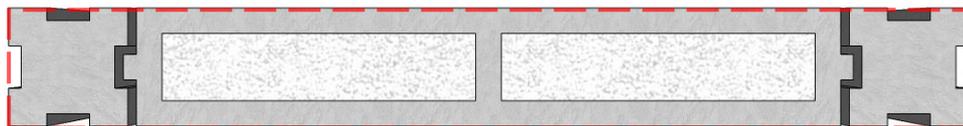


Figura 45 – Encaixe da placa de vedação (centro) aos pilares (extremidades) no sistema construtivo desenvolvido. Uniformização da superfície em tracejado vermelho.  
Fonte: Arquivo Pessoal.

Propõe-se, de maneira geral, o emprego dos painéis sem nenhum tipo de acabamento externo, deixando aparente seus materiais constituintes, porém deve-se estudar a proposição da utilização de uma pintura adequada como solução alternativa possível de acabamento.

Abaixo, apresenta-se possíveis resultados estéticos que podem ser obtidos através da regularização da superfície e do uso de cores nas fachadas (Figura 46).



Figura 46 – Representação modelo do sistema construtivo desenvolvido, com acabamento.  
Fonte: Arquivo Pessoal.

## **3.2 ELEMENTOS DO SISTEMA CONSTRUTIVO DESENVOLVIDO**

### **3.2.1 Painéis Pré-Fabricados de Concreto**

Dentro do sistema construtivo desenvolvido, existem duas variedades de dimensão dos painéis pré-fabricados de concreto. O painel de maior dimensão possui as seguintes medidas: 1820 mm x 420 mm x 140 mm. O painel de menor dimensão possui as seguintes medidas: 840 mm x 420 mm x 140 mm.

Ressalta-se que também se propõe o dimensionamento de um painel que atenda aos requisitos de acessibilidade (900 mm), porém que ainda não foi desenvolvido nessa pesquisa, não sendo ainda seu foco, porém são necessários estudos posteriores que atendam a essa questão.

Em termos de composição, ambos são painéis de concreto com núcleo em EPS (isopor) e admitem, quando não possuem função estrutural, o emprego de agregados reciclados.

Para a realização dos ensaios de Estado Limite Último (ELU) e a análise da resistência à compressão, foram escolhidos os painéis de concreto pré-fabricados com núcleo de EPS de menor dimensão, pois se percebe que esse é um subsistema de importância significativa para o satisfatório desempenho da edificação e para facilitar o processo de fabricação e de manuseio. É preciso, portanto, que haja um estudo bastante rigoroso, em termos de desempenho, sobre esse subsistema em particular.

Esses painéis pré-fabricados de concreto de menor dimensão possuem um volume aproximado de concreto de 0,025 m<sup>3</sup> e massa, sem a utilização de agregados artificiais leves, da ordem de 52,5 kg (Figura 47). Com a utilização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), em substituição dos agregados convencionais, essa massa pode ficar menor que 52,5 kg. Observa-se, portanto, uma diminuição considerável do peso geralmente encontrado em peças desse gênero, visto que os painéis estruturais de concreto, em geral, pesam em torno de 300 kg.

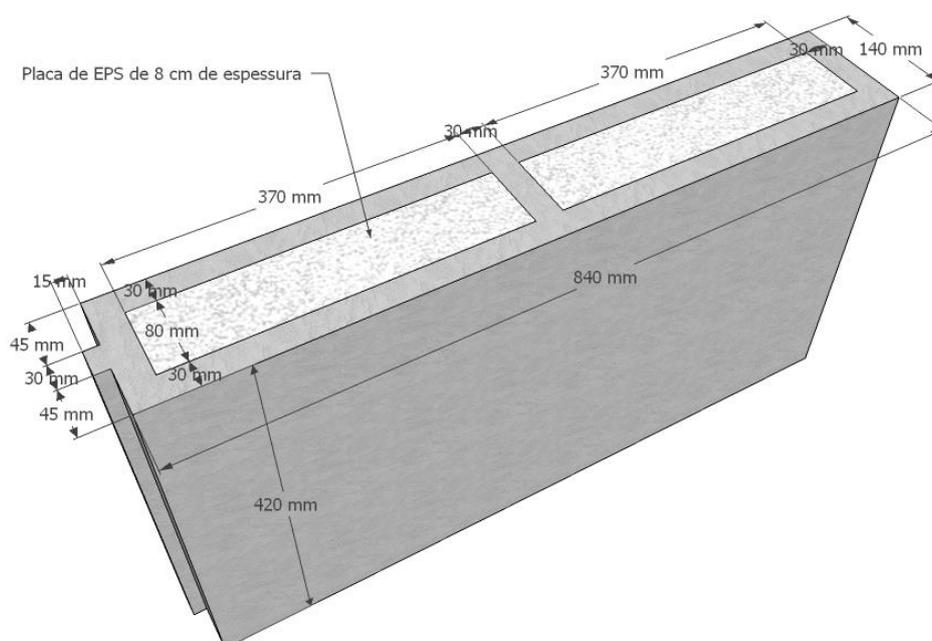


Figura 47 - Volumetria do painel pré-fabricado de concreto.  
Fonte: Arquivo Pessoal.

Além disso, é importante mencionar que os painéis de concreto possuem vazios em seu interior da ordem de 80 mm de espessura, deixando uma espessura de argamassa de 30 mm nas extremidades.

Essa proposta de painel de concreto do tipo sanduíche permite que se possa diminuir o peso da peça e, ao mesmo tempo, criar um vazio interno que favoreça um maior isolamento térmico e acústico do painel.

Os vazios nucleares da peça são preenchidos com as placas de EPS de 80 mm de espessura, no intuito de promover um melhor desempenho térmico e acústico. Durante a concretagem, essas placas de EPS são posicionadas na forma e recobertas com o concreto.

Os painéis pré-fabricados de concreto possuem saliências em suas extremidades para possibilitar seu encaixe com os pilares de concreto. Para que isso seja possível, é feita uma reentrância nas quatro faces dos pilares, de modo a permitir o encaixe dos painéis na direção desejada, deixando uma pequena folga de tolerância de 10 mm para acomodação das peças (Figura 48). Esse encaixe também permite que a separação entre o pilar e o painel não fique evidente, por conta de suas dimensões de espessura similares.

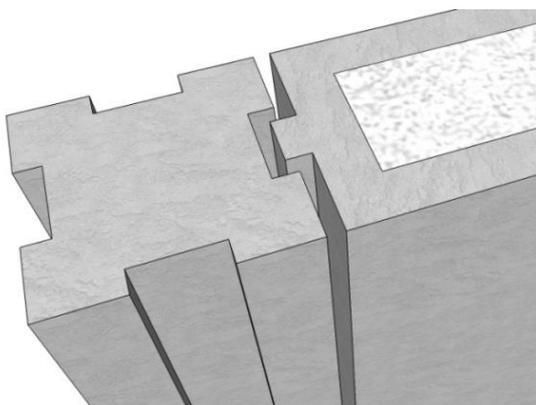


Figura 48 - Encaixe Painel-Pilar: folga de 10 mm para acomodação.  
Fonte: Arquivo Pessoal.

### **3.2.2 Pilar Pré-Fabricado de Concreto**

Os pilares dão suporte a todo o conjunto, sendo responsáveis por transferir os carregamentos para as fundações. O pilar pré-fabricado de concreto foi pensado como uma

parte do sistema que utiliza uma proposta com sulcos para encaixe dos painéis de vedação. Esse encaixe, como mencionado anteriormente, é feito através de entalhes para encaixe na peça do pilar, da ordem de 20 mm x 40 mm, de forma que permite a acomodação do painel, deixando uma folga de 10 mm para considerar erros ou alterações mínimas nas dimensões.

Esse sistema de encaixe permite que as peças fiquem bem posicionadas e também facilita o processo de montagem do sistema, que passa a ser um simples processo de encaixe pilar-painel e um empilhamento de um painel sobre o outro. Além disso, a forma como se propõe o encaixe e a dimensão das peças permite a uniformização das superfícies externas do sistema como possibilidade estética alternativa a ser empregada.

As dimensões modulares do pilar foram definidas em 140 mm x 140 mm, sendo, portanto uma peça prismática de concreto armado, que se constitui no subsistema de sustentação estrutural do sistema construtivo, cujos painéis funcionam somente como peça de vedação (Figura 49). Além disso, pretende-se desenvolver, em pesquisas posteriores, possibilidades de configuração formal da seção do pilar, buscando ampliar suas possibilidades de uso, e permitindo, assim, propor ângulos de posicionamento além de 180° e 90° para as vedações, como por exemplo, ângulos de 45° como alternativa para soluções arquitetônicas diferenciadas.

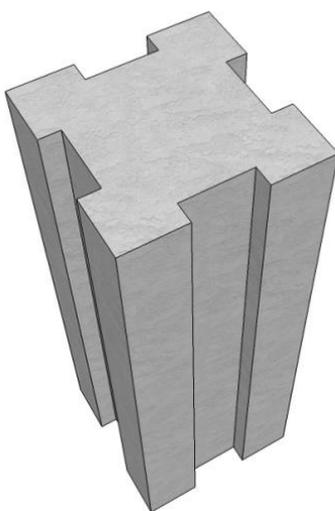


Figura 49 – Volumetria do pilar pré-fabricado de concreto.  
Fonte: Arquivo Pessoal.

### 3.2.3 Cálice Pré-Fabricado de Concreto

O cálice tem a função de interface da estrutura com as fundações, além de possuir encaixes para as vigas baldrame e para a inserção dos pilares. Usando o mesmo princípio de encaixe dos pilares com os painéis de vedação, foi pensado um cálice pré-fabricado de concreto armado para receber o pilar e transferir as cargas para a fundação do sistema. A seção desse cálice possui um sulco central que recebe o pilar e sulcos laterais para promover o encaixe com as vigas baldrame.

Essa peça tem dimensões de 200 mm x 200 mm, com reentrância central dimensionada de acordo com o pilar, ou seja, 140 mm x 140 mm e reentrâncias laterais de 140 mm de espessura, considerando também uma tolerância de 10 mm para acomodação do encaixe cálice-pilar e cálice-viga de fundação (Figura 50).

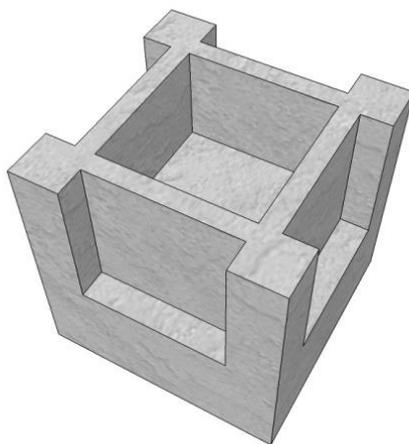


Figura 50 – Volumetria do cálice pré-fabricado de concreto.  
Fonte: Arquivo Pessoal.

### 3.3 COORDENAÇÃO MODULAR E PRÉ-FABRICAÇÃO

Utilizando os preceitos da Coordenação Modular, o Sistema Construtivo é baseado em medidas padronizadas. O módulo usado como referência é de 140 mm. Esse módulo foi determinado a partir da espessura considerada satisfatória para os pilares de concreto, que

também determinou a espessura dos painéis de vedação. As medidas nominais de largura dos componentes são, respectivamente, 130 mm, 830 mm e 1810 mm.

A partir das Medidas Nominais, foi previsto um Ajuste Modular de 10 mm de largura, visando contemplar tolerâncias de fabricação e de execução do sistema. A partir daí, ficam definidas as Medidas de Coordenação, que são: 140 mm, 840 mm e 1820 mm. A partir das Medidas de Coordenação, chega-se às seguintes Medidas Modulares de largura correspondentes: M, 6M e 13M (Figura 51). Daí verifica-se que são múltiplas do módulo do sistema, que é  $M = 140$  mm.

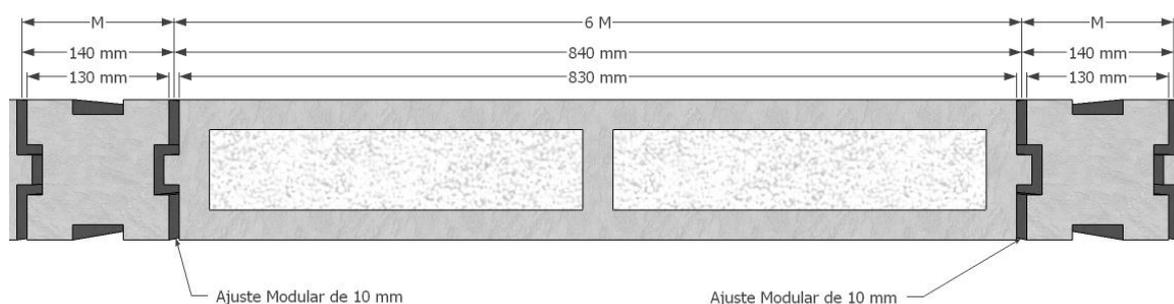


Figura 51 – Representação de topo das medidas de largura nominal, de coordenação e modulares do sistema construtivo desenvolvido.

Fonte: Arquivo Pessoal.

Para a medida de altura, foi considerada a Medida Nominal de 410 mm, que com o Ajuste Modular de 10 mm fornece uma Medida de Coordenação de 420 mm e, conseqüentemente, uma Medida Modular de 3M. Dessa forma, o valor da altura também é múltiplo de  $M = 140$  mm.

Com a definição das Medidas Modulares de largura e de altura a serem empregadas, tem-se os seguintes valores para os painéis e para os pilares pré-fabricados (Tabela 3, Figura 52 e Figura 53):

Tabela 3 – Medidas Modulares do sistema construtivo desenvolvido

<b>MEDIDAS NOMINAIS</b>			
	<b>Altura (mm)</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Espessura (mm)</b>
<b>Painel Pré-Fabricado 01</b>	410	830	130
<b>Painel Pré-Fabricado 02</b>	410	1810	130
<b>Pilar Pré-Fabricado</b>	-	130	130
<b>MEDIDAS DE COORDENAÇÃO</b>			
<b>Painel Pré-Fabricado 01</b>	420	840	140
<b>Painel Pré-Fabricado 02</b>	420	1820	140
<b>Pilar Pré-Fabricado</b>	-	140	140
<b>MEDIDAS MODULARES</b>			
<b>Painel Pré-Fabricado 01</b>	3M	6M	M
<b>Painel Pré-Fabricado 02</b>	3M	13M	M
<b>Pilar Pré-Fabricado</b>	-	M	M

Fonte: Arquivo Pessoal.

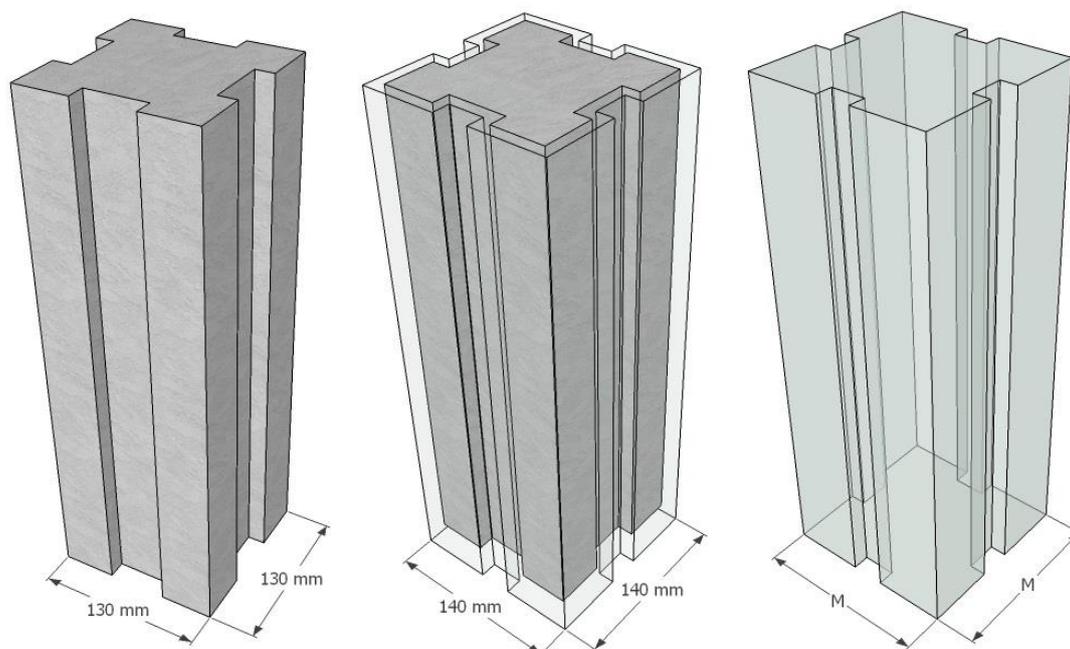


Figura 52 – Modulação do pilar pré-fabricado - da esquerda para a direita: Medida Nominal, Medida de Coordenação e Medida Modular.

Fonte: Arquivo Pessoal.

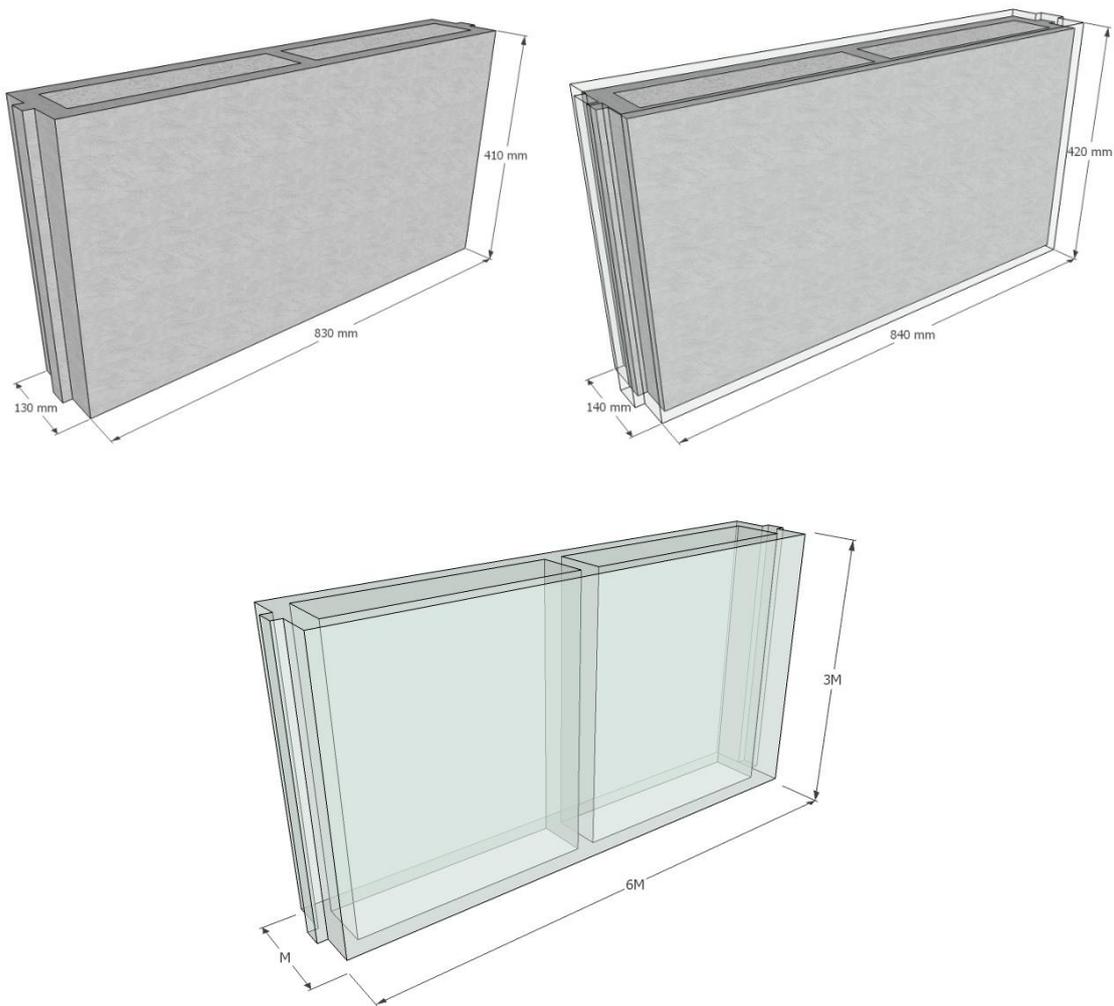


Figura 53 – Modulação do painel pré-fabricado tipo 1. Da esquerda para a direita: Medida Nominal e Medida de Coordenação. Abaixo: Medida Modular.

Fonte: Arquivo Pessoal.

O sistema possui painéis de vedação com duas dimensões. Como já mencionado, o painel tipo 01 possui dimensões modulares de  $6M \times 3M \times M$  e são propostos para ocuparem vãos de portas e janelas, além de permitirem configurações com dimensões menores. Já o painel tipo 02 possui dimensões modulares de  $13M \times 3M \times M$ , possuindo maior dimensão de largura e mantendo igual a altura e a espessura em relação ao painel tipo 01. As dimensões do painel tipo 02 permitem que eles sejam utilizados em vãos maiores, aumentando a agilidade na construção através da utilização de menos peças. A seguir, apresenta-se uma ilustração da utilização dos dois tipos de painéis dentro do sistema (Figura 54).

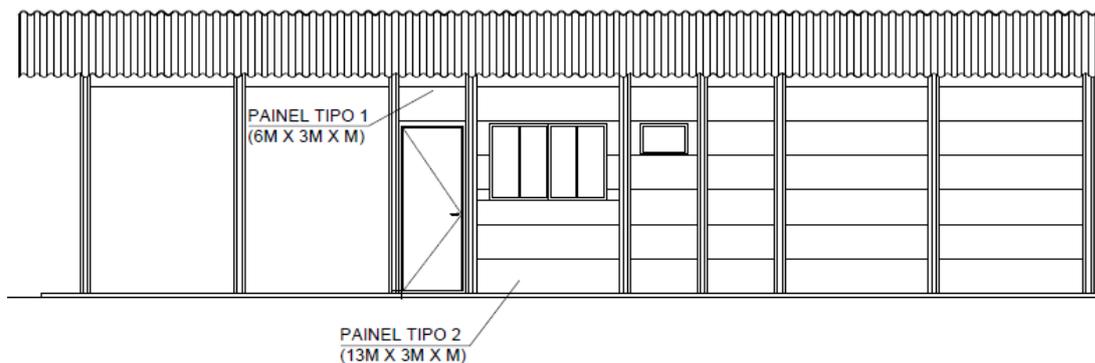


Figura 54 - Utilização dos painéis tipo 01 e tipo 02 dentro do sistema pré-fabricado.

Fonte: Arquivo próprio.

Após definir as principais dimensões modulares dos elementos do sistema, decidiu-se estudar uma proposição inicial de habitação de interesse social, utilizando o sistema proposto e respeitando a coordenação modular dos componentes. Os cômodos possuem dimensões conformadas pelas seguintes associações de elementos: painel tipo 02 + pilar + painel tipo 02, painel tipo 02 + pilar + painel tipo 01 e painel tipo 01 + pilar + painel tipo 01.

A proposta de habitação mostrada a seguir sugere uma habitação de interesse social cujo projeto prevê uma unidade inicial com apenas um quarto, com previsão para expansões futuras da habitação para 02, 03 e 04 quartos. Essa proposta inicial tem como cômodos principais um quarto, uma sala, uma cozinha e um banheiro, que são espaços essenciais para uma habitação social do tipo mais básico.

O projeto de habitação social em seu modelo mais básico (Figura 55) prevê uma área total de aproximadamente 29m<sup>2</sup>, sendo constituído de um quarto integrado à sala (13,61m<sup>2</sup>), uma cozinha (11,61m<sup>2</sup>), um banheiro (3,39m<sup>2</sup>) e uma área de serviço (1,82m<sup>2</sup>). Os cômodos são conformados por uma dimensão mínima de 13M, que corresponde a um painel tipo 02, que muitas vezes é substituído por dois painéis tipo 01 (12M) mais um pilar (M), quando há a necessidade de deixar vãos para portas ou janelas. A ideia dessa configuração é propor uma habitação com dimensões satisfatórias com sala e cozinha integradas como forma de economizar e aproveitar espaço.

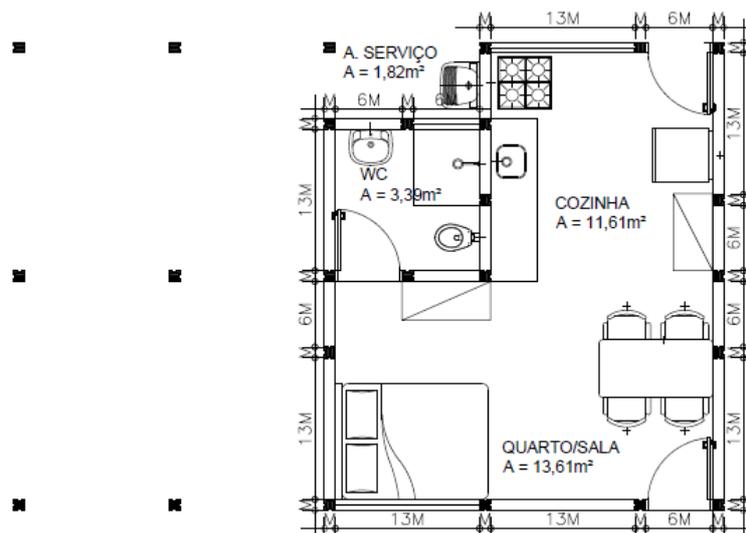


Figura 55 - Proposta de habitação de interesse social: unidade básica (01 quarto).  
Fonte: Arquivo próprio.

A primeira ampliação (Figura 56) da habitação sugere a separação do quarto e da sala, criando um quarto com aproximadamente 10,81m<sup>2</sup>, com dimensões modulares de 27M x 20M, já prevendo vãos para a colocação das portas e janelas nas próximas ampliações e substituindo um painel tipo 02 por dois painéis tipo 01 e um pilar. A área total da habitação com a primeira ampliação passa a ser de 41,3m<sup>2</sup>.

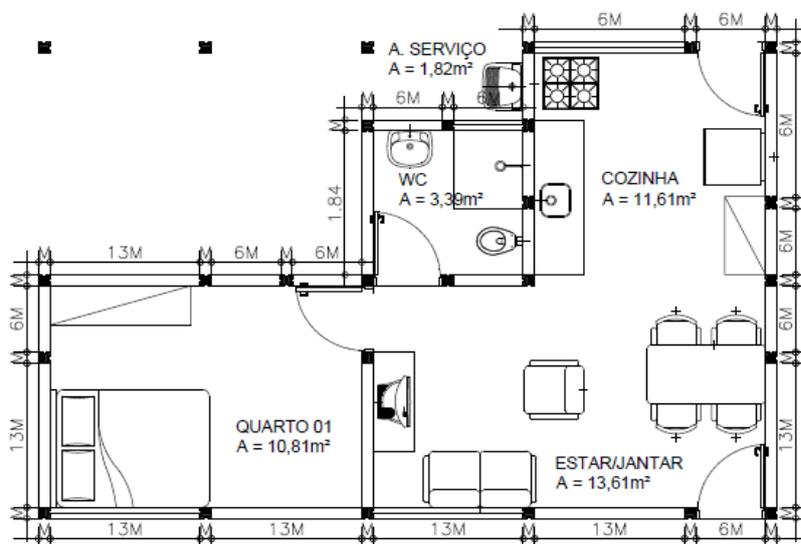


Figura 56 - Proposta de habitação de interesse social: unidade ampliada (01 quarto).  
Fonte: Arquivo próprio.

A seguir, apresenta-se uma ilustração da segunda proposta de ampliação da habitação, cuja modulação já fora prevista na primeira ampliação da unidade básica (Figura 57). O

segundo quarto é acrescentado, seguindo a mesma modulação do primeiro quarto, deixando o espaço de um painel tipo 01 para a colocação da porta. Dessa forma, diminui-se o tamanho do primeiro quarto para 9,83m<sup>2</sup> com o intuito de criar o acesso ao segundo quarto, que possui 10,81m<sup>2</sup>. A área total da habitação com a segunda ampliação passa a ser de 55m<sup>2</sup>.

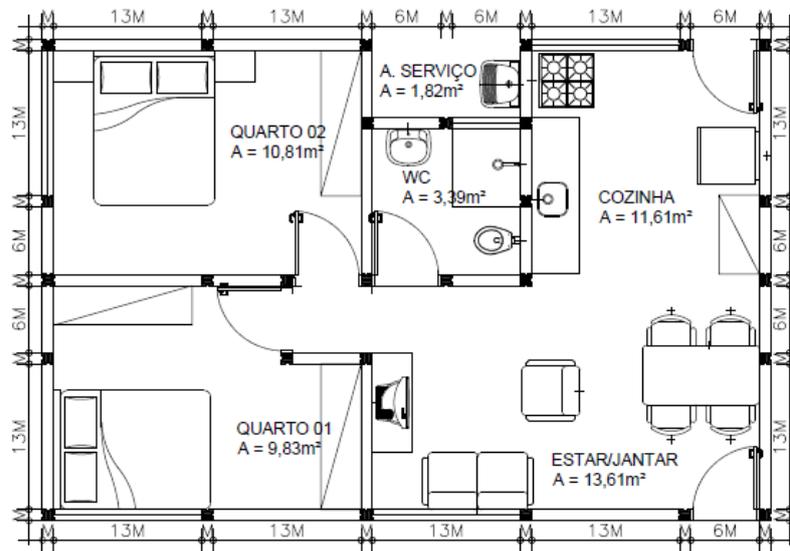


Figura 57 - Proposta de habitação de interesse social: unidade ampliada (02 quartos).  
Fonte: Arquivo próprio.

A terceira ampliação da habitação (Figura 58) consiste em acrescentar um terceiro quarto à unidade com dois quartos, utilizando a modulação dos dois quartos já existentes de forma espelhada, deixando também um espaço do vão da porta para a ampliação seguinte. Dessa forma, cria-se mais um quarto com 10,81m<sup>2</sup>, com as mesmas dimensões modulares de 27M x 20M. Com essa terceira ampliação, a área total da habitação passa a ser de 67,34m<sup>2</sup>.

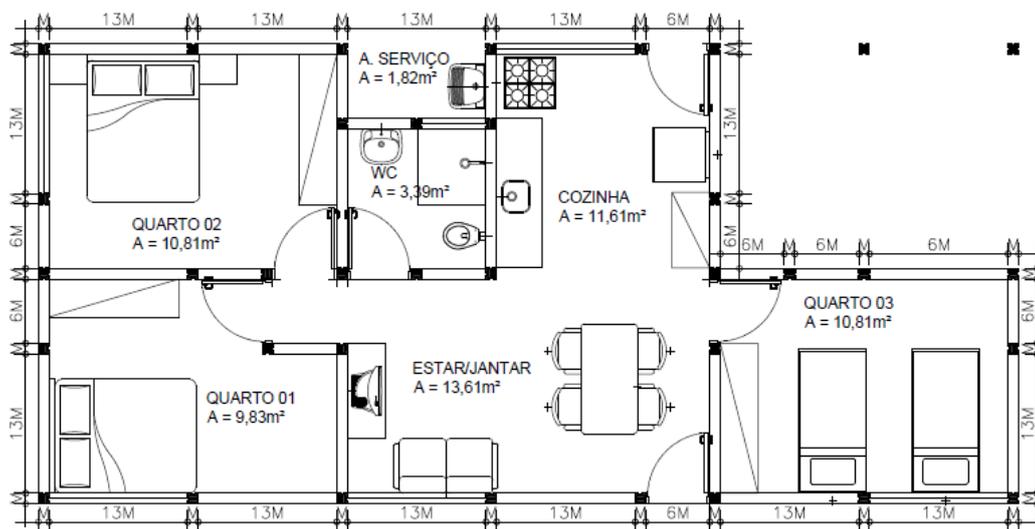


Figura 58 - Proposta de habitação de interesse social: unidade ampliada (03 quartos).  
Fonte: Arquivo próprio.

A última ampliação da habitação (Figura 59) consiste em, assim como na proposta da segunda ampliação, acrescentar mais um quarto de 10,81m<sup>2</sup> com dimensões modulares de 27M x 20M, seguindo a mesma modulação do terceiro quarto e deixando o espaço de um painel tipo 01 para a colocação da porta. Nesta ampliação, porém, verifica-se a necessidade de acrescentar mais um banheiro à habitação, ocupando uma área 3,39m<sup>2</sup>, que pertencia ao terceiro quarto. O banheiro que foi acrescentado segue exatamente a mesma modulação do banheiro existente, ou seja, 13M x 13M, e o terceiro quarto diminui sua área para 6,05m<sup>2</sup>. Dessa forma, com a última ampliação, a habitação passa a ter uma área total de 79,1m<sup>2</sup>.

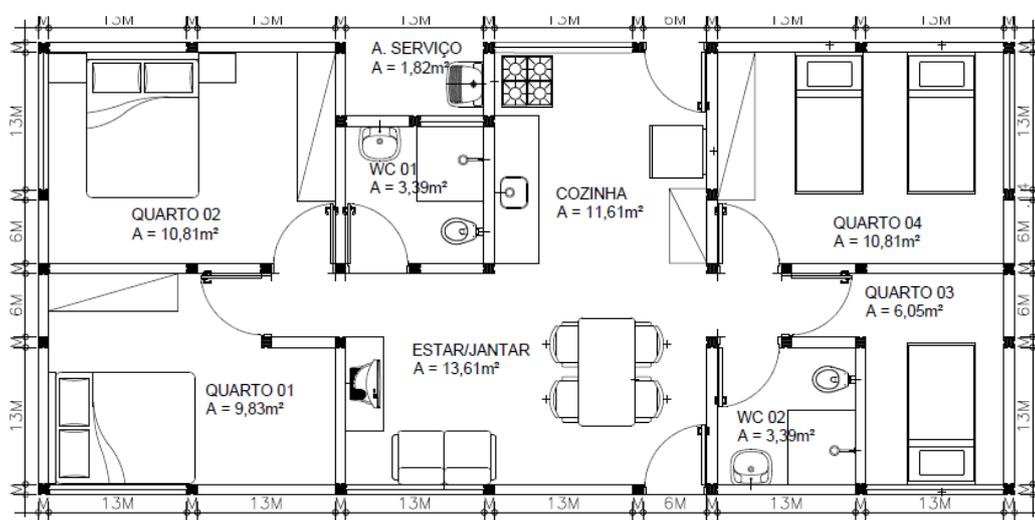


Figura 59 - Proposta de habitação de interesse social: unidade ampliada (03 quartos).  
Fonte: Arquivo próprio.

## **4 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O presente trabalho consiste na análise experimental de 09 painéis de concreto para vedação submetidos à compressão e cujo experimento foi realizado no Laboratório de Estruturas e Hidráulica da Universidade de Brasília (UnB).

O programa experimental compõe-se de três séries de ensaios: três painéis da Série 1, designados por C1, C2 e C3; três painéis da Série 2, designados por R1, R2 e R3 e três painéis da Série 3, designados por L1, L2 e L3 e possui como objetivo estudar os painéis submetidos à compressão, comparando-se os resultados obtidos por cada série ensaiada, levando-se em conta os diversos tipos de agregados utilizados.

A principal variável do presente estudo é a composição do agregado graúdo do concreto utilizado para produzir cada série de painéis, no caso, a brita comum (Série 1), a brita reciclada (Série 2) e a argila expandida (Série 3). Foram mantidos constantes os locais de aplicação da força, as medidas das peças, na medida do possível, e o posicionamento dos equipamentos utilizados nos ensaios.

O comportamento dos painéis foi acompanhado e monitorado por meio de medições com célula de carga e medidores digitais com carregamento registrado a cada 10 kgf e capacidade de 1000 kN. As leituras foram feitas diretamente no leitor digital conectado à célula de carga.

O programa experimental apresentado a seguir foi constituído das seguintes etapas: desenvolvimento do projeto de formas de madeira, execução das formas de madeira, definição dos materiais empregados, moldagem e cura dos 36 corpos de prova, ensaio de resistência à compressão dos 36 corpos de prova, moldagem dos 09 painéis de concreto, cura dos 09 painéis de concreto, capeamento dos 09 painéis de concreto, montagem do sistema de ensaio dos painéis e ensaio de resistência à compressão dos 09 painéis de concreto.

A seguir, apresenta-se um fluxograma ilustrativo das etapas executadas no programa experimental, a serem descritas de forma mais detalhada ao longo deste capítulo (Figura 60):

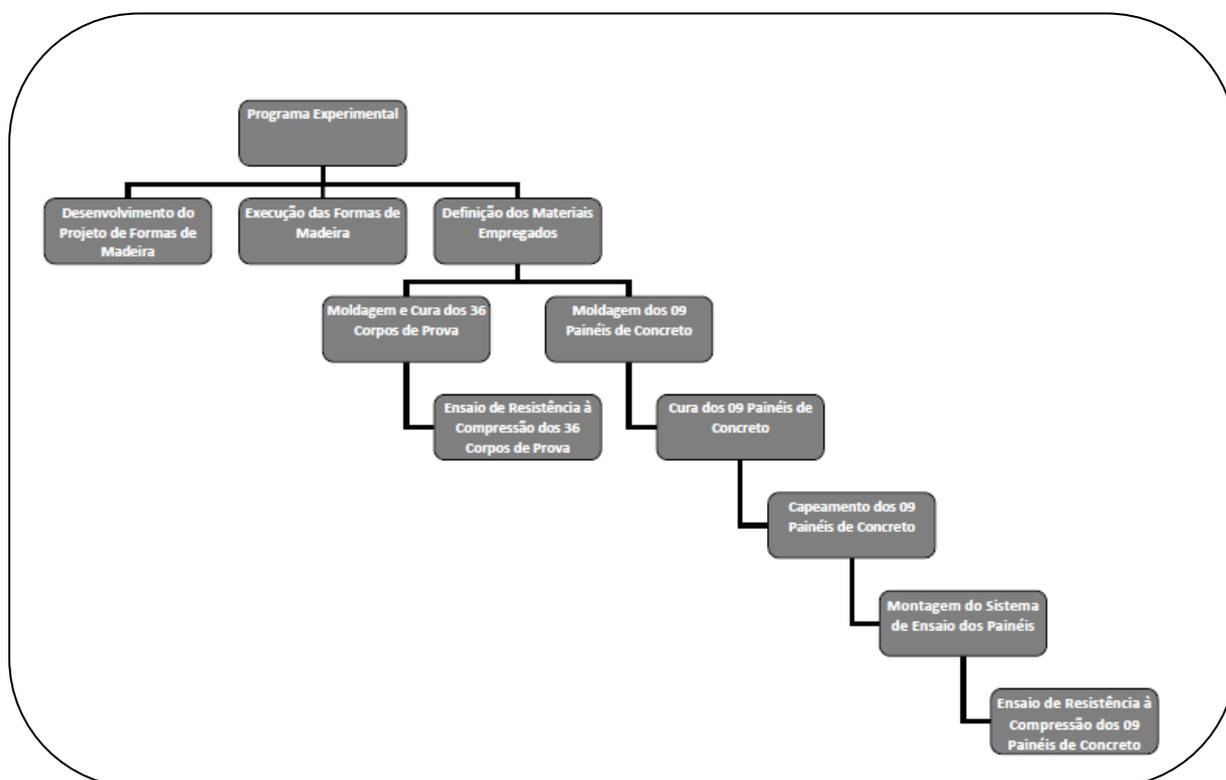


Figura 60 - Fluxograma ilustrativo das etapas executadas no programa experimental.  
Fonte: Arquivo Próprio.

## 4.2 PAINÉIS

### 4.2.1 Geometria e Caracterização dos Painéis

Foram utilizados painéis com dimensões aproximadas de seção de 830 mm x 140 mm, sendo consideradas saliências em ambas as extremidades de 20 mm x 40 mm (Figura 61). Os painéis possuíam alturas constantes de 430 mm (Figura 62 e Figura 63). As figuras a seguir ilustram as dimensões dos painéis ensaiados.

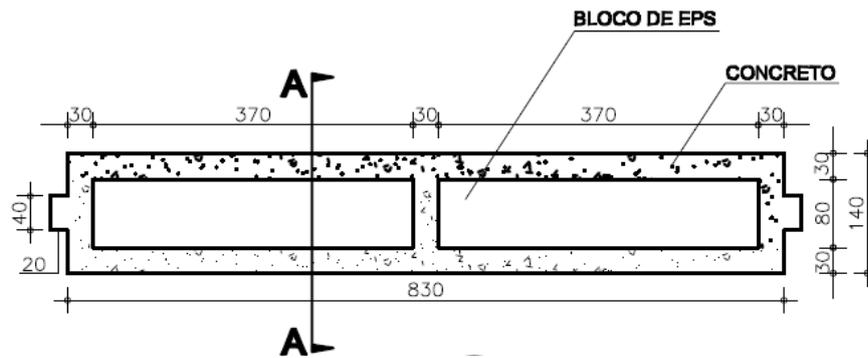


Figura 61 - Planta Baixa do Pannel (medidas em mm).  
Fonte: Arquivo próprio.

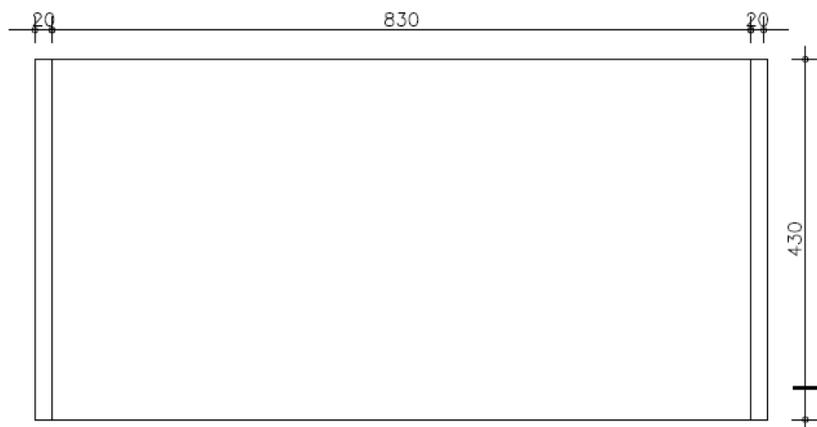


Figura 62 - Vista Lateral do Pannel (medidas em mm).  
Fonte: Arquivo próprio.

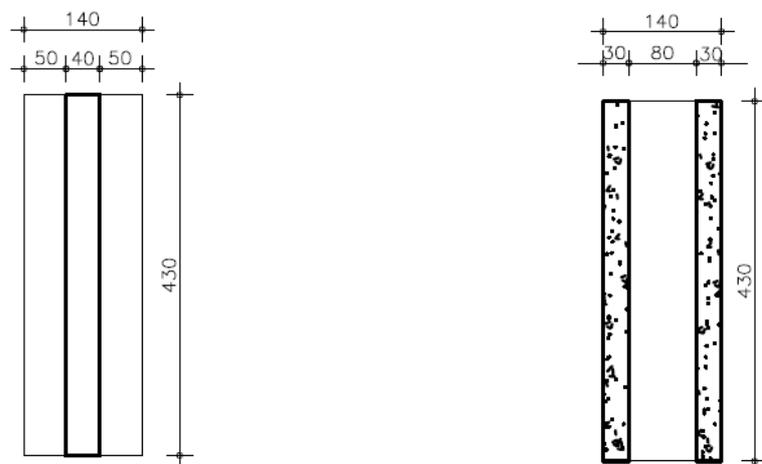


Figura 63 - Vista Frontal do Pannel à esquerda e Corte AA do Pannel à direita (medidas em mm).  
Fonte: Arquivo próprio.

Os painéis ensaiados foram identificados pela seguinte nomenclatura: C, R e L.

onde:

C = Painel de concreto com agregado convencional;

R = Painel de concreto com agregado reciclado;

L = Painel de concreto com agregado leve (argila expandida).

#### 4.2.2 Formas

Como já mencionado anteriormente, a folga que antes foi prevista para 10 mm, passou a ser de 5 mm de cada lado, o que gerou alguns pequenos ajustes tanto no projeto de formas, quanto nas peças. Esses ajustes restringiram-se simplesmente a mudanças dimensionais nas extremidades dos painéis para um melhor resultado de execução (Figura 64, Figura 65, Figura 66 e Figura 67).

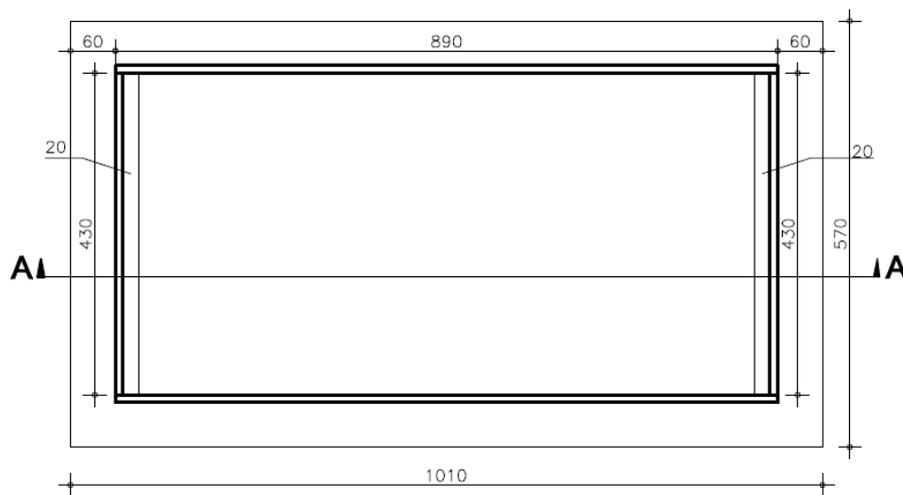


Figura 64 - Planta Baixa da forma do painel (medidas em mm).  
Fonte: Arquivo próprio.

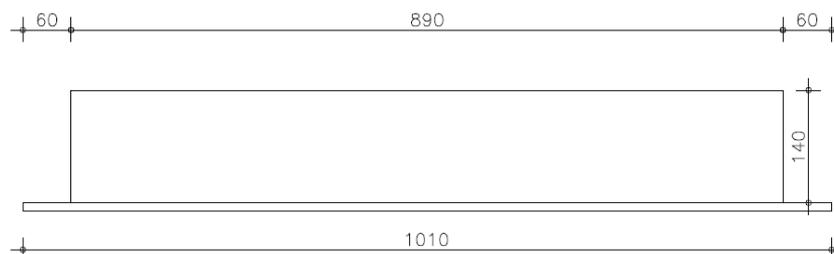


Figura 65 - Vista frontal da forma do painel (medidas em mm).  
Fonte: Arquivo próprio.

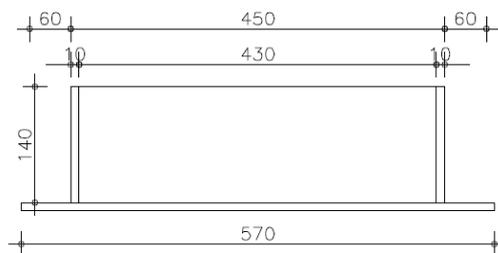


Figura 66 - Vista Lateral da forma do painel (medidas em mm).  
Fonte: Arquivo próprio.

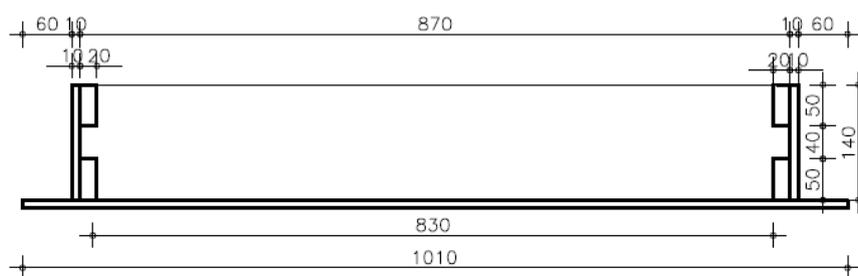


Figura 67 - Corte AA - forma painel (medidas em mm).  
Fonte: Arquivo próprio.

A confecção das formas foi realizada na marcenaria da Prefeitura da Universidade de Brasília (UnB). Com o projeto ajustado, foi feita a confecção das formas, utilizando peças de madeirite de 15 mm, cola e pregos (Figura 68).



Figura 68 - Formas executadas e prontas para a concretagem.  
Fonte: Arquivo próprio.

Ressalta-se que a escolha da utilização de formas de madeira deveu-se a limitações financeiras da pesquisa. Essa limitação guiou a escolha de materiais mais acessíveis financeiramente, no caso a madeirite, até mesmo tentando simular os materiais que seriam utilizados em um processo de autoconstrução, porém, que podem ser substituídos e

aperfeiçoados em pesquisas posteriores, buscando utilizar materiais reaproveitáveis mais sustentáveis do ponto de vista ambiental.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

#### 4.3.1 Cimento

O cimento utilizado foi o Cimento Portland composto com adição de pozolana e resistência de 32 MPa aos 28 dias.

A seguir, apresenta-se tabelas com as características descritas pelo fabricante (Tabela 4 e Tabela 5).

Tabela 4 - Composição do cimento utilizado de acordo com o fabricante.

<b>Tipo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classe</b>	<b>Norma</b>	<b>Clínquer + Gesso</b>	<b>Calcário</b>	<b>Pozolana</b>
II	CP II Z CP II Z RS	32	15578	76 a 94%	0 a 10%	6 a 14%

Fonte: <http://www.votorantimcimentos.com.br>.

Tabela 5 - Exigências Físicas e mecânicas do cimento fornecidas pelo fabricante.

<b>Finura</b>		<b>Tempo de Pega</b>		<b>Expansibilidade</b>		<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>			
Resíduo na Peneira 75 mm (%)	Área Específica (m <sup>2</sup> /kg)	Início (h)	Término (h)	A Frio (mm)	A Quente (mm)	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
≤ 12,0	≥ 260,0	≥ 1	≤ 10 (1)	≤ 5	≤ 5	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32

Fonte: <http://www.votorantimcimentos.com.br>.

#### 4.3.2 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi areia média lavada, passante na peneira 1 mm e retida na peneira 0,425 mm (Figura 69).



Figura 69 - Areia média lavada.  
Fonte: Arquivo próprio.

### 4.3.3 Agregado Graúdo

Os agregados graúdos utilizados foram: brita 0 comum, brita 0 reciclada (Figura 70) e argila expandida, todas passantes na peneira 12.5 mm e retidas na peneira 6.5 mm.



Figura 70 - Brita 0 comum (à esquerda) e brita 0 reciclada (à direita).  
Fonte: Arquivo próprio.

A argila expandida foi sugerida pela Cinexpan Argila Expandida. Foi utilizada a argila expandida tipo 2215, cuja nomenclatura refere-se à sua granulometria (15 mm a 22 mm), porém foi necessário britá-la para o tamanho da brita 0, com o intuito de uniformizar a granulometria dos agregados graúdos, ou seja, passante na peneira 12,5 mm e retida na peneira 6,5 mm (Figura 71).



Figura 71 - Argila expandida tipo 2215 (à esquerda) e argila expandida tipo 2215 britada para o tamanho de brita 0 (à direita).

Fonte: Arquivo próprio.

De acordo com as informações do fabricante, a argila expandida utilizada do tipo 2215 possui as seguintes características: classe granulométrica variando de 15 mm a 22 mm, que seria equivalente à brita 1, e densidade aparente de 500 kg/m<sup>3</sup>, com variação de mais ou menos 10%.

#### 4.3.4 Aditivo Polifuncional

Foi utilizado um aditivo plastificante polifuncional na dosagem do concreto leve do tipo MasterPolyheed 40 da BASF, que atua como dispersante do material aglomerante, propiciando elevada redução de água sem alteração do tempo de pega do concreto. De acordo com o fabricante, o aditivo possui as seguintes características (Tabela 6):

Tabela 6 - Dados técnicos do aditivo polifuncional, fornecidos pelo fabricante.

Base Química	Lignosulfatos e aditivos especiais
Aspecto TM 761B*	Líquido castanho escuro
Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) TM 103B*	1,130 a 1,170
Ph TM 112B*	7 – 9
Sólidos TM 613B*	32,00 a 35,00

\* Métodos Internos

Fonte: <http://assets.master-builders-solutions.basf.com>.

#### 4.4 TRAÇOS UTILIZADOS

Os traços estabelecidos para o concreto convencional e para o concreto com agregado reciclado mantiveram as proporções sugeridas pela pesquisa de Tenório (2012), que apresentou resultados considerados satisfatórios e uma boa relação entre os resultados do concreto convencional e do concreto com agregado reciclado.

O concreto apresenta uma relação água/cimento de 0,67 em 1m<sup>3</sup> de volume, no qual, o concreto com agregado reciclado foi dosado substituindo-se 40% do agregado convencional por agregado reciclado. O concreto convencional foi dosado para uma resistência de 20,1 MPa e o concreto com agregado reciclado foi dosado para uma resistência de 23,4 MPa.

Para o traço do concreto com agregado leve, seguiu-se as sugestões feitas pelo fabricante para concretos com agregado leve, pois a resistência de dosagem do concreto apresentada pelo mesmo era de 15 MPa, que é um valor próximo ao das dosagens propostas pela pesquisa de Tenório (2012).

A seguir, apresenta-se uma tabela com os traços utilizados (Tabela 7):

Tabela 7 - Traços utilizados para cada tipo de concreto.

<b>Tipo de Concreto</b>	<b>Cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Agregado Miúdo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Agregado Graúdo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Água (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Aditivo Polifuncional (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Relação a/c</b>
<b>67CC</b>	300,0	806,7	1048,0	200,0	-	0,67
<b>67CR</b>	300,0	806,7	900,0	200,0	-	0,67
<b>48CL</b>	340,0	810,0	230,0	215,0	2,72	0,48

(\*) 67 e 48 referem-se à relação a/c; CC = Concreto Convencional; CR = Concreto com Agregado Reciclado e CL = Concreto com Agregado Leve.

Fonte: Arquivo próprio.

#### 4.5 MOLDAGEM E CURA DOS PAINÉIS

Os painéis foram concretados em 03 etapas, descritas a seguir:

1ª concretagem: 3 painéis de concreto convencional;

2ª concretagem: 3 painéis de concreto com agregado reciclado;

3ª concretagem: 3 painéis de concreto com agregado leve.

Primeiramente, foi feita a mistura do concreto com suas devidas proporções e já iniciado o processo de lançamento do concreto.

Feita a dosagem, foi retirada uma parte do concreto para a realização do teste de abatimento (*slump test*). O concreto convencional, o concreto com agregado reciclado e o concreto com agregado leve apresentaram um abatimento nulo, ou seja, de 0 cm, que caracteriza o concreto como sendo muito seco (Figura 72).

O resultado nulo do Slump test para os três tipos de concreto sugerem que o traço utilizado não seria o mais ideal para emprego em processos de autoconstrução, sugerindo estudos posteriores com traços de consistência mais fluida.



Figura 72 - *Slump test* do concreto com agregado leve.  
Fonte: Arquivo próprio.

Antes de lançar a primeira camada de concreto na forma do painel, foi feito um processo de untagem da mesma, utilizando óleo mineral, de forma a facilitar o processo posterior de desmoldagem das peças, evitando dificuldades no processo. Depois de untada, foi feito o lançamento da primeira camada de concreto na forma, com 30 mm de espessura, havendo a preocupação de tentar manter a superfície regular, para não haver grandes distorções em termos de espessura da camada.

Com a primeira camada já regularizada, procedeu-se ao encaixe e à acomodação dos blocos de EPS sobre a camada de concreto, com o cuidado de respeitar os espaços previstos de 30 mm entre um bloco e outro e também entre os blocos e a forma de madeira, pois os mesmos seriam preenchidos, em fase posterior, com a segunda camada de concreto (Figura 73).



Figura 73 - Colocação da primeira camada de concreto (à esquerda) e colocação dos blocos de isopor em cima da primeira camada de concreto (à direita).

Fonte: Arquivo próprio.

Depois de posicionados os blocos de EPS, foi feito o lançamento da segunda camada de concreto sobre os blocos até o limite superior da forma. Ao proceder a colocação dessa segunda camada, houve uma maior preocupação em preencher corretamente os espaços deixados pelos blocos de EPS de forma que as duas camadas de concreto ficassem coesas e bem compactadas, além de preencher corretamente o espaço correspondente à peça de encaixe com os pilares (macho e fêmea). Durante o procedimento, foi feito o adensamento do concreto com haste metálica.

Finalizando o processo de moldagem do painel, foi retirado o excesso de concreto da parte superior da peça e foi efetuada a regularização da superfície (Figura 74).



Figura 74 - Acabamento e regularização da superfície do painel (esquerda) e painéis executados e prontos para cura (direita).

Fonte: Arquivo próprio.

Em cada concretagem, foram retirados 12 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) para a caracterização do concreto e colocados na câmara úmida para serem ensaiados em 03, 07, 14 e 28 dias (Figura 75).



Figura 75 - Moldagem e cura dos corpos de prova.

Fonte: Arquivo próprio.

Nos primeiros 04 dias, foi feita uma cura úmida convencional sobre os painéis e depois foi feita a desforma dos mesmos (Figura 76), pesando-os e colocando-os, em seguida, imersos em água por mais 06 dias para completar o processo de cura por imersão total em água (Figura 77).



Figura 76 - Desmoldagem dos painéis (esquerda) e painel de concreto convencional desmoldado (direita).

Fonte: Arquivo próprio.



Figura 77 - Pesagem dos painéis (à esquerda) e processo de colocação dos painéis em recipiente para cura por imersão total em água (à direita).

Fonte: Arquivo próprio.

Após serem retirados da água, os painéis foram guardados em local protegido até completar os 28 dias para então serem realizados os ensaios à compressão.

## 4.6 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

### 4.6.1 Capeamento dos Painéis

Antes de iniciar os ensaios com os painéis de vedação, foi necessário realizar um procedimento de capeamento dos mesmos, de maneira que as superfícies a serem submetidas à compressão fossem completamente regularizadas e distribuíssem a carga uniformemente pela peça. Esse capeamento foi feito no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da Universidade de Brasília (UnB).

A primeira etapa do procedimento consistia em, utilizando uma superfície totalmente regular e uniforme, espalhar óleo para que a pasta de capeamento não aderisse. Depois de misturar cimento e água, fez-se uma pasta de cimento e aplicou-se na região já coberta com o óleo, fazendo uma camada com alguns milímetros de espessura (Figura 78).



Figura 78 - Preparação da superfície para realização do capeamento.

Fonte: Arquivo próprio.

Colocada a pasta sobre a superfície plana, suspendeu-se a peça de concreto e posicionou-se a superfície a ser capeada sobre a pasta de cimento. Feito isso, verificou-se o correto nivelamento com um nível de bolha e retirou-se a pasta acumulada ao redor da peça para evitar que, após a secagem e manuseio, o capeamento fosse danificado (Figura 79).



Figura 79 - Acomodação da base do painel na pasta de cimento recém-espalhada.

Fonte: Arquivo próprio.

Após 24 horas, foi feito o procedimento na superfície oposta dos painéis para, em seguida, poder manusear a peça e transportá-la. Depois de seca, a superfície do painel, já nivelada e regularizada, estava pronta para a realização dos ensaios à compressão (Figura 80).



Figura 80 - Aspecto da superfície regularizada do painel.  
Fonte: Arquivo próprio.

## 4.6.2 Procedimento de ensaio

### 4.6.2.1 Sistema de ensaio

Depois de capeados, os painéis foram levados para o Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília (UnB), onde foi montado e realizado o ensaio de resistência à compressão.

Para a realização dos ensaios, foi utilizado um pórtico metálico (Figura 81), para acompanhamento do carregamento, com célula de carga da marca KRATOS (Figura 83) e macaco hidráulico acoplado e alinhado (Figura 82). A célula de carga tinha como objetivo medir a carga aplicada e tinha uma capacidade de 1.000 kN e uma precisão de 0,1 kN.



Figura 81 - Pórtico metálico utilizado para realização dos ensaios.  
Fonte: Arquivo próprio.



Figura 82 - Bomba hidráulica (à esquerda) e macaco hidráulico (à direita).  
Fonte: Arquivo próprio.



Figura 83 - Célula de carga (à esquerda) e leitor de célula de carga (à direita).  
Fonte: Arquivo próprio.

A estrutura de reação do ensaio era composta por um pórtico metálico fixado na laje de reação do Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília.

Foi colocada uma viga metálica na parte superior e outra na parte inferior para uma adequada distribuição de força na superfície da seção transversal do painel. Foram colocadas chapas metálicas para nivelar a altura necessária entre a célula de carga e a viga metálica (Figura 84).

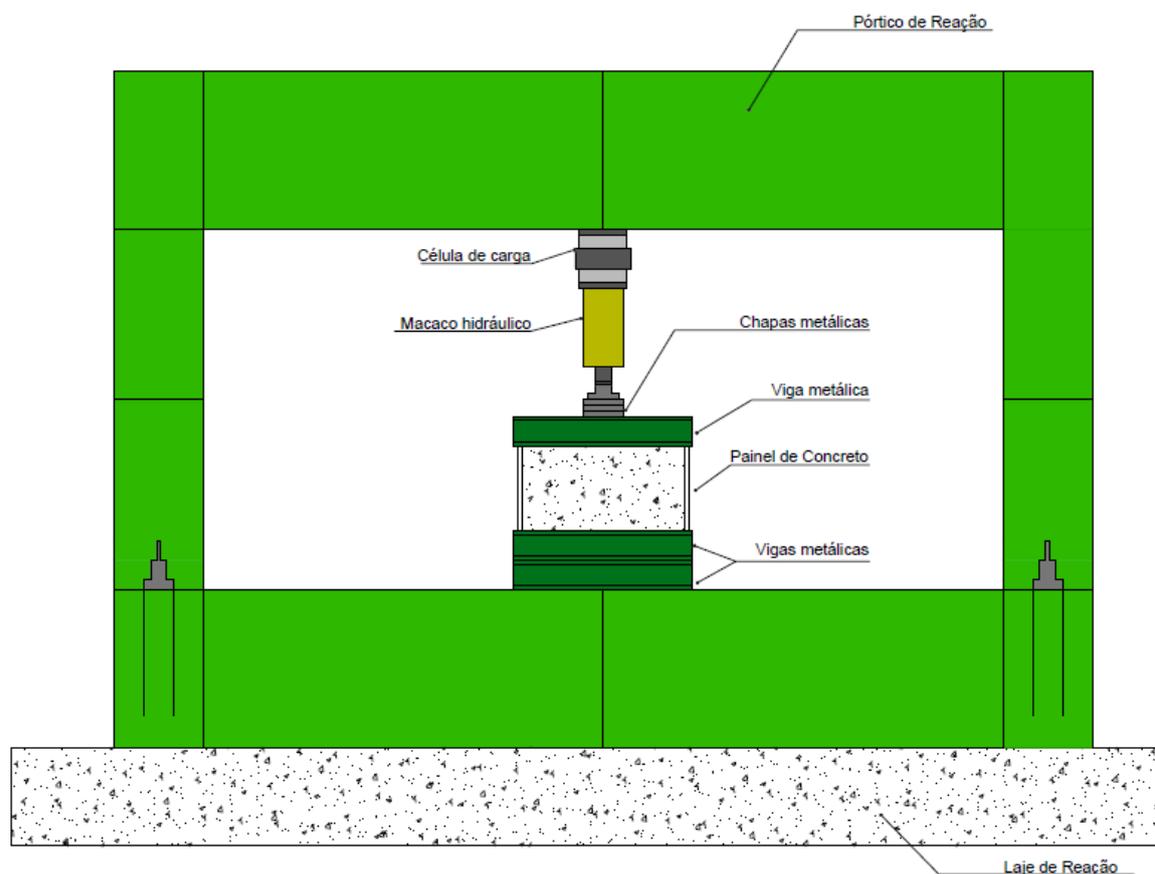


Figura 84 - Sistema de ensaio utilizado.  
 Fonte: Arquivo próprio.

#### 4.6.2.2 Posicionamento dos painéis na estrutura de reação

O transporte e a movimentação dos painéis para o local de ensaio foi feito com auxílio de um carrinho de duas rodas e foi colocado no sistema de ensaio manualmente.

O ensaio foi montado com centro em um dos macacos hidráulicos do pórtico metálico, verificando-se o prumo posteriormente. Primeiro, foram posicionadas duas vigas metálicas de reação sobre a superfície inferior do pórtico (Figura 85). Depois, a peça a ser ensaiada foi encaixada em cima das vigas metálicas de reação, mantendo as peças sempre alinhadas pelo eixo. Acima do painel, colocou-se outra viga metálica para compressão (Figura 86) e acima dela foram posicionadas as chapas metálicas até a altura da base do macaco hidráulico.



Figura 85 - Colocação das vigas de reação metálicas inferiores.  
Fonte: Arquivo próprio.



Figura 86 - Colocação do painel, da viga metálica superior de distribuição de carga e das chapas metálicas em contato com o macaco hidráulico.  
Fonte: Arquivo próprio.

#### 4.6.2.3 Execução do ensaio

A carga foi aplicada incrementalmente a uma taxa de aproximadamente 0,4 kN por segundo. A seguir, apresenta-se uma figura que ilustra a aplicação da carga no sistema (Figura 87).



Figura 87 - Execução do ensaio com aplicação de carga até a ruptura do painel.  
Fonte: Arquivo próprio.

## **5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Neste capítulo, são apresentados os resultados de caracterização dos materiais utilizados na produção dos painéis de concreto para vedação e os resultados dos ensaios experimentais dos painéis estudados nessa pesquisa.

Em relação aos ensaios experimentais, são apresentados os resultados obtidos pela resistência à compressão, analisando a ruptura dos painéis de vedação ensaiados. Juntamente com a apresentação dos resultados, é realizada a análise dos resultados obtidos na pesquisa.

### **5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO**

Foi utilizada uma prensa elétrica digital, que possui sistema de leitura com memória da carga máxima de 4 dígitos e resolução de 10 kgf. A aplicação da carga é contínua, com válvula reguladora de vazão para controle de carga. Para a realização do ensaio de compressão, foram utilizados corpos de prova com 200 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro. Em seguida, foram analisados os resultados obtidos para cada uma das peças ensaiadas, considerando os resultados para 03, 07, 14 e 28 dias.

As propriedades do concreto quanto à sua resistência à compressão são determinadas a partir da ABNT NBR 5739:1994 – Ensaio de Resistência à Compressão de Corpos de prova Cilíndricos.

A força foi aplicada uniformemente a partir da utilização de discos de neoprene em cada uma das faces. O valor da resistência à compressão foi obtido dividindo-se a força de ruína de cada peça pela área da seção transversal do corpo de prova, sendo seu resultado expresso com uma precisão de 0,1 MPa, de acordo com o estabelecido na referida norma. As dimensões dos corpos de prova foram medidas com maior precisão através da utilização de um paquímetro.

A tabela abaixo apresenta os resultados de resistência à compressão obtidos para cada corpo de prova de concreto aos 28 dias (Tabela 8).

Tabela 8 - Resultados experimentais do concreto aos 28 dias.

<b>Tipo de Concreto</b>	<b>Corpos de prova</b>	<b>Diâmetro (Ø) (mm)</b>	<b>Área Bruta (A<sub>b</sub>) (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>F<sub>u</sub> (N)</b>	<b>f<sub>c28</sub> (MPa)</b>	<b>f<sub>cm28</sub> (MPa)</b>	<b>Desvio-Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Concreto Convencional	CPC-01	100,3	7.897,2	200,6	123.140	15,6	13,5	1,47	11,0%
	CPC-02	100,2	7.881,4	200,5	97.070	12,3			
	CPC-03	100,1	7.865,7	201,5	100.210	12,7			
Concreto com Agregado Reciclado	CPR-01	99,6	7.787,3	199,5	131.290	16,9	14,3	1,78	12,5%
	CPR-02	100,3	7.897,2	200,2	106.030	13,4			
	CPR-03	100,1	7.865,7	199,9	99.780	12,7			
Concreto com Agregado Leve	CPL-01	100,5	7.928,7	200,3	137.970	17,4	17,0	1,10	6,5%
	CPL-02	100,0	7.850,0	199,3	141.890	18,1			
	CPL-03	98,8	7.662,7	199,4	119.190	15,5			

Fonte: Arquivo próprio.

A partir da análise dos resultados encontrados, constatou-se que o concreto convencional apresentou um valor de resistência aos 28 dias de 15,6 MPa, já o concreto com agregado reciclado apresentou uma resistência de 16,9 MPa e o concreto com agregado leve apresentou um valor de resistência de 18,1 MPa, que é um valor mais alto que os demais.

Percebe-se um desvio-padrão de 1,47 para o concreto convencional, de 1,78 para o concreto com agregado reciclado e 1,10 para o concreto com agregado leve. O concreto com agregado leve, portanto, apresentou a menor variação dos resultados, porém pode-se considerar que, para todos os tipos de concreto, não houve grandes variações nos resultados encontrados.

Percebe-se que o valor mais alto do concreto leve pode ter diversos fatores que o justifiquem, como, por exemplo, o uso do aditivo polifuncional, que não foi utilizado na produção dos outros dois tipos de concreto e também eventuais diferenças de adensamento do concreto, que podem ter influenciado no seu incremento de resistência.

Percebe-se também que o concreto convencional e o concreto com agregado reciclado apresentaram valores médios de resistência muito próximos. Isso pode estar relacionado ao uso do mesmo traço, com pequenas variações no agregado graúdo, e da mesma relação água/cimento de 0,67. Essa relação água/cimento mais alta pode explicar as menores resistências do concreto convencional e do concreto com agregado reciclado em relação ao concreto com agregado leve, cuja relação água/cimento utilizada foi de 0,48.

Além disso, de acordo com Tenório (2012), para relações água/cimento elevadas, como o de 0,67 utilizado, a tendência é que o concreto com agregado reciclado apresente uma resistência um pouco maior que a do concreto convencional, o que foi exatamente observado nos resultados da pesquisa, usando a relação água/cimento de 0,67 para os dois tipos de concreto, apresentou um valor de resistência aos 28 dias um pouco maior para o concreto com agregado reciclado (16,9 MPa) em relação ao concreto convencional (15,6 MPa).

A seguir, apresenta-se a curva de resistência para cada tipo de concreto, considerando os resultados para 03, 07, 14 e 28 dias. É importante mencionar que a curva de resistência estaria mais bem ajustada caso houvessem mais dados, ou seja, mais corpos de prova a serem analisados.

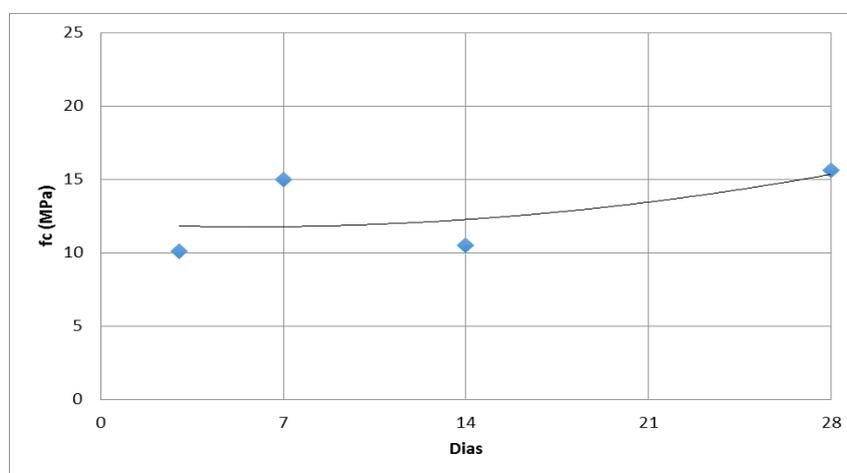


Figura 88 - Variação de  $f_c$  com o tempo - concreto com agregado comum.  
Fonte: Arquivo próprio.

A partir da análise do gráfico (Figura 88), constata-se, inicialmente, que o concreto convencional inicia sua curva de resistência com um valor aos 3 dias de 10,1 MPa, alcançando 15,0 MPa aos 7 dias, porém, aos 14 dias, apresentou uma resistência média de 10,5 MPa, chegando a um valor 15,6 MPa aos 28 dias.

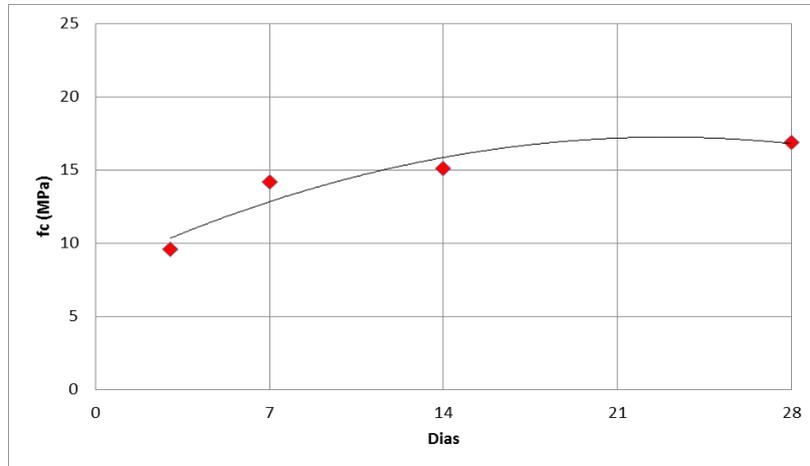


Figura 89 - Variação de  $f_c$  com o tempo - concreto com agregado reciclado.  
Fonte: Arquivo próprio.

Analisando a curva de resistência para o concreto com agregado reciclado (Figura 89), percebe-se que o mesmo apresentou um valor de resistência média aos 3 dias de 9,6 MPa, aos 7 dias de 14,2 MPa, aos 14 dias de 15,1 MPa e aos 28 dias de 16,9 MPa, cujo valor máximo aos 28 dias foi maior do que o valor apresentado pelo concreto convencional.

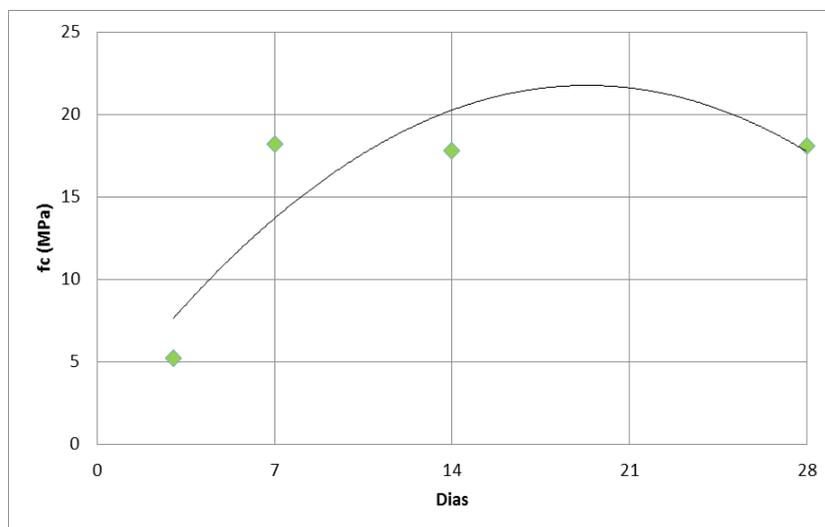


Figura 90 - Variação de  $f_c$  com o tempo - concreto com agregado leve.  
Fonte: Arquivo próprio.

Ao analisar a curva de resistência do concreto com agregado leve (Figura 90), constata-se que este apresentou um valor baixo em relação dos demais aos 03 dias, que foi de 5,2 MPa, porém esse baixo resultado pode ser explicado pela não imersão em água durante o período que antecedeu o rompimento desses corpos de prova, pois o processo de cura do concreto com agregado leve mostrou-se mais demorado que o dos demais tipos de concreto.

Aos 7 dias, o valor de sua resistência apresentou um ganho, chegando a 18,2 MPa. Aos 14 dias, chegou a 17,8 MPa e 18,1 MPa aos 28 dias, o que demonstra que o concreto com agregado leve foi o que apresentou o maior valor de resistência aos 28 dias.

A seguir, apresenta-se um gráfico comparativo das curvas de resistência para cada tipo de concreto produzido (Figura 91).

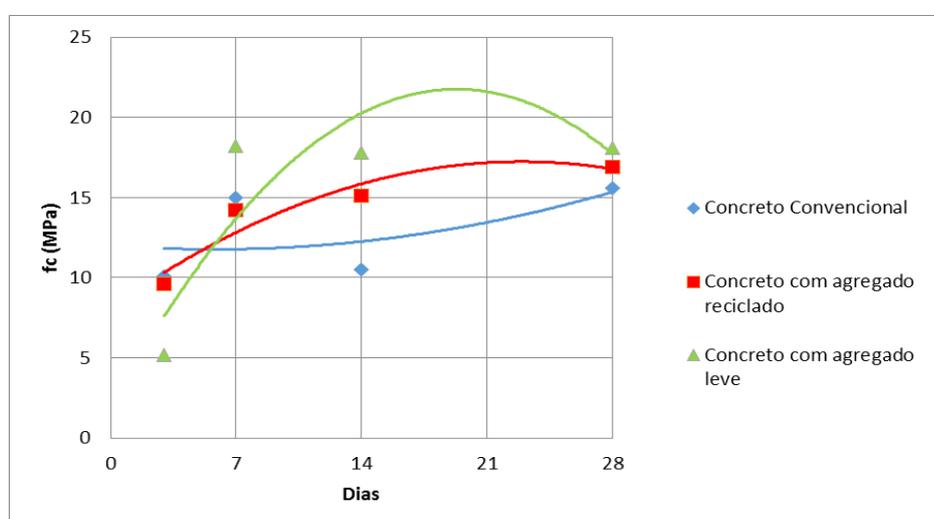


Figura 91 - Comparação entre as variações de  $f_c$  com o tempo, levando-se em conta o tipo de concreto utilizado.

Fonte: Arquivo próprio.

É importante comentar que essa curva de variação de  $f_c$  com o tempo não representa o ganho de resistência real do concreto e é apresentada no trabalho somente para ter uma noção aproximada da variação da resistência do concreto com o decorrer do tempo. Essa falta de precisão na apresentação da curva de resistência real do concreto deve-se ao sistema de autoconstrução empregado, que permite falhas de execução e ao pequeno número de amostras ensaiadas, o que diminui a precisão e representatividade dos resultados encontrados.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS

Apresenta-se, a seguir, a caracterização dos painéis ensaiados, considerando as dimensões encontradas, a massa medida em kg e a massa específica em  $\text{kg/m}^3$ , calculado para cada peça (Tabela 9). A área líquida em  $\text{mm}^2$  foi determinada calculando-se a superfície líquida de recebimento da carga nos ensaios, ou seja, a superfície superior (área bruta) total dos painéis, retirando a área equivalente aos vazios preenchidos com EPS, que não contribuem para o recebimento de carga do painel.

Tabela 9 - Características dos painéis ensaiados.

Série	Painéis	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Área Líquida ( $A_l$ ) ( $\text{mm}^2$ )	Massa (kg)	Massa Específica ( $\rho$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	Massa Específica Média ( $\rho_m$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	Coefficiente de Variação
1	C1	825	138	56.250	49,9	2.063	2.055	0,3%
	C2	834	141	59.990	52,8	2.047		
	C3	832	140	58.880	52,0	2.054		
2	R1	830	140	58.600	47,0	1.865	1.920	3,0%
	R2	828	138	56.650	45,5	1.868		
	R3	829	139	57.630	50,2	2.026		
3	L1	829	140	58.460	36,7	1.460	1.463	0,3%
	L2	828	138	56.650	35,7	1.466		
	L3	-	-	-	-	-		

Nota: C = Painel de Concreto Convencional; R = Painel de Concreto com Agregado Reciclado e L = Painel de Concreto com Agregado Leve.

Fonte: Arquivo próprio.

Tabela 10 - Fator de eficiência das massas específicas dos painéis de concreto utilizados em relação à massa específica ao painel de concreto convencional.

Massa específica média - $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )		$\rho_{ci}/\rho_{c1}$
Concreto Convencional ( $\rho_{c1}$ )	2.055	1
Concreto com Agregado Reciclado ( $\rho_{c2}$ )	1.920	0,93
Concreto com Agregado Leve ( $\rho_{c3}$ )	1.463	0,71

Fonte: Arquivo próprio.

Comparando a massa específica dos três tipos de concreto empregados na produção dos painéis ensaiados, verifica-se, na tabela acima (Tabela 10), que o concreto convencional apresenta um valor médio de 2.055 kg/m<sup>3</sup>, o concreto com agregado reciclado apresenta um valor médio de 1.920 kg/m<sup>3</sup> e o concreto com agregado leve apresenta um valor médio de 1.463 kg/m<sup>3</sup>.

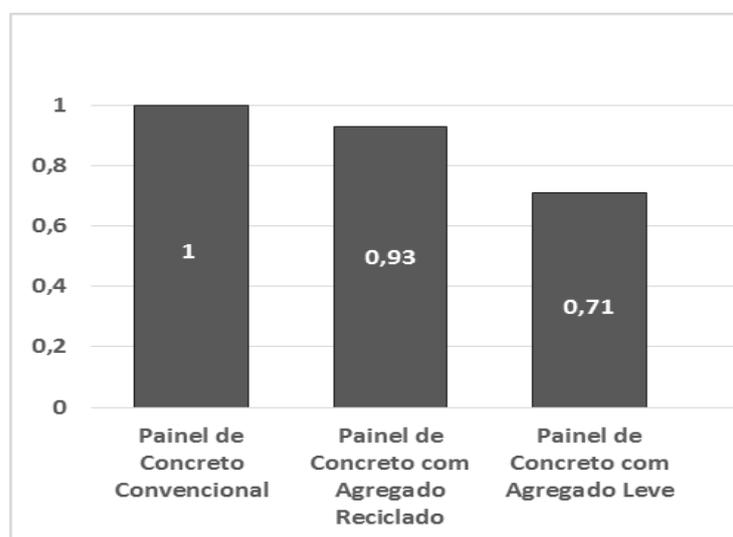


Figura 92 - Comparação das massas específicas dos painéis de concreto utilizados em relação à massa específica ao painel de concreto convencional.

Fonte: Arquivo próprio.

Apesar da constatação de diminuição da massa específica em 7% do concreto com agregado reciclado em relação ao convencional e de 29% do concreto com agregado leve em relação ao convencional (Figura 92), não se pode afirmar que um tipo de concreto é mais eficiente que o outro em termos de massa específica, por conta da necessidade de se avaliar outros aspectos para comprovarem essa afirmação.

O que se pode constatar é que a diminuição da massa específica verificada no concreto com agregado reciclado está diretamente ligada à substituição parcial do agregado graúdo comum por reciclado, com uma diminuição considerável da quantidade de agregado graúdo no traço para um mesmo volume (de 1.048,0 kg/m<sup>3</sup> no concreto convencional para 900,0 kg/m<sup>3</sup> no concreto com agregado reciclado).

Em relação ao concreto com agregado leve, a diminuição da massa específica pode estar diretamente ligada à substituição do agregado graúdo comum pela argila expandida, de densidade consideravelmente menor, utilizando um traço com uma quantidade bem menor de agregado graúdo para um mesmo volume (de 1.048,0 kg/m<sup>3</sup> no concreto convencional para 230,0 kg/m<sup>3</sup> no concreto com agregado leve).

### 5.3 CARGA DE RUPTURA DOS PAINÉIS ENSAIADOS

A seguir, são apresentados os resultados de resistência à compressão dos painéis ensaiados, apresentando a carga de ruptura, a área de distribuição da força e a tensão máxima para cada tipo de concreto em MPa (Tabela 11).

Tabela 11 - Resultados de resistência à compressão dos painéis ensaiados.

Série	Painel	Área bruta (A <sub>b</sub> ) (mm <sup>2</sup> )	Área líquida (A <sub>l</sub> ) (mm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (N)	σ <sub>u</sub> (MPa)	σ <sub>um</sub> (MPa)	Desvio-Padrão	Coefficiente de Variação
1	C1	115.450	56.250	219.000	3,9	3,2	0,62	19,4%
	C2	119.190	59.990	201.000	3,4			
	C3	118.080	58.880	139.900	2,4			
2	R1	117.800	58.600	270.000	4,6	3,4	0,86	25,3%
	R2	115.850	56.650	170.000	3,0			
	R3	116.830	57.630	149.900	2,6			
3	L1	117.660	58.460	400.500	6,9	5,6	1,25	22,3%
	L2	115.850	56.650	250.600	4,4			
	L3	-	-	-	-			

Nota: A<sub>b</sub> = Área bruta e A<sub>l</sub> = Área líquida.

Fonte: Arquivo próprio.

Ressalte-se, inicialmente, que, por problemas quanto à sua desforma, o painel de concreto com agregado leve (L3) tornou-se inutilizável e teve que ser descartado para a comparação dos resultados dos ensaios dos demais painéis de agregado leve.

O valor do coeficiente de variação encontrado pode estar relacionado ao sistema de autoconstrução utilizado, que pode não proporcionar uma grande precisão na produção das peças, podendo o adensamento realizado não ter sido tão eficiente, gerando algumas variações nos resultados.

Provavelmente, teríamos melhores resultados se os painéis fossem concretados com uma prensa, em virtude da redução dos vazios no concreto, porém, como o intuito da pesquisa era estudar a execução dos painéis através do processo de autoconstrução, já era esperado que os resultados encontrados fossem mais baixos que no caso de se empregar o uso de uma prensa. O uso da prensa poderia ser utilizado em pesquisas posteriores para o emprego do sistema em processos industrializados.

Em relação às resistências à compressão dos painéis, obteve-se resultados que vão de 2,4 MPa (C3) a 6,9 MPa (L1). Percebe-se que os valores referentes aos painéis de concreto convencional assemelham-se aos obtidos pelos painéis de concreto com agregado reciclado.

Os altos valores de resistência obtidos com os painéis de concreto com agregado leve, que foi de 6,9 MPa (L1) e de 4,4 MPa (L2), podem estar relacionados com a relação água/cimento de 0,48 utilizada, que difere da utilizada nos demais tipos de concreto, que foi de 0,67. Além disso, de acordo com informações fornecidas pela empresa BASF, que trabalha com a comercialização de aditivos polifuncionais, o uso do aditivo polifuncional contribui para o incremento de resistência do concreto à compressão, pois confere maior plasticidade ou redução de água de amassamento e aumento do tempo de trabalhabilidade, melhorando também a uniformidade do concreto, o aumento da coesão e a redução da permeabilidade.

Apesar de ser utilizado um traço diferente para o painel de concreto com agregado leve, decidiu-se, ainda assim, fazer a comparação do mesmo com os outros dois tipos de painéis,

considerando como fator principal a resistência sugerida pelo fabricante, que era próxima da resistência que se desejava alcançar para os outros tipos de concreto.

Não foram feitas variações no traço sugerido pelo fabricante do concreto com agregado leve, como por exemplo tentar uniformizar a relação água/cimento com os outros tipos de concreto e retirar o aditivo polifuncional do traço. Assim, decidiu-se manter a diferença no traço em relação aos outros concretos, que utilizaram exatamente o mesmo traço, e tentar gerar um grau de uniformização mínimo, para tentar diminuir essa diferença, mantendo uniforme pelo menos a granulometria do agregado graúdo (tamanho de brita 0) nos três tipos de concreto.

Abaixo, apresenta-se um gráfico com as resistências médias encontradas para cada tipo de painel ensaiado (Figura 93).

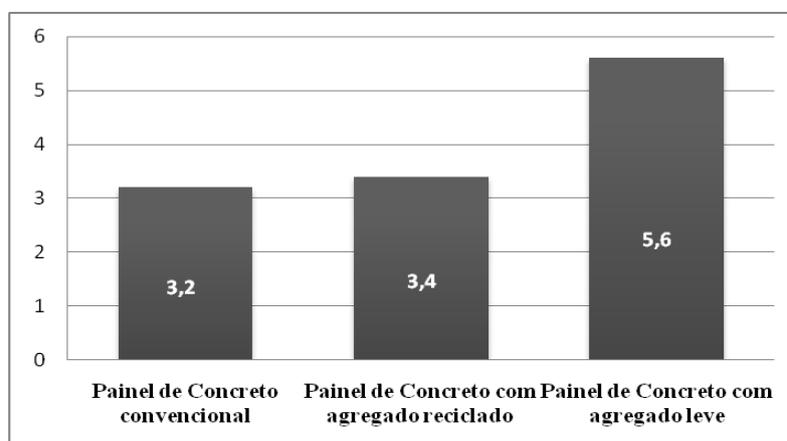


Figura 93 - Comparação da resistência média em MPa dos painéis por tipo de concreto produzido.

Fonte: Arquivo próprio.

Ao analisar a resistência média à compressão dos painéis ensaiados, percebe-se que o painel de concreto convencional apresentou um valor de 3,2 MPa, o painel de concreto com agregado reciclado apresentou um valor de 3,4 MPa e o painel de concreto com agregado leve apresentou um valor de 5,6 MPa.

A seguir, apresenta-se uma tabela (Tabela 12) com o fator de eficiência dos painéis ensaiados em relação ao painel de concreto convencional.

Tabela 12 - Fator de eficiência das resistências médias dos painéis de concretos utilizados em relação ao painel de concreto convencional.

Resistência Média - $\sigma$ (MPa)		$\sigma_{Ci}/\sigma_{C1}$
Concreto Convencional ( $\sigma_{C1}$ )	3,2	1
Concreto com Agregado Reciclado ( $\sigma_{C2}$ )	3,4	1,06
Concreto com Agregado Leve ( $\sigma_{C3}$ )	5,6	1,75

Fonte: Arquivo próprio.

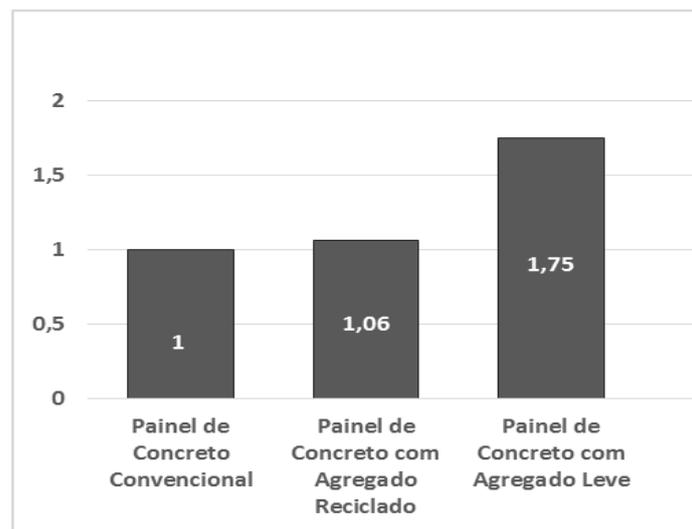


Figura 94 - Figura - Fator de eficiência das resistências médias dos painéis de concretos utilizados em relação ao painel de concreto convencional.

Fonte: Arquivo próprio.

Comparando a resistência média dos três tipos de painéis ensaiados, verifica-se que o painel de concreto convencional apresenta o um valor médio de 3,2 MPa, o painel de concreto com agregado reciclado apresenta um valor médio de 3,4 MPa e o painel de concreto com agregado leve apresenta um valor médio de 5,6 MPa.

Isso significa que o valor do concreto com agregado reciclado está 6% acima do valor do concreto convencional e o concreto com agregado leve está 75% acima do valor do concreto convencional (Figura 94). Porém, deve-se ressaltar que esses dados não comprovam que um concreto seja melhor que o outro em termos de segurança estrutural, devido à necessidade de se analisar esses dados em conjunto com outros aspectos para comprovar tal afirmação.

Percebe-se que, apesar da tentativa de uniformizar ao máximo os parâmetros comparativos dos três tipos de concreto, os resultados para o painel de concreto com agregado leve demonstram que as diferenças na relação água/cimento e no uso do aditivo polifuncional podem ter influenciado mais que o esperado no alcance de resultados mais elevados para esse tipo de concreto, demonstrando a necessidade de, futuramente, realizar uma pesquisa que compare os três tipos de concreto, utilizando um traço exatamente igual para ambos, embora haja a necessidade de estudar com maior profundidade essa variação no traço do concreto com agregado leve e as consequências de modificar a relação água/cimento e o não uso do aditivo polifuncional no referido traço.

#### 5.4 FATOR DE EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS EM RELAÇÃO AOS CORPOS DE PROVA

A seguir, apresenta-se uma análise da eficiência dos painéis em relação aos corpos de prova de acordo com o método apresentado por Bungey (1989) *apud* Evangelista (2002), mencionados na Revisão Bibliográfica deste trabalho, que comparam a resistência obtida pelo concreto com a resistência obtida pelo concreto extraído de peças estruturais. Apresenta-se, portanto, uma comparação da resistência dos painéis de concreto ensaiados com os valores de resistência obtidos pelos respectivos corpos de prova aos 28 dias (Tabela 13).

Tabela 13 - Eficiência dos painéis isolados.

Tipo de Concreto	Resistência Média do Painel - $\sigma$ (MPa)	Resistência Média dos Corpos de Prova - $f_{ci28}$ (MPa)	$\sigma_{Ci}/f_{ci28}$
Concreto Convencional ( $c_1$ )	3,2	13,5	0,24
Concreto com Agregado Reciclado ( $c_2$ )	3,4	14,3	0,24
Concreto com Agregado Leve ( $c_3$ )	5,6	17,0	0,33

Fonte: Arquivo próprio.

Verifica-se que a resistência obtida pelos painéis pode ser considerada muito mais baixa que a resistência alcançada pelo mesmo concreto utilizado nos corpos de prova. Essa resistência dos painéis estaria situada em um intervalo entre 24%, para o concreto convencional, e 33% para o concreto com agregado leve.

O painel de concreto convencional apresentou uma resistência que corresponde a 24% da resistência obtida pelo corpo de prova respectivo e o painel de concreto com agregado reciclado também apresentou uma resistência correspondente a 24% da resistência obtida pelo corpo de prova respectivo, indicando um resultado coerente, que pode estar relacionado ao uso da mesma relação água/cimento e traço com variações somente no agregado graúdo.

Já o painel de concreto com agregado leve apresentou uma eficiência um pouco maior, pois sua resistência corresponde a 33% da resistência obtida pelo corpo de prova respectivo.

Observa-se uma discrepância quanto à diferença de resistência do concreto convencional em relação ao concreto com agregado leve, se considerarmos separadamente os painéis de concreto convencional, cuja resistência foi aproximadamente 75% menor do que a do painel de concreto com agregado leve e os corpos de prova de concreto convencional, cuja resistência foi aproximadamente 26% menor do que a do concreto com agregado leve, evidenciando uma diferença de valores consideravelmente menor.

Essa discrepância observada nas resistências, principalmente entre os painéis de concreto, pode estar relacionada principalmente ao processo de autoconstrução dos painéis, que geram divergências na dimensão e geometria dos painéis, gerando variações consideráveis nos resultados.

Esses resultados demonstram, portanto, que seriam necessários mais ensaios, ou seja, com um maior número de elementos para cada tipo de concreto, para se obter uma melhor resposta, principalmente em relação à resistência dos painéis e à comparação da eficiência de um tipo de painel em relação ao outro.

## **5.5 COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS PAINÉIS EM RELAÇÃO AOS REQUISITOS DA ABNT NBR 6136:2007**

Neste item, é feita uma comparação da resistência obtida pelos painéis ensaiados para cada tipo de concreto com as resistências mínimas da norma ABNT NBR 6136:2007, que considera valores mínimos para blocos vazados de concreto, como mencionado na Revisão bibliográfica deste trabalho.

Essa comparação com a norma para blocos vazados de concreto foi realizada com o intuito de fazer uma análise de eficiência dos painéis como se os mesmos funcionassem como blocos de concreto, já que era necessário se obter um parâmetro comparativo mínimo de resistência dos painéis e há uma certa deficiência de requisitos mínimos voltados diretamente para painéis de concreto nas normas existentes.

A seguir, apresenta-se a comparação entre a resistência média dos painéis para cada tipo de concreto, considerando as classes de blocos vazados de concreto apresentadas pela ABNT NBR 6136:2007.

### **5.5.1 Painel como bloco Classe A**

A seguir, é feita uma comparação entre a resistência média dos painéis em relação à resistência mínima para blocos de concreto tipo A, ou seja, com função estrutural para uso em alvenarias acima ou abaixo do nível do solo, sugerida pela ABNT NBR 6136:2007 (Tabela 14).

Tabela 14 - Comparação das resistências médias dos painéis de concreto utilizados em relação à resistência mínima para blocos de concreto Classe A.

Resistência Média - $\sigma$ (MPa)		$\sigma_{BCA}$	$\sigma_{Ci}/\sigma_{BCA}$
Painel de Concreto Convencional ( $\sigma_{C1}$ )	3,2	6,0	0,53
Painel de Concreto com Agregado Reciclado ( $\sigma_{C2}$ )	3,4		0,57
Painel de Concreto com Agregado Leve ( $\sigma_{C3}$ )	5,6		0,93

Fonte: Arquivo próprio.

A partir da análise dos valores apresentados na tabela, constata-se que para blocos de concreto Classe A, nenhum dos painéis se encaixa dentro dessa utilização, de acordo com os requisitos mínimos. A resistência do painel de concreto convencional ficou aproximadamente 47% abaixo da resistência requerida, a do painel de concreto com agregado reciclado ficou aproximadamente 43% abaixo da resistência requerida e a do painel de concreto com agregado leve se aproxima bastante do mínimo exigido, sendo sua resistência aproximadamente 7% abaixo da mínima requerida.

### 5.5.2 Painel como bloco Classe B

A seguir, é feita uma comparação entre a resistência média dos painéis em relação à resistência mínima para blocos de concreto tipo B, ou seja, com função estrutural para uso em alvenarias acima do nível do solo, sugerida pela ABNT NBR 6136:2007 (Tabela 15).

Tabela 15 - Comparação das resistências médias dos painéis de concreto utilizados em relação à resistência mínima para blocos de concreto Classe B.

Resistência Média - $\sigma$ (MPa)		$\sigma_{BCB}$	$\sigma_{Ci}/\sigma_{BCB}$
Painel de Concreto Convencional ( $\sigma_{Ci}$ )	3,2	4,0	0,80
Painel de Concreto com Agregado Reciclado ( $\sigma_{Ci}$ )	3,4		0,85
Painel de Concreto com Agregado Leve ( $\sigma_{Ci}$ )	5,6		1,40

Fonte: Arquivo próprio.

A partir da análise dos valores apresentados na tabela, constata-se que para blocos de concreto Classe B, somente o painel de concreto com agregado leve se encaixa dentro dessa utilização, embora os valores apresentados pelo painel de concreto convencional e pelo painel de concreto com agregado reciclado estejam bastante próximos do mínimo exigido.

A resistência do painel de concreto convencional está aproximadamente 20% abaixo da resistência mínima requerida, a do painel de concreto com agregado reciclado está aproximadamente 15% abaixo da resistência mínima requerida e a do painel de concreto com agregado leve, não só está dentro do mínimo exigido, como sua resistência está aproximadamente 40% acima da resistência mínima requerida.

### 5.5.3 Painel como bloco Classe C

A seguir, é feita uma comparação entre a resistência média dos painéis em relação à resistência mínima para blocos de concreto tipo C, ou seja, com função estrutural para uso em alvenarias acima do nível do solo, sugerida pela ABNT NBR 6136:2007 (Tabela 16).

Tabela 16 - Comparação das resistências médias dos painéis de concreto utilizados em relação à resistência mínima para blocos de concreto Classe C.

Resistência Média - $\sigma$ (MPa)		$\sigma_{BCC}$	$\sigma_{ci}/\sigma_{BCC}$
Painel de Concreto Convencional ( $\sigma_{C1}$ )	3,2	3,0	1,07
Painel de Concreto com Agregado Reciclado ( $\sigma_{C2}$ )	3,4		1,13
Painel de Concreto com Agregado Leve ( $\sigma_{C3}$ )	5,6		1,87

Fonte: Arquivo próprio.

A partir da análise dos valores apresentados na tabela, constata-se que, para blocos de concreto Classe C, todos os painéis se encaixam com certa folga dentro dessa utilização, com valores mais altos que os mínimos exigidos, embora vale ressaltar que o painel de concreto com agregado reciclado não pode ser utilizado para elementos estruturais, e não se encaixaria nessa classificação na norma de blocos vazados de concreto, embora sua resistência seja mais alta que a mínima exigida.

A resistência do painel de concreto convencional está aproximadamente 7% acima da mínima requerida, a do painel de concreto com agregado reciclado está aproximadamente 13% acima da resistência mínima requerida e a do painel de concreto com agregado leve está aproximadamente 87% acima da resistência mínima exigida.

#### 5.5.4 Painel como bloco Classe D

A seguir, é feita uma comparação entre a resistência média dos painéis em relação à resistência mínima para blocos de concreto tipo D, ou seja, sem função estrutural para uso em alvenarias acima do nível do solo, sugerida pela ABNT NBR 6136:2007 (Tabela 17).

Tabela 17 - Comparação das resistências médias dos painéis de concreto utilizados em relação à resistência mínima para blocos de concreto Classe D.

Resistência Média - $\sigma$ (MPa)		$\sigma_{BCD}$	$\sigma_C/\sigma_{BCD}$
Painel de Concreto Convencional ( $\sigma_{C1}$ )	3,2	2,0	1,60
Painel de Concreto com Agregado Reciclado ( $\sigma_{C2}$ )	3,4		1,70
Painel de Concreto com Agregado Leve ( $\sigma_{C3}$ )	5,6		2,80

Fonte: Arquivo próprio.

A partir da análise dos valores apresentados na tabela, constata-se que, para blocos de concreto Classe D, todos os painéis se encaixam dentro dessa utilização com bastante folga inclusive, pois apresentam resistência bem maiores que as mínimas exigidas. A resistência do painel de concreto convencional está aproximadamente 60% acima da resistência mínima requerida, a do painel de concreto com agregado reciclado está aproximadamente 70% acima da resistência mínima requerida e a do painel de concreto com agregado leve está aproximadamente 180% acima da resistência mínima exigida.

Por fim, é importante comentar que os painéis alcançaram resultados interessantes dentro das classes para blocos vazados B, C e D, inclusive dentro de classes para blocos de concreto com função estrutural. O painel de concreto com agregado leve é o que se encaixa dentro do maior número de classes sugeridas pela norma e que possui mais possibilidades de utilização.

Porém, é importante ressaltar que o sistema não tem o intuito de ser estrutural, portanto a comparação com os blocos de concreto Classe A, B e C, que são estruturais, demonstram somente o potencial de estudo em trabalhos futuros para a proposição do painel como elemento estrutural, que não é o foco dessa pesquisa. Importante comentar também que uma resistência muito elevada para painéis a serem utilizados somente como vedação na verdade pode tornar os painéis mais caros, devendo ser estudado futuramente um traço de menor resistência que consuma menos material e continue atendendo aos critérios mínimos de resistência para blocos de vedação.

## 5.6 AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DOS PAINÉIS

Para avaliar o acabamento superficial obtido para cada tipo de concreto, os resultados baseiam-se em uma análise meramente tátil-visual, que não representa a rugosidade real da peça, focando na relação entre a aparência final encontrada e o traço respectivo utilizado.

A seguir, apresenta-se a análise tátil-visual do acabamento superficial dos painéis para cada tipo de concreto, sugerindo fatores do traço que possam explicar os resultados encontrados. As figuras dos painéis, apresentadas a seguir, são meramente ilustrativas.

A partir da avaliação do acabamento superficial dos painéis de concreto convencional, percebe-se que sua superfície ficou rugosa e com uma aparência desuniforme em vários pontos (Figura 95). Essa aparência rugosa é verificada a partir da existência de algumas partículas de agregado graúdo que ficaram visíveis, o que poderia ser explicado pela grande quantidade de agregado graúdo existente no traço em relação à quantidade de cimento. O resultado é um concreto mais seco e com áreas de aparência menos argamassadas.



Figura 95 - Acabamento superficial dos painéis de concreto convencional.

Fonte: Arquivo próprio.

A partir da avaliação do acabamento superficial dos painéis de concreto com agregado reciclado, percebe-se que sua superfície também ficou rugosa e com uma aparência desuniforme em vários pontos (Figura 96). Essa aparência rugosa é verificada a partir da existência de algumas partículas de agregado graúdo que ficaram visíveis, o que poderia ser explicado, assim como em relação ao concreto convencional, pela maior quantidade de

agregado graúdo existente no traço em relação à quantidade de cimento. O resultado também é um concreto de aspecto mais seco e com áreas menos argamassadas.



Figura 96 - Acabamento superficial dos painéis de concreto com agregado reciclado.  
Fonte: Arquivo próprio.

Acredita-se que o resultado encontrado para esse tipo de painel, que é bastante semelhante ao acabamento superficial do painel de concreto convencional, pode estar relacionado à semelhança dos traços para esses dois tipos de concreto.

A partir da avaliação do acabamento superficial dos painéis de concreto com agregado leve, percebe-se que sua superfície ainda ficou rugosa, embora sua aparência tenha ficado mais uniforme que os painéis de concreto convencional e os painéis de concreto com agregado reciclado (Figura 97). A aparência rugosa é verificada a partir da existência de algumas partículas de agregado graúdo que ficaram visíveis, porém, em menor quantidade que nos demais tipos de concreto, o que poderia ser explicado pela menor quantidade de agregado graúdo existente no traço em relação à quantidade de cimento. O resultado também foi um concreto de consistência mais seca, porém mais fluido que os demais tipos e com áreas mais argamassadas.



Figura 97 - Acabamento superficial dos painéis de concreto com agregado leve.  
Fonte: Arquivo próprio.

Acredita-se que o resultado encontrado em termos de acabamento superficial, a partir da análise tátil-visual descrita, se mostrou satisfatório para os fins pretendidos, que seria o uso para emprego na autoconstrução e em habitações de interesse social, que não necessitam de superfícies muito precisas, lisas e bem acabadas, podendo receber, caso se desejem efeitos alternativos, uma pintura externa adequada.

Seria interessante em estudos posteriores, estudar modificações no acabamento superficial dos painéis para obter uma superfície mais lisa e uniforme, para emprego dos painéis em habitações de outras faixas de mercado. Nesse caso, seria interessante aprofundar os estudos relativos ao traço e a dosagem do concreto, levando em consideração aspectos como: o consumo de cimento, a quantidade de partículas finas e grossas e o teor de umidade do concreto, que influenciam diretamente na plasticidade e aparência final das peças produzidas.

## **5.7 AVALIAÇÃO DA CONFECCÃO DOS PAINÉIS QUANTO AO PROCESSO DE AUTOCONSTRUÇÃO**

Quanto ao processo de autoconstrução, faz-se uma análise a seguir, buscando verificar os aspectos positivos e negativos observados durante a produção dos painéis e que poderiam atestar a viabilidade ou não da autoconstrução para esse sistema.

Em relação à produção das formas de madeira, verificou-se que o processo é prático e rápido, embora um ponto negativo de se usar a madeira para produzir as formas é que o controle do produto final é menor, além do fato de as mesmas não serem reaproveitáveis após a desforma do concreto. Além disso, a madeirite também é um material que se deteriora mais rápido. Porém, para a proposição do processo de autoconstrução em habitações de interesse social, é uma alternativa viável e que pode ser aprimorada.

Quanto à questão da moldagem e do adensamento do concreto nas formas para a produção dos painéis, devem ser feitas algumas considerações importantes. Verificou-se, durante o processo de lançamento e adensamento do concreto, que o uso da haste metálica, ao simular o processo de autoconstrução não permite um perfeito adensamento do concreto, gerando uma menor compactação e uniformização do mesmo. Porém, esse resultado já era

esperado, considerando o uso da autoconstrução para a produção das peças, não afetando significativamente os resultados.

Deve-se ressaltar, entretanto, que verificou-se a necessidade de se estudar a proposição de um traço mais adequado para a fabricação das peças pelo sistema de autoconstrução em pesquisas posteriores. Isso se deve à constatação de que o traço utilizado, por se mostrar muito seco e pouco fluido, não permite uma condição favorável para emprego em processos que utilizem a autoconstrução para a execução das peças.

Nessa questão do adensamento do concreto, verifica-se, portanto, que, para a produção desse sistema através da autoconstrução, não há a necessidade de utilização de vibrador ou elemento que promova um adensamento mais adequado. Porém, para estudos posteriores, que proponham sua utilização em processos industrializados de fabricação das peças, a utilização de prensas permitiria produzir um concreto mais adensado e mais compacto, além de promover maior controle do seu processo de produção.

Uma outra questão a ser analisada quanto ao processo de autoconstrução nesse sistema é que podem existir algumas vantagens na utilização desse tipo de construção quando venha a ser executada, tais como: não é necessária a utilização de prensas para a produção dos elementos pré-fabricados, cujos elementos podem ser fabricados manualmente, não é necessária a utilização de mão de obra muito especializada, o que possibilita uma maior economia de recursos e maior facilidade de construção, além de ser um processo que não requer grande utilização de energia em seu processo de produção, tornando-o mais econômico e sustentável.

Em relação à geometria das peças, o processo de autoconstrução não permite um controle tão grande para que haja uma grande precisão nas dimensões das peças. O que se verifica, portanto, é que essa falta de precisão nas dimensões dos elementos poderia gerar alguns problemas a serem resolvidos com relação à acomodação das peças no sistema, já que o sistema de pré-fabricação e coordenação modular exige um certo controle da geometria e das dimensões para que seja considerado eficiente. Para se obter um controle mais preciso das peças, seria interessante melhorar a produção das formas e a consistência do traço utilizado, embora os resultados encontrados na pesquisa já tenham sido satisfatórios e viáveis.

Por fim, em relação ao peso dos painéis e ao transporte das peças dentro do processo, acredita-se que a utilização da autoconstrução possa permitir economizar recursos com a utilização de poucos materiais de transporte pesado. Acredita-se que o peso das peças, apesar de ainda ser bastante considerável, possa permitir o transporte das mesmas manualmente quando o sistema for executado de fato, pois essa avaliação não foi foco da presente pesquisa, não sendo feito um teste de colocação das peças para comprovar essa viabilidade. É interessante, em pesquisas futuras, fazer essa avaliação do peso e buscar alternativas que o reduzam ainda mais para facilitar seu transporte manual quando usadas para habitações de interesse social.

## 5.8 COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM AGREGADO LEVE EM RELAÇÃO À ESPECIFICADA PELO FABRICANTE

Neste item, busca-se comparar a resistência do concreto com agregado leve obtida através do corpos de prova ensaiados com os resultados de resistência do concreto sugeridas pelo fabricante do agregado leve, no caso, a CINEXPAN Argila Expandida. A intenção dessa comparação é verificar a eficiência do concreto com agregado leve produzido nesse trabalho em relação à especificada pelo fabricante, já que o traço utilizado nessa pesquisa foi o mesmo sugerido pelo fabricante.

A seguir, apresenta-se a comparação da resistência do concreto com agregado leve, aos 28 dias, encontrada nesse trabalho, com a resistência do concreto com agregado leve sugerida pelo fabricante, e a eficiência do concreto com agregado leve produzido em relação ao concreto sugerido pelo fabricante (Tabela 18).

Tabela 18 - Comparação da resistência do concreto com agregado leve, aos 28 dias, com os resultados do fabricante.

<b>Tipo de Concreto</b>	<b><math>f_c</math> (MPa)</b>	<b><math>f_{c,FABRICANTE}</math> (MPa)</b>	<b><math>f_c/f_{c,FABRICANTE}</math></b>
Concreto com Agregado Leve	17,0	15,0	1,21

Fonte: Arquivo próprio.

Percebe-se que o valor obtidos pela pesquisa para o concreto com agregado leve (18,1 MPa), foi um pouco superior ao valor sugerido pelo fabricante (15,0 MPa), embora o traço utilizado tenha sido o mesmo. O concreto com agregado leve alcançou uma resistência 21% acima da resistência alcançada pelo fabricante.

Como os valores encontrados foram próximos, e a resistência alcançada na pesquisa foi superior, embora os traços fossem os mesmos, assim como os materiais empregados, poderia-se atribuir esse incremento de resistência na pesquisa à diferença do agregado gráudo utilizado, pois o fabricante sugeria o uso da argila expandida tipo 1506, cuja nomenclatura refere-se à sua granulometria (6 mm a 15 mm), e, por motivos de uniformização de agregado gráudo e limitações de material, foi usada na pesquisa a argila expandida tipo 2215, cuja granulometria é de 15 mm a 22 mm, britada para o tamanho da brita 0 (Figura 98). Portanto, sugere-se que a britagem do agregado leve pode aumentar a resistência do concreto produzido.

O aumento de resistência do concreto a partir do uso da argila expandida britada pode estar relacionada à superfície de contato do agregado com os demais materiais, já que a argila expandida britada apresenta maior rugosidade em sua superfície de contato que a argila expandida normal. Além disso, quando o material é britado, ocorre uma redução da relação água/cimento por causa da maior absorção do agregado leve britado, o que aumenta a resistência do concreto produzido.



Figura 98 - Comparação da superfície da argila expandida normal (à esquerda) com a argila expandida britada (à direita).

Fonte: Arquivo próprio.

## **6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

O objetivo do presente trabalho foi realizar um estudo experimental com painéis pré-fabricados de concreto submetidos à compressão. As conclusões apresentadas a seguir referem-se aos 9 painéis ensaiados, sendo 3 painéis de concreto convencional, 3 painéis de concreto com agregado reciclado e 3 painéis de concreto com agregado leve. Além disso, são também apresentados os resultados referentes à caracterização do concreto e ao sistema construtivo ao qual fazem parte os painéis mencionados.

Foi feita uma comparação entre os valores das cargas de ruptura para cada painel ensaiado, considerando o tipo de concreto utilizado. Além disso, foram utilizados os requisitos mínimos da ABNT NBR 6136:2007 para comparar os resultados encontrados para cada painel ensaiado e também as especificações da Cinexpan Argila Expandida para comparar os resultados de caracterização do concreto utilizado.

Em relação ao acabamento superficial, o processo de autoconstrução e a Coordenação Modular, além de outros aspectos referentes ao sistema construtivo ao qual os painéis estudados fazem parte, são feitas considerações acerca dos resultados encontrados, baseados nas observações do processo de produção das peças.

Os resultados experimentais mostraram, de forma geral, um funcionamento satisfatório do sistema de ensaio e do processo de capeamento das peças.

A seguir, são apresentadas conclusões obtidas a partir da análise dos resultados experimentais encontrados na presente pesquisa.

### **6.2 SISTEMA CONSTRUTIVO E COORDENAÇÃO MODULAR**

Os painéis pré-fabricados de concreto estudados na pesquisa fazem parte do desenvolvimento de um sistema construtivo que tem como objetivo principal incorporar

estratégias de racionalização construtiva ao seu processo produtivo. Uma das principais características do sistema, portanto, é propor a utilização da autoconstrução e de elementos pré-fabricados para a produção de habitações de interesse social.

Acredita-se que algumas das vantagens do emprego desse sistema construtivo quando for executado sejam: padronização de elementos, redução de desperdício de materiais, maior produtividade em obra e menor necessidade de utilização de mão de obra especializada, o que possibilita o uso da autoconstrução e de seu emprego voltado para habitação de interesse social.

Além disso, verifica-se que, em relação a outros sistemas semelhantes, propostos no mercado, o sistema proposto na pesquisa, apesar de utilizar os mesmos princípios de racionalização e Coordenação Modular, possui a vantagem de propor placas de vedação com maiores espessuras que as encontradas atualmente no mercado, o que se acredita que possa melhorar o comportamento termo acústico das peças.

Em relação à Coordenação Modular, verifica-se que sua utilização pode tornar o sistema eficiente e racionalizado. Ao estabelecer um módulo (M), padroniza-se as dimensões utilizadas, de modo que todas elas se encaixam perfeitamente, o que diminui os desperdícios de materiais e facilita o processo de execução da obra.

Percebe-se que o módulo baseado no pilar permite que as associações entre painéis sejam sempre diretamente relacionadas ao módulo (M). Essa modulação também permite que haja a flexibilidade de proposição de vãos para a colocação de portas e janelas, cujas dimensões são menores, apenas substituindo um tipo de associação por outro.

A partir da proposição de uma unidade básica com suas possíveis ampliações, percebe-se que se pode gerar soluções arquitetônicas eficientes e funcionais a partir da utilização do sistema pré-fabricado estudado. Apesar da aparente perda de flexibilidade no projeto, percebe-se que a modulação permite várias configurações a partir da associação dos painéis com os pilares, gerando espaços com dimensões diversificadas, embora as possibilidades arquitetônicas e de encaixes ainda possam ser desenvolvidas e aperfeiçoadas.

Sabendo que a proposta de modulação dos componentes permite gerar configurações satisfatórias para habitação de interesse social, deve-se estudar mais a fundo outras possibilidades de associação dos elementos, além de novas dimensões modulares que se encaixem dentro do sistema, pois as proposições desse trabalho apenas abrem caminho para estudos e proposições mais aprofundadas em relação ao uso da Coordenação Modular no sistema.

Além disso, é importante considerar que o uso da Coordenação Modular requer uma maior precisão dimensional dos elementos para que funcione de modo eficiente, evitando maiores problemas de acomodação e de encaixe de peças. Sendo assim, para a aplicação do sistema e uso da Coordenação Modular, é preciso aperfeiçoar o processo de produção das peças através da autoconstrução proposta nesse trabalho, por conta da constatação de falhas de precisão dimensional observadas durante o processo, como por exemplo, a produção das formas e o traço utilizado.

### **6.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO E DOS PAINÉIS**

A caracterização do concreto foi feita utilizando-se uma prensa elétrica digital, obtendo resultados de resistência para 03, 07, 14 e 28 dias. Para a caracterização do concreto, foram analisados os resultados de resistência para cada tipo de concreto aos 28 dias.

Ao verificar os resultados de resistência, verificou-se que o concreto convencional apresentou um valor médio de 15,6 MPa, seguido pelo concreto com agregado reciclado, que apresentou um valor de 16,9 MPa e o concreto com agregado leve apresentou um valor médio de 18,1MPa.

Esses resultados de caracterização do concreto se aproximaram do esperado, se considerarmos a dosagem de cada tipo de concreto, já que o concreto convencional havia sido dosado para uma resistência característica de 20,1 MPa, alcançando 15,6 MPa nesse trabalho e o concreto com agregado reciclado havia sido dosado para uma resistência característica de 23,4 MPa, alcançando 16,9 MPa.

Acredita-se que essa pequena variação seja normal e possa estar relacionada ao tipo de material utilizado. Porém, a semelhança entre os valores dos dois tipos de concreto já era esperada e está diretamente relacionada ao traço utilizado, que foi o mesmo para os dois tipos de concreto e a pesquisa que norteou a escolha dos traços do concreto convencional e do concreto reciclado já apresentava uma proporção semelhante ao que foi observado.

Em relação ao concreto com agregado leve, o resultado foi diferente do esperado, pois esse tipo de concreto havia sido dosado para uma resistência característica de 15,0 MPa e na verdade alcançou uma resistência média de 18,1 MPa, ou seja, um pouco acima da esperada e dos resultados encontrados para os demais tipos de concreto. Acredita-se que esse resultado esteja relacionado tanto à menor relação água/cimento utilizado, quanto ao uso do aditivo polifuncional, que influenciou no incremento de resistência do concreto.

Além disso, o uso do agregado leve britado também influenciou no incremento de resistência do concreto em relação ao especificado pelo fabricante, pois verifica-se que, ao britar o agregado leve, aumenta-se a absorção de água do material, diminuindo, conseqüentemente, a relação água/cimento. O resultado disso é o incremento de resistência que foi observado nos resultados encontrados.

Em relação à caracterização dos painéis, foi feito inicialmente uma comparação entre as massas específicas encontradas para cada tipo de concreto. Os resultados demonstraram, como já era esperado, que o painel de concreto convencional apresentou o maior valor (2.055 kg/m<sup>3</sup>), seguido do painel de concreto com agregado reciclado (1.920 kg/m<sup>3</sup>) e o menor valor foi apresentado pelo painel de concreto com agregado leve (1.463 kg/m<sup>3</sup>).

Apesar de ser observado um decréscimo de 7% da massa específica do painel de concreto com agregado reciclado em relação à massa específica do painel de concreto convencional e 29% da massa específica do painel de concreto com agregado leve em relação ao convencional, não se pode afirmar que um painel é mais eficiente que outro, sendo necessária a análise de outros aspectos essenciais para comprovar essa afirmação. O que se pode afirmar é que esse resultado já era esperado, levando-se em conta que a densidade do agregado reciclado e do agregado leve é menor que a do agregado convencional, gerando massas específicas menores, como observado.

#### **6.4 CARGA DE RUPTURA E FATOR DE EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS**

O sistema de ensaio utilizado mostrou-se satisfatório, porém, os resultados mostraram um coeficiente de variação que pode estar relacionado ao sistema de autoconstrução utilizado, que não proporciona grande precisão na produção das peças.

Acredita-se também que a falta de um adensamento mais eficiente do concreto possa ter influenciado os resultados encontrados, porém esse é o resultado que era esperado pelo uso de um processo de autoconstrução para a execução dos painéis.

Verificou-se que a resistência à compressão dos painéis variou de 2,4 MPa (concreto convencional) até 6,9 MPa (concreto com agregado leve). Além disso, os painéis de concreto convencional apresentaram valores muito próximos de carga de ruptura em relação aos painéis de concreto com agregado reciclado, o que evidencia um bom desempenho do agregado reciclado frente ao agregado convencional.

Em relação às resistências médias dos painéis ensaiados, verificou-se que o painel de concreto convencional apresentou um valor de 3,2 MPa, seguido do painel de concreto com agregado reciclado, que apresentou um valor muito próximo, de 3,4 MPa. Já o painel de concreto com agregado leve apresentou um valor médio de resistência de 5,6 MPa. Ao analisar a eficiência dos painéis em relação ao convencional, verifica-se que há um acréscimo de resistência de aproximadamente 6% para o painel de concreto reciclado e de aproximadamente 75% para o painel de concreto com agregado leve.

Uma das conclusões que se pode tirar a respeito da diferença de resistência dos painéis é que o painel de concreto com agregado leve apresentou valores de resistência mais altos que os demais. Porém, deve-se levar em consideração que houve uma pequena variação na produção do traço desse tipo de concreto, gerando diferenças de resistência, apesar da tentativa de uniformização dos parâmetros comparativos entre os três tipos de concreto. Houve uma mudança na relação água/cimento do concreto com agregado leve (0,48), que foi um pouco menor que os demais (0,67), além do uso do aditivo polifuncional, que melhora a trabalhabilidade e conseqüentemente aumenta a resistência do concreto.

Ao analisar a eficiência da resistência dos painéis em relação aos respectivos corpos de prova, verificou-se que a resistência obtida pelos painéis ficou situada em um intervalo de 24% (concreto convencional) a 33% (concreto com agregado leve) da resistência do corpo de prova. Esse resultado foi um pouco abaixo do esperado, já que se imaginava chegar a um valor de aproximadamente 40% da resistência do corpo de prova, de acordo com estudos sobre o assunto.

A discrepância de resultados de resistência entre os tipos de concreto, comparando os painéis isoladamente e os corpos de prova isoladamente, demonstram que são necessários mais ensaios para determinar uma resposta mais precisa de resistência dos painéis, buscando diminuir o impacto da variação de resistência gerada pelo sistema de autoconstrução, que diminui a precisão das peças e afeta diretamente os resultados encontrados nos ensaios.

Verificou-se também que esses resultados são satisfatórios, comparando os valores encontrados com os requisitos mínimos de resistência para blocos de concreto estabelecidos pela ABNT NBR 6136:2007.

Os resultados, comparados com os requisitos da ABNT NBR 6136:2007, demonstraram que a maioria dos painéis ensaiados se encaixa nas classes B, C e D, cujas resistências mínimas requeridas são, respectivamente, 4,0 MPa, 3,0 MPa e 2,0 MPa.

O esperado era que a resistência atendesse ao mínimo necessário para blocos de vedação, ou seja, Classe D. Porém, o que se verificou foi um resultado muito acima do mínimo exigido para blocos de vedação, podendo encaixar sua utilização na classe de blocos com função estrutural (B e C), embora esse não tenha sido o foco da pesquisa, atestando que os painéis possuem potencial para serem estudados em pesquisas posteriores também para uso estrutural. Porém, para uso em vedações, os resultados se mostraram muito acima do esperado, demonstrando a necessidade de se estudar um traço mais adequado que promova resistências menores, de modo a diminuir o consumo desnecessário de materiais.

## **6.5 ACABAMENTO SUPERFICIAL E PROCESSO DE AUTOCONSTRUÇÃO DOS PAINÉIS**

Em relação ao acabamento superficial dos painéis, a partir de uma análise tátil-visual, verificou-se que a superfície de todos os painéis ensaiados apresentou-se rugosa de modo geral, embora os painéis de concreto com agregado leve tenham apresentado uma superfície consideravelmente mais lisa que os demais. Esse resultado era esperado devido à consistência do traço utilizado que era seca de modo geral.

Acredita-se que o resultado mais rugoso encontrado no painel de concreto convencional e no painel de concreto com agregado reciclado deve-se à maior quantidade de agregado graúdo existente no traço de ambos, que foi muito semelhante, gerando um resultado final parecido, com uma menor uniformização do concreto, partículas visíveis e áreas menos argamassadas.

A maior uniformização da superfície encontrada no painel de concreto com agregado leve pode estar relacionada à menor quantidade de agregado graúdo em seu traço e à maior quantidade de cimento empregado. Apesar de o resultado ter sido menos fluido que o esperado, verifica-se que o resultado foi satisfatório para emprego em habitações de interesse social. Caso se pretenda utilizar os painéis para outras faixas de mercado, seria interessante estudar um traço que promova superfícies lisas e mais uniformes.

Quanto à avaliação do processo de autoconstrução empregado nesse estudo, verificou-se a existência tanto de aspectos positivos quanto de aspectos negativos em seu processo. De modo geral, verificou-se que a autoconstrução mostrou-se um processo viável e satisfatório para emprego dentro do sistema estudado e voltado para habitação de interesse social. Porém, constata-se um grande potencial de seu uso também para emprego em outras faixas de mercado, que podem ser estudadas e desenvolvidas em pesquisas posteriores.

Entre os aspectos negativos verificados no processo de autoconstrução utilizado nessa pesquisa, podemos citar: as formas de madeira utilizadas não são reaproveitáveis, o adensamento do concreto com haste metálica não permite muita precisão e controle da geometria e da dimensão dos painéis, dificultando a acomodação perfeita das peças.

Entre os aspectos positivos que se pode conseguir com a utilização do processo de autoconstrução quando for executado em momento posterior, podemos citar: processo prático e rápido, não é necessária a utilização de prensas, porém ressalta-se que para o processo de autoconstrução, o traço utilizado teria que ser modificado para tornar-se mais adequado, ou seja, menos seco, para a produção dos elementos pré-fabricados, não é necessário o uso de mão de obra muito qualificada, não requer a utilização de grande energia em seu processo e permite o transporte manual de peças, dispensando gastos com o transporte mecanizado.

## **6.6 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO EM RELAÇÃO AO FABRICANTE DO AGREGADO LEVE**

A resistência do concreto com agregado leve foi comparada com a resistência sugerida pelo fabricante da argila expandida utilizada no traço. Os resultados foram maiores que o esperado, pois imaginava-se encontrar valores muito próximos. Porém, esses resultados mostraram que os valores encontrados nessa pesquisa (18,1 MPa) foram superiores aos valores sugeridos pelo fabricante (15,0 MPa), sendo aproximadamente 21% acima da resistência sugerida pelo fabricante.

Acredita-se que, como os traços utilizados foram exatamente os mesmos em ambos os estudos, o maior valor alcançado pela pesquisa em relação ao fabricante pode estar relacionado ao tipo de agregado graúdo utilizado. Como o agregado leve utilizado nessa pesquisa precisou ser britado, como já mencionado anteriormente no trabalho, essa britagem pode ter aumentado a resistência do concreto em relação ao fabricante.

Esse aumento de resistência por conta da britagem do agregado graúdo pode estar relacionado, portanto, à maior rugosidade de sua superfície de contato, aumentando a aderência e a uniformização com os demais materiais empregados na produção do concreto. Além disso, como era esperado, a britagem aumenta a absorção de água do agregado leve, diminuindo a relação água/cimento do mesmo, o que gera valores mais altos de resistência.

## 6.7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar ensaios à compressão com um maior número de painéis, a fim de se obter uma maior precisão de resultados de resistência encontrados, pois os ensaios realizados foram feitos com um pequeno número de amostras e demonstraram a necessidade de analisar um maior número de peças para promover resultados mais precisos.

Promover um estudo de resistência dos painéis, utilizando o mesmo traço e a mesma relação água/cimento para os três tipos de concreto, aumentando a uniformidade dos parâmetros comparativos entre os painéis ensaiados, já que não foi possível fazer essa comparação na pesquisa devido à mudança da relação água/cimento do concreto com agregado leve em relação aos demais tipos, impossibilitando uma comparação direta dos resultados para os três tipos de concreto.

Realizar estudos de encaixe entre os painéis e os pilares do sistema pré-fabricado proposto já que não foi possível aprofundar detalhes de ligação entre elementos do sistema na presente pesquisa a fim de desenvolver o sistema construtivo apresentado.

Estudar mais aprofundadamente o acabamento superficial dos painéis, verificando a influência do traço e estudando traços mais fluidos a serem aplicados no processo de autoconstrução, já que os resultados mostraram a necessidade de adequação do traço utilizado e traços que proporcionem maior uniformização da superfície em proposições para faixas de mercado além das habitações de interesse social, já que existe potencial do sistema para ser aplicado para diversas finalidades.

Realizar um estudo mais aprofundado sobre a Coordenação Modular do sistema construtivo, propondo soluções mais flexíveis e aprimorando a modulação empregada, já que a pesquisa desenvolveu as primeiras proposições modulares e já apresenta a necessidade de desenvolver maiores possibilidades e adequar as medidas dos elementos a questões essenciais como a altura do pé-direito e a acessibilidade dos ambientes para pessoas portadoras de necessidades especiais.

Aprimorar o processo de autoconstrução empregado, melhorando aspectos como a produção de formas, que não proporcionou nesse trabalho uma precisão mais adequada para emprego em sistemas modulares, o melhor adensamento do concreto para uso do sistema em processos industrializados de construção e o desenvolvimento de prensas e outros processos de produção das peças para outras finalidades alternativas ao uso da autoconstrução e de habitações de interesse social.

Realizar outros tipos de ensaios nos painéis pré-fabricados de acordo com as normas de desempenho, como por exemplo, ensaios de corpo mole e corpo duro, resistência à flexão, testes de absorção de água no concreto e ensaios de desempenho termo acústico, que não puderam ser realizados nessa pesquisa, mas possuem grande importância para atestar a viabilidade do sistema.

Realizar ensaios que permitam avaliar a eficiência dos painéis quando associados, através de ensaios à compressão em prismas, miniparedes e paredes, verificando a relação entre as resistências encontradas, que não pôde ser realizado nessa pesquisa, mas também possui grande importância na avaliação da viabilidade do sistema que está sendo desenvolvido e aprimorado.

Fazer mais estudos de caracterização para o concreto convencional, o concreto com agregado reciclado e o concreto com agregado leve, variando os traços e a relação água/cimento utilizada e verificando sua influência sobre a resistência, já que foram encontrados resultados interessantes com os traços utilizados e podem ser desenvolvidas outras opções adequadas para cada uso pretendido.

Realizar ensaios de desempenho à segurança estrutural sobre os demais elementos do sistema construtivo desenvolvido, já que essa pesquisa buscou como foco somente os painéis de concreto de menor dimensão e os outros elementos também precisam ser analisados para atestar a viabilidade do sistema construtivo.

Realizar estudos sobre a proposição das instalações elétricas e hidráulicas do sistema, já que não foi possível aprofundar o estudo a esse nível, levando-se em conta que a espessura que está sendo proposta nessa pesquisa ainda não permite embutir instalações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADEI, D. I. B; PEREIRA, J. A; SOUZA, R. A de; MENEGUETTI, K. S. A Questão dos Resíduos Sólidos de Construção Civil: Um Breve Estado da Arte. **NUPEM**, Campo Mourão, v.3, n.5, ago./dez. 2011. Disponível em: <<http://www.fecilcam.br/revista/index.php/nupem/article/view/72/41>>. Acesso em: out. 2013.

ANDRADE, M; ROMERO, M. A. B. **Coordenação Dimensional como Ferramenta para a Qualidade em Projetos de Habitação Popular**. In: Seminário Internacional NUTAU: Tecnologia e Desenvolvimento. São Paulo, 2000. Artigo Técnico.

ÂNGULO, S. C. **Produção de Concretos com Agregados Reciclados**. São Paulo, 1998. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, 1998.

ARGENTINA. INTI. **Coordinación Modular**. Buenos Aires, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2012**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5706 – Coordenação Modular da Construção**. Rio de Janeiro, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5731 – Coordenação Modular da Construção: terminologia**. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739 – Ensaio de Resistência à Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado e Protendido – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6136 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681 – Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062 – Resíduos Sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais - Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

BADAULF, A. S. F. **Contribuição à Implementação da Coordenação Modular da Construção no Brasil.** Porto Alegre, 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2004.

BARBOSA, L. A. G.; QUALHARINI, E. L. **A influência da Coordenação Modular na Produção de Construções Dotadas de Processos de Automação.** Disponível em: <<http://www.geocities.ws/luisgreno/LAGBtextos.htm>>. Acesso em: out. 2013.

BRITO, Adriana Camargo de. **Recomendações para Projetos Habitacionais com Pré-Fabricados Leves de Concreto Visando Otimização do Desempenho Térmico.** São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, 2006.

BRUNA, P. J. V. Arquitetura, **Industrialização e Desenvolvimento.** São Paulo, 1976. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, USP, 1976.

BUNGEY, J. H. **The Testing of Concrete in Structures**, 2 ed., London, 1989, Surrey University Press.

CABRAL, A. E. B; SCHALCH, V; DAL MOLIN, D. C. C; RIBEIRO, J. L. D; RAVINDRARAJAH, R. S. Desempenho de Concretos com Agregados Reciclados de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, n. 336, p. 448-460, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v55n336/16.pdf>>. Acesso em: mai. 2013.

CAIADO, K. F. **Estudo e Concepção de Edifícios em Módulos Pré-Fabricados estruturados em Aço**. Ouro Preto, 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.

CAMACHO, J. S. **Concreto Armado: Estados Limites de Utilização**. In: NÚCLEO DE ENSINO E PESQUISA DA ALVENARIA ESTRUTURAL – NEPAE, 2005, Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista, UNESP, 2005. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Estados%20limites%20de%20servico.pdf>>. Acesso em: mai. 2013.

CAPORIONI; GARLATTI; TENCA-MONTINI. **La Coordinación Modular**. Barcelona: GG, 1971.

CESAR, C. G. **Desempenho Estrutural de Painéis Pré-Fabricados com Blocos Cerâmicos**. Florianópolis, 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2007.

CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT. **The Performance Concept and its Terminology**. Paris, Centre Scientifique et Technique du Batiment, 1975.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**. Rio de Janeiro, 05 de julho de 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 358**. Rio de Janeiro, 29 de abril de 2005.

D'ALMEIDA, M. L. O, VILHENA, A. (Coord.). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial para a Reciclagem**, São Paulo, 2ª. ed. rev. e amp, p. 370, 2000.

ESPÍNDOLA, L. R.; MORAES, P. D. de. **Coordenação Modular em Sistemas Leves de Madeira e Sistemas Mistos**. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2008, Fortaleza. Anais do XII ENTAC, 2008. Disponível em: <<http://giem.ufsc.br/upload/20090417152912.pdf>>. Acesso em: mai. 2013.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaios não Destrutivos**. Rio de Janeiro, 2002. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2002.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. Alternativa Sustentável para destinação de Resíduos de Construção Classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10, n.3, p. 23-40, jul./set. 2010.

FERNANDES, C. G; MOTTA, L. M. G. **Caracterização de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção Civil**. IN: XII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2005, ANPET, Recife. Anais.

FERREIRA, I. C. G. **Qualidade no Projeto e Sistema Modular na Construção**. Niterói, 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, UFF, 1999.

FERREIRA, J. S. **Aprovechamiento de Escombros como Agregados no Convencionales en Mezclas de Concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2009.

FILHO, J. A. A. S. **Blocos de Concreto para Alvenaria em Construções Industrializadas**. São Carlos, 2007. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, USP, 2007.

FRAGA, M. F. **Panorama da Geração de Resíduos da Construção Civil em Belo Horizonte: Medidas de Minimização com Base em Projeto e Planejamento de Obras.** Belo Horizonte, 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2006.

FRANCO, L. S.; AGOPYAN, V. **Implementação da Racionalização Construtiva na Fase de Projeto.** São Paulo, 1993. Boletim Técnico (BT/PCC/94) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.

FRANCO, L. S. **Aplicação de Diretrizes de Racionalização Construtiva para a Evolução Tecnológica dos Processos Construtivos em Alvenaria Estrutural não Armada.** São Paulo, 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

FREITAS, A. M. S; CRASTO, R. C. M. **Sistema Light Steel Framing: um Guia para Arquitetos.** Belo Horizonte: Centro Brasileiro de Construção em Aço – CBCA, 2006.

GOONAN, T. G. **Recycled Aggregates: Profitable Resource Conservation.** Denver: U.S. Geological Survey, 2000.

GREVEN, H.A; BADAULF, A. S. F. **Introdução à Coordenação Modular da Construção do Brasil: uma Abordagem Atualizada.** Coleção Habitare. Porto Alegre, 2007. Disponível em: <[http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao10/livro\\_completo.pdf](http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao10/livro_completo.pdf)>. Acesso em: mai. 2013.

JARDIM, G. T. C; CAMPOS, A. S. **“Light Steel Framing: uma Aposta do Setor Siderúrgico no Desenvolvimento Tecnológico da Construção Civil.** In: CBCA, São Paulo. Disponível em: <[http://www.cbcaibs.com.br/nsite/site/acervo\\_iten\\_listar\\_apostilas.asp](http://www.cbcaibs.com.br/nsite/site/acervo_iten_listar_apostilas.asp)> Acesso em: jun. 2013.

LATTERZA, L. M. **Concreto com Agregado Graúdo Proveniente da Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição. Um Novo Material para Fabricação de Painéis**

**Leves de Vedação.** São Carlos, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1998.

LEVY, S. M. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos Produzidos com Resíduos de Concreto e Alvenaria.** São Paulo, 2001. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

LOPES, T; AMADO, M. **Pré-Fabricação Aplicada ao Contexto de Reabilitação de Edifícios.** In: 2ª CONFERÊNCIA CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE EDIFÍCIOS NO ESPAÇO LUSÓFONO, 2012, Lisboa. Disponível em: <<http://sites.fct.unl.pt/geotpu/publications/pre-fabricacao-aplicada-ao-contexto-de-reabilitacao-de-edificios>>. Acesso em: mai. 2013.

LUCENA, L. F. L.; NEVES, G. A.; NASCIMENTO, J. D.; OLIVEIRA, D. F. **Diagnóstico da Geração de Resíduos da Construção Civil no Município de Campina Grande.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 1., Porto Alegre. Anais. Porto Alegre, 2005.

LUCINI, H. C. **Manual Técnico de Modulação de Vãos de Esquadrias.** São Paulo: Pini, 2001. 101f.

MASCARÓ, L. E. R. de. **Coordinación modular? Qué es?.** Buenos Aires: Summa, n.103, p.20-21, ago. 1976.

MILOVANOVIC, B; STIRMER, N; MILICEVIC, I. **The Sustainable Prefabricated Wall Panel of Recycled Aggregates.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF LIFE CYCLE ASSESSMENT AND CONSTRUCTION - IFSTTAR, 2012, Nantes. Disponível em: <[http://bib.irb.hr/datoteka/588309.THE\\_SUSTAINABLE\\_PREFABRICATED\\_WALL\\_PANEL\\_SYSTEM\\_MADE\\_OF\\_RECYCLED\\_AGGREGATES.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/588309.THE_SUSTAINABLE_PREFABRICATED_WALL_PANEL_SYSTEM_MADE_OF_RECYCLED_AGGREGATES.pdf)>. Acesso em: ago. 2013.

MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELI, E. D. A Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n.1, p. 57-71, jan./mar. 2009.

MITIDIARI FILHO, C. V. **Avaliação de Desempenho de Componentes e Elementos Construtivos Inovadores Destinados a Habitações: Proposições Específicas à Avaliação do Desempenho Estrutural**. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da universidade de São Paulo, USP, 1998.

MÓDENA, L. **Construção Industrializada: uma Contribuição para Habitações de Interesse Social**. São Paulo, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2009.

NETO, B. P. M; MANSUR, G. M. F; SILVA, H. R; CHAVES, J. J. A. R; ALVES, S. L; FIGUEIREDO, T. M. M. **Painéis de Fachada**. In: DISCIPLINA MÉTODOS CONSTRUTIVOS – UFMG, 2004, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.demc.ufmg.br/dalmo/Trabalho%20Painéis%20de%20Fachada.doc>>. Acesso em: ago. 2013.

NETO, J. da C. M. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Paulo: RIMA, 2005.162p.

NISSEN, H. **Construcción Industrializada y Diseño Modular**. Madrid: H. Blume, 1976.

O'CONNOR, J. T.; DAVIES, V. S. Constructability Improvement During Field Operations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.114, nº 4, December, 1988. p. 462-75.

ORDONEZ, J. A. F. Pre-Fabricación – Teoría y Práctica. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974. v.1.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto para Emprego em Fachadas de Edifícios**. São Paulo, 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

PARIZOTTO FILHO, S. **Análise Arquitetônica e Construtiva de tipos Habitacionais Edificados com Blocos Cerâmicos**. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal de Santa Catarina, UFSC, 2004.

PEREIRA, A. C. W. **Diretrizes para Implantação de Sistemas Construtivos Abertos na Habitação de Interesse Social através da Modulação**. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, UFPR, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. L **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil**. v. 1. Brasília: CAIXA, 2005. 196 p.

PUPO, H. F. F. **Painéis Alternativos Produzidos a Partir de Resíduos Termoplásticos e da Pupunheira**. Botucatu, 2012. Dissertação (Mestrado) - UNESP, 2012.

RIBAS, A; CASAGRANDE, P. F; MENEGHEL, P. F; MARTINS, R. **A Utilização de Recicláveis na Arquitetura**. IN: ARQ 5661 – TECNOLOGIA DA EDIFICAÇÃO I, 2008, Florianópolis. Disponível em: <[http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2008-2/reciclaveis/materiais\\_reciclaveis.pdf](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2008-2/reciclaveis/materiais_reciclaveis.pdf)>. Acesso em: jun. 2013.

RODRIGUES JORGE, M. P; FERREIRA, O. P; CLARO NETO, S. **Aproveitamento da Borracha de Pneus Inservíveis na Produção de Componentes para Construção**. IN: ITCR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004, Florianópolis. Disponível em: <<http://pneus.observatorioderesiduos.com.br/?p=188>>. Acesso em: jun. 2013.

ROMCY, N. M. S. **Proposta de Tradução dos Princípios da Coordenação Modular em Parâmetros Aplicáveis ao Building Information Modeling**. Fortaleza, 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, UFC, 2012.

ROSSO, Teodoro. **Teoria e Prática da Coordenação Modular**. São Paulo: FAUUSP, 1976.

ROSSO, Teodoro. **Racionalização da Construção**. São Paulo, SP, FAU-USP, 2ª reimpressão, 1990.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas construtivos: Formulação e Aplicação de uma Metodologia**. São Paulo, 1989. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1989.

SABBATINI, F. H. **A Industrialização e o Processo de Produção de Vedações: Utopia ou Elemento de Competitividade Empresarial**. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS, 1998, São Paulo. Anais. São Paulo, EPUSP, 1998.

SILVA, A. M. F. **Projeto Habitacional com Elementos Estruturais e Construtivos Feitos a Partir de Aços Planos**. Ouro Preto, 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, 2004.

SOBRI, M. S; HAMZAH, S. H; RIDZUAN, A. R. M. Ultimate Strengh of Steel Fabric Reinforced Concrete Short Wall Panel Using Crushed Concrete Waste Aggregate (CCwA). **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, Rawalpindi, v. 11, n. 1, feb. 2011.

SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; AGOPYAN V.; ANDRADE, A. C. Diagnóstico e Combate à Geração de Resíduos na Produção de Obras de Construção de Edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n.4, p. 33-46, out./dez. 2004.

STEUERNAGEL, C. **A Industrialização da Construção Civil através da Utilização de Painéis Pré-Fabricados**. Joinville, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, 2008.

TÉCHNE. **SINAT. Reportagem de Renato Faria**. Ed.150, setembro de 2009.

TENÓRIO, J. J. L.; GOMES, P. C. C.; RODRIGUES, C. C.; ALENCAR, T. F. F. de. Concreto Produzido com Agregados Reciclados. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais - RIEM**, São Paulo, v. 5, n. 5, p. 692-701, out. 2012.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade Técnica da Utilização de Concretos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 47-63, out./dez. 2004.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C.; NOVAES, C.C. **Vantagem Produtiva do Sistema Light Steel Framing: da Construção Enxuta à Racionalização Construtiva**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), Canela, 2010. Anais. Canela, 2010.

ZECHIMESTER, D. **Estudos para a Padronização das Dimensões de Unidades de Alvenaria Estrutural no Brasil Através do uso da Coordenação Modular**. Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2005.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho como Agregado na Confeção do Concreto**. Campinas, 1997. Dissertação (Mestrado) - UNICAMP, 1997.

## ANEXO A

### RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO CONVENCIONAL

A tabela a seguir mostra os resultados experimentais dos corpos de prova para o concreto convencional aos 03, 07, 14 e 21 dias, apresentando a idade do concreto, as dimensões das peças e a respectiva resistência à compressão (Tabela 19).

Tabela 19 – Resultados experimentais dos corpos de prova de concreto convencional.

Dias	Corpos de prova	Diâmetro (Ø) (mm)	Área Bruta (A <sub>b</sub> ) (mm <sup>2</sup> )	Altura (mm)	F <sub>u</sub> (N)	f <sub>c</sub> (MPa)
3 Dias	CP-01	100	7820	201	76.770	9,8
	CP-02	100	7820	200	66.850	8,6
	CP-03	100	7820	200	79.220	10,1
7 Dias	CP-04	101	8010	202	77.800	9,7
	CP-05	99	7690	200	98.490	12,8
	CP-06	100	7850	200	117.600	15,0
14 Dias	CP-07	100	7850	200	79.500	10,1
	CP-08	100	7850	200	82.830	10,5
	CP-09	100	7850	200	81.860	10,4
28 Dias	CP-10	100	7897	201	123.140	15,6
	CP-11	100	7881	200	97.070	12,3
	CP-12	100	7866	202	100.210	12,7

Fonte: Arquivo Próprio.

## ANEXO B

### RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO

A tabela a seguir mostra os resultados experimentais dos corpos de prova para o concreto com agregado reciclado aos 03, 07, 14 e 21 dias, apresentando a idade do concreto, as dimensões das peças e a respectiva resistência à compressão (Tabela 20).

Tabela 20 – Resultados experimentais dos corpos de prova de concreto com agregado reciclado.

Dias	Corpos de prova	Diâmetro (Ø) (mm)	Área Bruta (A <sub>b</sub> ) (mm <sup>2</sup> )	Altura (mm)	F <sub>u</sub> (N)	f <sub>c</sub> (MPa)
3 Dias	CP-01	100	7850	200	61.550	7,8
	CP-02	99	7660	200	57.670	7,5
	CP-03	101	7940	201	76.590	9,6
7 Dias	CP-04	100	7850	204	111.230	14,2
	CP-05	100	7850	202	50.770	6,5
	CP-06	100	7850	202	53.250	6,8
14 Dias	CP-07	100	7850	200	106.970	13,6
	CP-08	100	7850	200	118.480	15,1
	CP-09	99	7730	200	69.010	8,9
28 Dias	CP-10	100	7787	199	131.290	16,9
	CP-11	100	7897	200	106.030	13,4
	CP-12	100	7866	200	99.780	12,7

Fonte: Arquivo Próprio.

## ANEXO C

### RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO COM AGREGADO LEVE

A tabela a seguir mostra os resultados experimentais dos corpos de prova para o concreto com agregado leve aos 03, 07, 14 e 21 dias, apresentando a idade do concreto, as dimensões das peças e a respectiva resistência à compressão (Tabela 21).

Tabela 21 – Resultados experimentais dos corpos de prova de concreto com agregado leve.

Dias	Corpos de prova	Diâmetro (Ø) (mm)	Área Bruta (A <sub>b</sub> ) (mm <sup>2</sup> )	Altura (mm)	F <sub>u</sub> (N)	f <sub>c</sub> (MPa)
3 Dias	CP-01	100	7850	199	40.690	5,2
	CP-02	99	7700	199	36.610	4,8
	CP-03	99	7700	199	33.260	4,3
7 Dias	CP-04	100	7850	200	142.670	18,2
	CP-05	100	7850	200	123.020	15,2
	CP-06	100	7850	200	133.870	17,0
14 Dias	CP-07	100	7850	202	112.860	14,4
	CP-08	100	7850	198	139.710	17,8
	CP-09	100	7850	200	133.580	17,0
28 Dias	CP-10	101	7929	200	137.970	17,4
	CP-11	100	7850	199	141.890	18,1
	CP-12	99	7663	199	119.190	15,5

Fonte: Arquivo Próprio.