

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

***ANÁLISE ARQUITETÔNICA E CONSTRUTIVA DE TIPOS HABITACIONAIS
EDIFICADOS COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS COM BLOCOS CERÂMICOS***

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

Sergio Parizotto Filho

Florianópolis, Abril de 2004

***ANÁLISE ARQUITETÔNICA E CONSTRUTIVA DE TIPOS HABITACIONAIS
EDIFICADOS COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS COM BLOCOS CERÂMICOS***

SERGIO PARIZOTTO FILHO

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final
pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Prof. Humberto Ramos Roman, PhD (UFSC) – Orientador

Prof. Henriette Lebre La Rovere, PhD – Coordenadora do CPGEC

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Hugo Camilo Lucini (UNIVALI)

Prof. Dr. Fernando Barth (UFSC)

Prof. Dr. Wilson Jesus da Cunha Silveira (UFSC)

Aos meus pais Sergião e Soninha,
à minhas irmãs Nela e Natinha,
e à Bianca, minha querida companheira.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me concedido mais esta chance evolutiva na presente encarnação;

Ao Professor e Orientador Humberto Ramos Roman, pelo aprendizado, pelo estímulo constante e pelo apoio nos momentos mais difíceis;

Ao Professor Fernando Barth, pelo aprendizado, pela colaboração e incentivo constantes e por todo material fornecido;

Aos Professores Wilson Jesus da Cunha Silveira, Hugo Camilo Lucini e Carolina Szücs, pela colaboração e todo material fornecido;

Ao pessoal da UNICAMP, Professor André Munhoz de Argollo Ferrão, Engenheira Solange Kahl, Assistente social Kelly Cristina Barbosa, Gerente da “Casa do Lago” Avelino Bezerra, aos moradores e funcionários da administração e manutenção da “Moradia Estudantil”, pela atenção, colaboração e todo material fornecido;

Ao Professor Mário Luiz Attab Braga, pelas informações fornecidas;

À Universidade Federal de Santa Catarina, por toda infra-estrutura disponibilizada;

Ao CNPq, pelo apoio financeiro através de bolsa de estudo;

Ao Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria (GDA), ao Núcleo de Pesquisas em Construção Civil (NPC) e ao Programa de Pós-graduação da Engenharia Civil da UFSC, por abrirem suas portas para realização deste estudo;

Aos meus pais Sergião e Soninha, e às minhas irmãs Nela e Natinha, pelo amor, carinho, dedicação, incentivo e boa educação em todos os momentos;

À minha querida companheira Bianca, pelo amor, carinho, pela nossa amizade sincera, pelo apoio constante, e por ser alguém tão especial em minha vida;

Ao meu cunhado Lee, pelos bons exemplos de sempre;

Aos colegas Adauto Pereira Cardoso e Cristina Guimarães Cesar, companheiros da mesma pesquisa, por todas as colaborações;

À todo pessoal do GDA, pelas colaborações e pela alegria da nossa convivência;

À ilha da magia, este lugar tão belo que me fornece energia vital da melhor qualidade, em especial à Barra da Lagoa e à Joaquina, lugares que me acolheram durante estes dois anos de produção deste mestrado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	ix
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1. JUSTIFICATIVA.....	1
1.1.1. A questão habitacional brasileira.....	1
1.1.2. Qualidade e Produtividade.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1. Objetivo Geral.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. DELIMITAÇÕES DO TEMA.....	5
1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	5
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. INDUSTRIALIZAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO.....	7
2.1.1. Industrialização da construção.....	7
2.1.2. Racionalização da construção e racionalização construtiva.....	8
2.1.3. Racionalização e projeto.....	9
2.2. PRÉ-FABRICAÇÃO.....	10
2.2.1. Flexibilidade na pré-fabricação.....	11
2.2.2. Projeto para pré-fabricação.....	11
2.3. SISTEMA MODULAR NA CONSTRUÇÃO.....	13
2.3.1. Normalização.....	13
2.3.2. O conceito de módulo.....	13
2.3.3. Coordenação dimensional.....	14
2.3.4. Coordenação modular.....	15
2.3.5. Ajuste modular.....	17
2.3.6. Vantagens da modulação.....	18
2.3.7. Representação gráfica de projetos modulares.....	19

2.3.8. Aplicação da modulação para o projeto com painéis.....	21
2.4. PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS.....	22
2.4.1. Alvenaria estrutural com painéis pré-fabricados.....	23
2.5. CERÂMICA ESTRUTURAL.....	24
2.5.1. Histórico.....	24
2.5.2. Vantagens dos materiais cerâmicos.....	26
2.5.3. A importância de Eládio Dieste para a cerâmica estrutural.....	27
2.6. PAINÉIS CERÂMICOS ESTRUTURAIS PRÉ-FABRICADOS.....	28
2.6.1. Vantagens da pré-fabricação de painéis cerâmicos.....	28
2.6.2. Experiência internacional.....	30
2.6.3. Experiência nacional.....	33
2.7. TIPOLOGIAS.....	39
2.7.1. Conceito.....	39
2.7.2. Tipologias das habitações de interesse social no Brasil.....	39
2.7.3. Produto habitação homogêneo.....	41
2.7.4. Características formais x custos das habitações.....	42
2.7.5. Flexibilidade tipológica.....	44
2.7.6. Recomendações estruturais para as tipologias com painéis.....	47
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	48
CAPÍTULO 4 – ESTUDOS DE CASOS.....	50
4.1. ESTUDO DE CASO Nº 1 - PROTÓTIPO DE CASA TÉRREA (UNICAMP).....	50
4.1.1. Características do projeto.....	50
4.1.2. Características do processo construtivo.....	54
4.2. ESTUDO DE CASO Nº 2 - PROTÓTIPO DE SOBRADO (UNICAMP).....	57
4.2.1. Características do projeto.....	57
4.2.2. Características do processo construtivo.....	60
4.3. ESTUDO DE CASO Nº 3 - MORADIA ESTUDANTIL (UNICAMP).....	62
4.3.1. Características do projeto.....	62
4.3.2. Características do processo construtivo.....	67
4.4. ESTUDO DE CASO Nº 4 - CONJUNTO RESIDENCIAL (COTIA/SP).....	72
4.4.1. Características do projeto.....	72

4.4.2. Características do processo construtivo.....	75
4.5. ESTUDO DE CASO Nº 5 - CASA DO LAGO E LAB. HAB. (UNICAMP).....	76
4.5.1. Características do projeto.....	76
4.5.2. Características do processo construtivo.....	79
4.6. ESTUDO DE CASO Nº 6 - ANEXO LMCC (UFSC).....	81
4.6.1. Características do projeto.....	81
4.6.2. Características do processo construtivo.....	84
CAPÍTULO 5 – ANÁLISES ARQUITETÔNICAS E CONSTRUTIVAS.....	93
5.1. ANÁLISES ARQUITETÔNICAS.....	93
5.1.1. Arranjo arquitetônico estrutural.....	93
5.1.2. Arranjo arquitetônico flexível (flexibilidade compositiva).....	93
5.1.3. Forma.....	94
5.1.4. Tipologias arquitetônicas.....	96
5.1.5. Fachadas.....	97
5.1.6. Modulação.....	97
5.2. ANÁLISES CONSTRUTIVAS.....	98
5.2.1. Tipos de painéis.....	98
5.2.2. Tipologias construtivas de painéis.....	98
5.2.3. Fundações das obras com painéis.....	100
5.2.4. Produção flexível.....	100
5.2.5. Dimensões dos painéis.....	101
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	102
6.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	102
6.2. CONCLUSÕES ESPECÍFICAS.....	103
6.3. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ILUSTRAÇÃO 2.1.	Representação de uma porta num projeto modular (ANDRADE, 2001).....	17
ILUSTRAÇÃO 2.2.	Reticulado espacial modular de referência (ANDRADE, 2001).....	20
ILUSTRAÇÃO 2.3.	Quadriculado modular de referência (ANDRADE, 2001).....	20
ILUSTRAÇÃO 2.4.	Igreja de Atlântida (SARRABLO, 2001).....	28
ILUSTRAÇÃO 2.5.	Placa cerâmica pré-tensionada (SARRABLO, 2001).....	30
ILUSTRAÇÃO 2.6.	Abobadas pré-fabricadas ARCAVE (SARRABLO, 2001).....	31
ILUSTRAÇÃO 2.7.	Dimensões variáveis do sistema construtivo (SARRABLO, 2001).....	31
ILUSTRAÇÃO 2.8.	Elemento de fixação (HOBBS; DAWOOD, 2000).....	32
ILUSTRAÇÃO 2.9.	Processo de fabricação (HOBBS; DAWOOD, 2000).....	32
ILUSTRAÇÃO 2.10.	Painéis “sandwich” na fábrica (HOBBS; DAWOOD, 2000).....	33
ILUSTRAÇÃO 2.11.	Locação na obra (HOBBS; DAWOOD, 2000).....	33
ILUSTRAÇÃO 2.12.	Moradia Estudantil da UNICAMP - SP (PROJETO/DESIGN, 2001).....	36
ILUSTRAÇÃO 2.13.	Moradia Estudantil da UNICAMP - SP (COX;FERNANDÉS, 1998).....	36
ILUSTRAÇÃO 2.14.	Tipos de painéis (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993).....	36
ILUSTRAÇÃO 2.15.	Tipos de painéis (BARTH, 1992).....	36
ILUSTRAÇÃO 2.16.	Tipos de painéis (BARTH, 1992).....	36
ILUSTRAÇÃO 2.17.	Fabricação dos painéis (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993).....	37
ILUSTRAÇÃO 2.18.	Fabricação dos painéis (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993).....	37
ILUSTRAÇÃO 2.19.	Seção transversal do painel de parede (SARRABLO, 2001).....	37
ILUSTRAÇÃO 2.20.	Processo construtivo DOMINÓ (BARTH, 2002).....	38
ILUSTRAÇÃO 2.21.	Processo construtivo DOMINÓ (BARTH, 2002).....	38
ILUSTRAÇÃO 2.22.	Habitações construídas com o processo DOMINÓ (BARTH, 2002).....	38
ILUSTRAÇÃO 2.23.	Habitações construídas com o processo DOMINÓ (BARTH, 2002).....	38
ILUSTRAÇÃO 2.24.	Processo desenvolvido pelo IPT.....	39
ILUSTRAÇÃO 2.25.	Processo desenvolvido pelo IPT.....	39
ILUSTRAÇÃO 2.26.	Casas térreas isoladas (CDHU, 1997).....	40
ILUSTRAÇÃO 2.27.	Casa térreas geminadas (CDHU, 1997).....	40
ILUSTRAÇÃO 2.28.	Casas sobrepostas (CDHU, 1997).....	40
ILUSTRAÇÃO 2.29.	Sobrados renqueados (CDHU, 1997).....	40
ILUSTRAÇÃO 2.30.	Prédios verticais (CDHU, 1997).....	40
ILUSTRAÇÃO 2.31.	Prédios verticais com pilotis (CDHU, 1997).....	40
ILUSTRAÇÃO 4.1.	Protótipo de casa térrea da UNICAMP (ARQ. PANAMERICANA, 1993).....	50
ILUSTRAÇÃO 4.2.	Protótipo de casa térrea da UNICAMP (ARQ. PANAMERICANA, 1993).....	50
ILUSTRAÇÃO 4.3.	Casa térrea: planta baixa (BRAGA & LOPES, 1985).....	51
ILUSTRAÇÃO 4.4.	Casa térrea: perspectiva aérea (BRAGA & LOPES, 1985).....	51
ILUSTRAÇÃO 4.5.	Casa térrea: espaço de espera.....	53
ILUSTRAÇÃO 4.6.	Casa térrea: cobertura (BRAGA & LOPES, 1985).....	53

ILUSTRAÇÃO 4.7.	Varanda e oitão do protótipo de casa térrea da UNICAMP.....	54
ILUSTRAÇÃO 4.8.	Varanda do protótipo de casa térrea da UNICAMP.....	54
ILUSTRAÇÃO 4.9.	Painéis de parede com instalações (ARQ. PANAMERICANA, 1993).....	55
ILUSTRAÇÃO 4.10.	Painéis de telha: aspectos construtivos (ARQ. PANAMERICANA, 1993).....	55
ILUSTRAÇÃO 4.11.	Painéis de telha: aspectos construtivos (ARQ. PANAMERICANA, 1993).....	55
ILUSTRAÇÃO 4.12.	Produção (MINTER/PNUD, 1989).....	56
ILUSTRAÇÃO 4.13.	Montagem (BRAGA & LOPES, 1985).....	56
ILUSTRAÇÃO 4.14.	Protótipo de sobrado (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993).....	57
ILUSTRAÇÃO 4.15.	Protótipo de sobrado (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993).....	57
ILUSTRAÇÃO 4.16.	Sobrado: planta baixa (BRAGA & LOPES, 1985).....	58
ILUSTRAÇÃO 4.17.	Sobrado: croquis (BRAGA & LOPES, 1985).....	58
ILUSTRAÇÃO 4.18.	Aspecto das fachadas do protótipo de sobrado da UNICAMP.....	61
ILUSTRAÇÃO 4.19.	Cobertura do protótipo de sobrado da UNICAMP.....	61
ILUSTRAÇÃO 4.20.	Painéis de escada (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993).....	61
ILUSTRAÇÃO 4.21.	Painéis de escada (MINTER/PNUD, 1989).....	61
ILUSTRAÇÃO 4.22.	Moradia Estudantil (COX; FERNANDÉS, 1998).....	62
ILUSTRAÇÃO 4.23.	Moradia Estudantil (PROJETODESIGN, 2001).....	62
ILUSTRAÇÃO 4.24.	Implantação do conjunto: sistema de quarteirões (COX; FERNANDÉS, 1998).....	63
ILUSTRAÇÃO 4.25.	Perspectiva aérea da Moradia Estudantil (COX; FERNANDÉS, 1998).....	64
ILUSTRAÇÃO 4.26.	Projeto modular das unidades habitacionais (COX; FERNANDÉS, 1998).....	65
ILUSTRAÇÃO 4.27.	Arranjo estrutural: paredes enrijecedoras.....	65
ILUSTRAÇÃO 4.28.	Arranjo estrutural: paredes enrijecedoras.....	65
ILUSTRAÇÃO 4.29.	Sala de estudos: utilização de elementos vazados.....	66
ILUSTRAÇÃO 4.30.	Sala de estudos: utilização de elementos vazados.....	66
ILUSTRAÇÃO 4.31.	Moradia Estudantil: reforma de 2003.....	67
ILUSTRAÇÃO 4.32.	Moradia Estudantil: reforma de 2003.....	67
ILUSTRAÇÃO 4.33.	Moradia Estudantil: estado de conservação.....	68
ILUSTRAÇÃO 4.34.	Moradia Estudantil: estado de conservação.....	68
ILUSTRAÇÃO 4.35.	Moradia Estudantil: estado de conservação.....	68
ILUSTRAÇÃO 4.36.	Conforto térmico: pé-direito baixo.....	68
ILUSTRAÇÃO 4.37.	Conforto térmico: pequena espessura de parede.....	68
ILUSTRAÇÃO 4.38.	Painéis parede: vedações, platibandas e pingadeiras (MINTER/PNUD, 1989).....	69
ILUSTRAÇÃO 4.39.	Subsistema parede/oitão (UNICAMP, 1990).....	69
ILUSTRAÇÃO 4.40.	Pingadeira.....	69
ILUSTRAÇÃO 4.41.	Moradia Estudantil: fundação tipo radier (UNICAMP, 1990).....	70
ILUSTRAÇÃO 4.42.	Moradia Estudantil: fundação tipo radier (UNICAMP, 1990).....	70
ILUSTRAÇÃO 4.43.	Moradia Estudantil: produção dos painéis (UNICAMP, 1990).....	70
ILUSTRAÇÃO 4.44.	Moradia Estudantil: produção dos painéis (UNICAMP, 1990).....	70
ILUSTRAÇÃO 4.45.	Moradia Estudantil: produção dos painéis (UNICAMP, 1990).....	70
ILUSTRAÇÃO 4.46.	Içamento (BARTH, 1992).....	71

ILUSTRAÇÃO 4.47.	Pintura do radier (MINTER/PNUD, 1989).....	71
ILUSTRAÇÃO 4.48.	Levantamento manual e escoramento dos painéis (UNCAMP, 1990).....	71
ILUSTRAÇÃO 4.49.	Levantamento manual e escoramento dos painéis (UNCAMP, 1990).....	71
ILUSTRAÇÃO 4.50.	Condomínio residencial em Cotia/SP (PROJETO/DESIGN, 2003).....	72
ILUSTRAÇÃO 4.51.	Condomínio residencial em Cotia/SP (PROJETO/DESIGN, 2003).....	73
ILUSTRAÇÃO 4.52.	Condomínio residencial em Cotia/SP (PROJETO/DESIGN, 2003).....	73
ILUSTRAÇÃO 4.53.	Plantas da unidade residencial (PROJETO/DESIGN, 2003).....	73
ILUSTRAÇÃO 4.54.	Implantação do conjunto residencial de Cotia/SP (PROJETODESIGN, 2003)....	74
ILUSTRAÇÃO 4.55.	Casa do Lago (PROJETO, 1995).....	76
ILUSTRAÇÃO 4.56.	Laboratório de Habitação (ARQ. PANAMERICANA, 1993).....	76
ILUSTRAÇÃO 4.57.	Espaço Cultural Casa do Lago: aspectos morfológicos.....	77
ILUSTRAÇÃO 4.58.	Espaço Cultural Casa do Lago: aspectos morfológicos.....	77
ILUSTRAÇÃO 4.59.	Espaço Cultural Casa do Lago: aspectos morfológicos.....	77
ILUSTRAÇÃO 4.60.	Laboratório de Habitação: aspectos morfológicos.....	78
ILUSTRAÇÃO 4.61.	Laboratório de Habitação: aspectos morfológicos.....	78
ILUSTRAÇÃO 4.62.	Casa do Lago: composições entre vedações e aberturas.....	78
ILUSTRAÇÃO 4.63.	Casa do Lago: composições entre vedações e aberturas.....	78
ILUSTRAÇÃO 4.64.	Casa do Lago: composições entre vedações e aberturas.....	78
ILUSTRAÇÃO 4.65.	Laboratório de Habitação: composições entre vedações e aberturas.....	78
ILUSTRAÇÃO 4.66.	Laboratório de Habitação: composições entre vedações e aberturas.....	78
ILUSTRAÇÃO 4.67.	Casa do Lago: espessura da cobertura.....	80
ILUSTRAÇÃO 4.68.	Casa do Lago: junção entre painéis.....	80
ILUSTRAÇÃO 4.69.	Painéis abóbadas: produção e montagem.....	80
ILUSTRAÇÃO 4.70.	Painéis abóbadas: produção e montagem.....	80
ILUSTRAÇÃO 4.71.	Maquete do Anexo LMCC (UFSC)/(BARTH & CARDOSO, 2003).....	81
ILUSTRAÇÃO 4.72.	Maquete do Anexo LMCC (UFSC)/(BARTH & CARDOSO, 2003).....	81
ILUSTRAÇÃO 4.73.	Planta do protótipo (BARTH & CARDOSO, 2003).....	83
ILUSTRAÇÃO 4.74.	Fachada NORTE (BARTH & CARDOSO, 2003).....	84
ILUSTRAÇÃO 4.75.	Blocos utilizados para fabricação dos painéis.....	85
ILUSTRAÇÃO 4.76.	Processo evolutivo da tipologia construtiva (BARTH & CARDOSO, 2003).....	85
ILUSTRAÇÃO 4.77.	Painéis de parede GDA/LABSISCO (BARTH & CARDOSO, 2003).....	86
ILUSTRAÇÃO 4.78.	Detalhe da modulação horizontal (BARTH & CARDOSO, 2003).....	87
ILUSTRAÇÃO 4.79.	Painéis de cobertura planos GDA/LABSISCO (BARTH & CARDOSO, 2003).....	87
ILUSTRAÇÃO 4.80.	Painéis de cobertura curvos GDA/LABSISCO (BARTH & CARDOSO, 2003)	88
ILUSTRAÇÃO 4.81.	Anexo LMCC: fundação tipo radier.....	88
ILUSTRAÇÃO 4.82.	Anexo LMCC: fundação tipo radier.....	88
ILUSTRAÇÃO 4.83.	Mesas e formas utilizadas no processo GDA/LABSISCO/UFSC.....	89
ILUSTRAÇÃO 4.84.	Mesas e formas utilizadas no processo GDA/LABSISCO/UFSC.....	89
ILUSTRAÇÃO 4.85.	Mesas e formas utilizadas no processo GDA/LABSISCO/UFSC.....	89
ILUSTRAÇÃO 4.86.	Mesas e formas utilizadas no processo GDA/LABSISCO/UFSC.....	89

ILUSTRAÇÃO 4.87.	Aplicação de desmoldante.....	90
ILUSTRAÇÃO 4.88.	Armadura perimetral.....	90
ILUSTRAÇÃO 4.89.	Colocação dos blocos.....	90
ILUSTRAÇÃO 4.90.	Colocação da armadura perimetral.....	90
ILUSTRAÇÃO 4.91.	Colocação da armadura perimetral.....	90
ILUSTRAÇÃO 4.92.	Aplicação da argamassa de reforço.....	91
ILUSTRAÇÃO 4.93.	Aplicação da argamassa de revestimento.....	91
ILUSTRAÇÃO 4.94.	Içamento do painel.....	91
ILUSTRAÇÃO 4.95.	Içamento do painel.....	91
ILUSTRAÇÃO 4.96.	Transporte dos painéis.....	91
ILUSTRAÇÃO 4.97.	Empilhamento dos painéis.....	91
ILUSTRAÇÃO 4.98.	Painéis de cobertura: resolução estrutural.....	92
ILUSTRAÇÃO 4.99.	Painéis de cobertura: resolução estrutural.....	92

RESUMO

Os pesquisadores do Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria (GDA) e do Laboratório de Sistemas Construtivos (LABSISCO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) vêm desenvolvendo desde o ano de 2001, a “Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Construtivos Industrializados em Cerâmica Estrutural”, com o objetivo de oferecer ao mercado soluções construtivas otimizadas na forma de painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, com a finalidade de contribuir para a melhoria da qualidade, redução dos desperdícios e custos, e aumento da produtividade e competitividade, tanto para o setor cerâmico quanto para o da construção.

O presente trabalho é parte integrante desta pesquisa, dedicando-se exclusivamente ao estudo dos aspectos arquitetônicos e construtivos dos tipos habitacionais que são originados a partir da utilização destes processos construtivos, objetivando-se reunir elementos de interesse que possam ser explorados favoravelmente na construção habitacional de interesse social, contribuindo assim para o enfrentamento do déficit habitacional. Assim sendo, o trabalho visa apontar algumas recomendações adequadas, em aspectos arquitetônicos e construtivos, que podem ser configuradas com esta tecnologia construtiva, quando se faz necessária a resolução do espaço com maior economia.

Entendeu-se necessário inicialmente um maior conhecimento técnico sobre o assunto, que foi adquirido através da revisão bibliográfica e da realização de estudos de casos, criando-se assim o balizamento necessário para a realização das análises arquitetônicas e construtivas, seguidas pelas conclusões gerais e específicas sobre o desenvolvimento deste trabalho.

Conclui-se pela viabilidade técnico-econômica do processo construtivo em questão, que se mostra como opção tecnológica uniforme e produtiva, atingindo um bom nível de qualidade e de desempenho para diversos níveis de estratificação social, configurando-se como possível alternativa para enfrentamento do déficit habitacional brasileiro.

ABSTRACT

The main objective of the project “Research and Development of Industrialized Constructive Processes in Structural Ceramics” is to make optimized construction solutions, in the form of pre-fabricated structured ceramic panels, available to the market. Developed since 2001 by the Masonry Systems Development Group (GDA) and the Constructive Systems Laboratory (LABSISCO) of Federal University of Santa Catarina (UFSC), this project aimed specially quality improvement, squander and expenditure reduction and higher productivity, as well as competitiveness in both ceramic and civil construction sectors.

The present study is part of the aforementioned research, focused exclusively to the investigation of architectural and constructive aspects of housing types derived from the employment of the pre-fabricated constructive techniques mentioned above. The main objective of this study is to gather elements that could be explored to enhance the socially oriented building processes, hence alleviating housing deficit in Brazil. As consequence, this study aims to indicate appropriate recommendations, as architectural and constructive aspects that can be configured with the pre-fabricated constructive technology, when there is need to optimize the space use and economy.

Initially we collected large quantity of technical knowledge by means of thorough bibliographical research and case studies to accomplish the architectural and constructive analysis, followed by the general and specific conclusions derived from this study.

We concluded that the aforementioned constructive process is viable in both technical and economical aspects, being an uniform and productive option. This process is further characterized by its quality level and performance, flexible enough to attain the requirement of different social strata, thus presenting as a possible alternative to alleviate the housing deficit in Brazil.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

1.1.1. A questão habitacional brasileira

Duas questões são de fundamental importância na problemática habitacional do Brasil: a existência de grande déficit de habitações e a baixa renda média da população, sendo esta última o fator preponderante que impossibilita a realização do sonho da casa própria por grande parte da população brasileira.

No estudo intitulado “Déficit habitacional no Brasil 2000”, realizado pela Fundação João Pinheiro em parceria com a Secretaria Especial do Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU/PR), o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), com o objetivo de traçar a evolução das necessidades habitacionais na última década, e atualizar o valor do déficit habitacional e da inadequação dos domicílios, o déficit apresentado é de aproximadamente 6,6 milhões de habitações, equivalente a 15% do total dos domicílios existentes.

Outro dado desta pesquisa revela que o déficit habitacional está concentrado na faixa composta pelas famílias com baixos rendimentos econômicos (até três salários mínimos), tanto no total urbano brasileiro, quanto individualmente em todas as áreas metropolitanas. Do montante final do déficit habitacional nacional, aproximadamente 83% equivale a estas famílias que possuem baixo rendimento econômico.

Nos últimos quarenta anos diversos programas têm sido implementados pelos governos na tentativa de acabar ou diminuir o déficit habitacional. No campo da construção civil, o que se pode observar nesta trajetória é que, apesar de todas as dificuldades, o atraso tecnológico que sempre caracterizou o setor vem sendo superado lentamente através de constantes transformações que têm sido introduzidas em seu processo de produção, configuradas em inovações tecnológicas que buscam principalmente a otimização e racionalização dos processos envolvidos na construção.

Dentro deste contexto, a solução para o problema da habitação começa a ser buscada através de inúmeras pesquisas científicas que apontam para algumas soluções a serem testadas. Apesar de ainda existir uma longa trajetória até a solução

completa do problema habitacional, uma questão que envolve praticamente todos os setores da sociedade, e que deve ser encarado de maneira sistêmica, as soluções construtivas desenvolvidas no campo da engenharia civil começam a apresentar melhores resultados e se oferecem como parte da solução do problema.

Os métodos, processos e sistemas construtivos vêm sofrendo constantes aprimoramentos tecnológicos, assim como as atividades de projeto, que também começam a participar deste processo evolutivo, uma vez que se torna imperativa a questão qualitativa nos empreendimentos habitacionais. Por muito tempo o problema da habitação só foi dimensionado sob a ótica quantitativa, ficando os aspectos qualitativos sempre em segundo plano. No entanto, na atual dinâmica econômica a busca pela qualidade passa a ser prioridade em todos os setores da economia, e de forma destacada no setor de edificações.

1.1.2. Qualidade e Produtividade

Buscando sua modernização, a indústria da construção civil nas últimas décadas vem procurando incorporar os conceitos de qualidade utilizados pelos demais setores da indústria de transformação, com o objetivo de atingir melhores níveis de produtividade.

A qualidade no âmbito da construção civil pode ser definida como “o conjunto de requisitos de se construir bem, fundamentais para satisfazer as necessidades do usuário, sendo os mais importantes: segurança, durabilidade, habitabilidade, estética e adequação ambiental” (DIAS, *apud* FERREIRA, 1999). Dentro deste mesmo contexto, a produtividade pode ser traduzida como “a eficiência na utilização dos insumos disponíveis no processo produtivo, aprimorando assim os processos construtivos e produtos” (FRANCO, 1992).

Para se obter ganhos de qualidade e produtividade na construção civil, aumentando a satisfação do usuário final e proporcionando melhorias no processo, as relações de produção devem ser tratadas como um todo, e ao se analisar a influência de cada etapa no processo de produção, verifica-se inicialmente a importância da participação do projeto como etapa indutora e condutora das demais. Além do projeto, a inovação tecnológica possui também um papel fundamental na busca de um patamar mais elevado na qualidade total (SOUZA, BARROS & MELHADO, 1995).

Na busca pela qualidade e produtividade, foram viabilizadas nas últimas décadas diversas soluções como a importação ou a criação de processos construtivos inovadores. Dentre as poucas experiências de sucesso com a utilização destes, destacam-se os processos em alvenaria estrutural, que vêm se tornando freqüentes na construção habitacional de interesse social (FRANCO, 1992).

Segundo este mesmo autor, inúmeras vantagens no sentido da racionalização advém da simplicidade resultante deste processo construtivo, em que as paredes constituem-se ao mesmo tempo nos subsistemas estrutura e vedação. No entanto, a total potencialidade da alvenaria estrutural ainda não vêm sendo explorada adequadamente em nosso país, tanto no que diz respeito à capacidade estrutural, quanto à racionalização do processo construtivo.

Uma das alternativas para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural, baseada no incremento do seu nível de racionalização e industrialização, baseia-se nos métodos de pré-fabricação de painéis estruturais (OLIVEIRA, MELHADO & SABBATINI, 2001). Existem atualmente no mercado brasileiro muitas empresas já utilizando os painéis pré-fabricados de fachada, mas estes na maioria dos casos atuam somente como elemento de vedação. Existe ainda no país um largo campo de pesquisa para painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos, que até o momento somam pouquíssimas realizações.

O presente estudo sobre os aspectos arquitetônicos e construtivos dos tipos de habitação que são originados a partir da utilização de painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos, visa explorar as características tipológicas que podem ser utilizadas favoravelmente na produção habitacional de interesse social.

A correta adequação tipológica ao processo construtivo em estudo implica na obtenção de índices satisfatórios de racionalização e industrialização, com vistas ao aumento dos níveis de produtividade e qualidade da construção, fatores que sendo atingidos, possibilitarão também a diminuição de custos do produto habitação e rapidez na construção. Configura-se assim numa possível contribuição para o enfrentamento do déficit habitacional brasileiro, coerente com a realidade atual do país.

O Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria (GDA) e o Laboratório de Sistemas Construtivos (LABSISCO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sob o apoio financeiro da FINEP e com a participação de empresas privadas, vêm trabalhando desde o ano de 2001 o desenvolvimento de um processo construtivo

em painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos, sendo este trabalho parte integrante desta pesquisa. Busca-se aqui o estudo dos aspectos arquitetônicos e construtivos dos tipos habitacionais que empregam estes painéis em suas composições, apontando soluções espaciais e construtivas que venham a contemplar favoravelmente a demanda habitacional brasileira, respeitando primordialmente os padrões normativos de habitabilidade, incorporando também a estes espaços uma elevação do grau de flexibilidade arquitetônica.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver o estudo dos aspectos arquitetônicos e construtivos dos tipos habitacionais edificados com painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos, com vistas ao apontamento de soluções adequadas a serem utilizadas favoravelmente na produção habitacional de interesse social.

1.2.2. Objetivos específicos

- Conceituar e caracterizar processos construtivos com painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos.
- Analisar arquitetonicamente e construtivamente, através de estudos de casos, a construção composta por painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos.
- Propor recomendações arquitetônicas para a produção espacial de interesse social, adequadas aos processos construtivos em painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos.

1.3. Delimitações do tema

Este trabalho trata de questões arquitetônicas relacionadas aos processos construtivos com painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos. As análises terão portanto enfoque na interação entre questões construtivas e questões espaciais, definindo algumas opções tipológicas válidas a partir das condições tecnológicas dos painéis analisados e das condicionantes econômicas.

A maior parte dos estudos de casos escolhidos, trazem uma experiência nacional com a pré-fabricação dos painéis em estudo. Optou-se pela proposta do arquiteto Joan Villà, que além de configurar-se como um processo construtivo inovador, e como a experiência mais relevante que se tem conhecimento na pré-fabricação de painéis estruturais com blocos cerâmicos em território nacional, apresenta também uma proposta diferenciada quanto aos aspectos arquitetônicos das unidades habitacionais e do conjunto urbano em que estas estão inseridas. Além disso, na proposta em questão, que está diretamente associada à produção habitacional de interesse social, as condicionantes presentes, frutos da realidade brasileira, terão maior interesse para as proposições finais do trabalho, que buscam soluções satisfatórias dentro do mesmo contexto sócio-econômico.

Ressalta-se ainda que o desenvolvimento do processo GDA/LABSISCO/UFSC absorve a experiência do processo de Joan Villà, procurando dar um passo adiante no processo evolutivo da cerâmica estrutural.

1.4. Estruturação do trabalho

Para o cumprimento dos objetivos geral e específicos propostos neste trabalho, esta dissertação foi estruturada em seis capítulos, que foram organizados da seguinte maneira:

Neste *primeiro capítulo*, referente à introdução do trabalho, é apresentada a discussão da justificativa, a definição dos objetivos, as delimitações do tema e a estruturação do trabalho.

No *segundo capítulo* é apresentada a revisão bibliográfica, que engloba a definição de conceitos como industrialização, racionalização e pré-fabricação,

passando pelo estudo do sistema modular na construção e estudo dos painéis pré-fabricados estruturais com blocos cerâmicos, terminando com as conceituações referentes à tipologias arquitetônicas. Não existe neste capítulo a intenção de se realizar uma extensa revisão, nem mesmo apresentar conceitos definitivos, mas sim estabelecer um adequado entendimento sobre os significados adotados em função do tema escolhido para o trabalho.

No *terceiro capítulo* é apresentada a metodologia do trabalho, fundamentada na revisão bibliográfica e nos estudos de casos.

No *quarto capítulo* são apresentados os estudos de casos, onde algumas das edificações já realizadas com o processo construtivo em questão são avaliadas sob os aspectos construtivos e arquitetônicos, estabelecendo-se assim as condições necessárias para a realização das análises desejadas.

No *quinto capítulo* apresentam-se as análises arquitetônicas e construtivas obtidas através dos estudos de casos, sendo estas organizadas em tópicos específicos.

No *sexto capítulo* apresentam-se as conclusões, que consistem numa análise quanto ao cumprimento dos objetivos propostos e numa análise quanto às considerações gerais e específicas desenvolvidas no decorrer do trabalho, levando ao fornecimento de algumas recomendações arquitetônicas de interesse social a serem utilizadas juntamente com o processo construtivo em painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos, e também à algumas sugestões para trabalhos futuros. Após este último capítulo, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Industrialização e racionalização da construção

2.1.1. Industrialização da construção

“A industrialização da construção é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva o incremento da produtividade e do nível de produção, e o aprimoramento do desempenho da atividade construtiva” (SABBATINI, 1989). “É um método baseado essencialmente em processos organizados de natureza repetitiva, nos quais a variabilidade incontável e casual de cada fase de trabalho, que caracteriza as ações artesanais, é substituída por graus pré-determinados de uniformidade e continuidade executiva, características das modalidades operacionais parcial ou totalmente mecanizadas” (ROSSO *apud* FRANCO, 1992).

Em síntese, o conceito de industrialização da construção civil é traduzido nas seguintes palavras chaves: organização, planejamento, continuidade executiva, repetitividade e eficiência no processo de produção, tudo dentro de uma visão global das várias interfaces que compõem a execução de um edifício (OLIVEIRA, 2002).

No Brasil, o surgimento dos processos de industrialização da construção entre as décadas de setenta e oitenta, despertavam entre o meio técnico a certeza de que este novo caminho resolveria todos os problemas referentes ao déficit habitacional. No entanto, os fatos revelam que algumas posturas errôneas quanto à interpretação do conceito de industrialização levaram a grande maioria dos empreendimentos habitacionais ao fracasso (FRANCO, 1992).

Atitudes imediatistas sem o devido suporte técnico e organizacional, e atitudes imobilistas geradas pela crença de que a industrialização só é possível a partir de sistemas complexos, onerosos e radicais, levaram os empreendimentos a médio e longo prazo inevitavelmente ao fracasso e conseqüentemente a um maior descrédito destes sistemas. Estes fracassos também podem ser atribuídos a outros fatores, tais como a falta de adaptação destes sistemas aos materiais e mão-de-obra locais (especificamente no caso dos sistemas que eram importados), a baixa capacidade de

investimento das empresas e a grande instabilidade no cenário econômico, afetando diretamente o mercado habitacional (FRANCO, 1992).

Por outro lado, este mesmo autor afirma que quando entendida corretamente, a industrialização apresenta-se como o caminho mais direto para a evolução dos processos construtivos e da tecnologia no campo das edificações.

Após a desarticulação do Sistema Financeiro da Habitação (SFH) e da conseqüente diminuição dos financiamentos para os empreendimentos habitacionais, os sistemas construtivos industrializados foram sendo abandonados gradativamente, tornando-se escassos. Porém, a partir destas primeiras experiências de industrialização, ficou evidente que os processos tradicionais não atenderiam a demanda habitacional, mas poderiam vir a ser melhorados em muitos de seus aspectos, agregando a experiência observada nos processos industrializados, como por exemplo no sentido da organização (FRANCO, 1992).

2.1.2. Racionalização da construção e racionalização construtiva

“A racionalização da construção é o processo dinâmico que torna possível a otimização do uso de recursos humanos, materiais, organizacionais, tecnológicos e financeiros, visando atingir objetivos fixados nos planos de desenvolvimento de cada país e de acordo com a realidade sócio-econômica própria” (SABBATINI, 1989).

Sabbatini ainda diferencia a racionalização da construção (do setor da construção), da racionalização construtiva (das operações de construção), definindo esta última como “um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases”. Assim sendo, a racionalização construtiva caracteriza-se como a principal ferramenta para a industrialização.

Franco (1992) aponta a aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos, esclarecendo que o caminho para a industrialização do setor da construção no Brasil não pode ser a total substituição de sua base produtiva por uma base totalmente industrializada, sendo necessário primeiramente a busca pela organização do setor através de medidas de planejamento voltadas para a racionalização.

Sabbatini (1989) desenvolveu uma classificação para os processos construtivos na qual é possível observar a trajetória evolutiva no sentido da industrialização:

- *Processos tradicionais*: “baseados na produção artesanal, com uso intensivo da mão-de-obra, baixa mecanização com elevado desperdício de mão-de-obra, material e tempo”.

- *Processos racionalizados*: “aqueles que incorporam princípios de planejamento e controle, tendo como objetivo eliminar desperdícios, aumentar a produtividade, planejar o fluxo de produção e programar as decisões”.

- *Processos industrializados*: “baseados no uso intensivo de componentes e elementos produzidos em instalações fixas e acopladas no canteiro, vinculados ainda a todos os fatores de organização, desempenho e incremento da produtividade”.

Segundo Ferreira (1999), a racionalização pode ser aplicada a qualquer método, processo ou sistema construtivo, devido à sua característica de oferecer soluções racionais aos problemas propostos. No caso de um processo construtivo tradicional, significa a implantação de medidas de padronização de componentes, simplificação de operações e aumento da produtividade com redução de desperdícios pela eliminação de procedimentos corretivos e de ajustes de componentes. No entanto, são medidas que só podem ser especificadas e detalhadas em projeto.

2.1.3. Racionalização e projeto

Para atingirem o efeito desejado, as medidas de racionalização devem ser adotadas inicialmente na etapa de projetos. O projeto funcionando como idealizador do empreendimento, apresenta as condições ideais para a implementação da estratégia construtiva, pois tem o potencial de agregar todos os condicionantes do processo produtivo.

Franco (1992) afirma que a obtenção de bons resultados dentro de um empreendimento dependerá da cuidadosa elaboração do projeto arquitetônico, pois este estabelece o partido geral do edifício, condicionando o desenvolvimento de todos

os demais projetos. Afirma ainda que o projeto arquitetônico não deve ser solucionado meramente sob aspectos estéticos, pois é na realidade um problema orgânico e diretamente ligado aos materiais e tecnologias construtivas.

O incremento do nível de industrialização através da racionalização construtiva, a otimização de recursos, o aumento da produtividade e a aplicação dos princípios da qualidade na utilização da tecnologia de painéis pré-fabricados estão intimamente ligados à qualidade no desenvolvimento do projeto, tanto no que se refere à definição do produto final, como do seu processo de produção. (OLIVEIRA, MELHADO & SABBATINI, 2001).

2.2. Pré-fabricação

Decorrente da racionalização, o emprego de componentes pré-fabricados coloca-se como uma tendência na Construção Civil. Utilizados intensivamente quando são necessárias construções em grande escala, os pré-fabricados aparecem significativamente no período pós 2ª Guerra Mundial, de forma intensiva na Europa, com a necessidade de reconstrução de cidades inteiras.

“Considerada como a manifestação mais significativa da industrialização da construção, a pré-fabricação é uma fabricação industrial de partes da construção, capazes de serem utilizadas mediante ações posteriores de montagem” (ORDONÉZ *apud* OLIVEIRA, 2002).

Transformando a construção num processo simplificado de montagem, os pré-fabricados são estruturas previamente processadas, que podem ser produzidas em grande escala em fábricas, ou em escalas menores em canteiros-de-obras, de acordo com o porte de cada empreendimento.

Pode-se portanto dizer que a pré-fabricação se configura num instrumento de grande potencialidade para se obter o incremento do nível de industrialização dos processos construtivos.

No Brasil, a construção pré-fabricada ainda é empregada em pequena escala, atingindo predominantemente médias e grandes obras, sendo ainda o preço um fator decisivo para a não utilização. Em contrapartida, o tempo de execução pode vir a favorecer sua utilização. O custo pode parecer maior a princípio, mas o tempo final de

conclusão da obra, por ser mais rápido, acaba por compensar o empreendimento da tecnologia pré-fabricada, com a redução final dos gastos com mão-de-obra, materiais e transporte dos mesmos (AQUOTTI & MARTINS, 2001).

2.2.1. Flexibilidade na pré-fabricação

A pré-fabricação está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série, os quais deverão ser entendidos, analisando-se de forma mais ampla as relações de produção envolvidas e a mecanização dos meios de produção. Desta forma, o processo de pré-fabricação fica caracterizado basicamente como um modo produtivo organizado e de natureza repetitiva. Entretanto, a repetitividade não deve ser entendida estritamente dentro de seu caráter de modelos físicos, como foi interpretado nos primórdios da instalação dos processos industriais. Este caráter foi levado às últimas conseqüências no setor da construção, pelos pioneiros dos processos industrializados, resultando na repetição massificada dos edifícios dos primeiros conjuntos habitacionais (BRUNA *apud* FRANCO, 1992).

Para este mesmo autor, a repetitividade deve ser encarada a partir da constante interação de modelos operativos com diversos conteúdos de informação. Ao variarem as informações, são produzidas modificações, até mesmo dimensionais, nos objetos a serem produzidos. Têm-se então condições para variar as dimensões do sistema construtivo, sem variar significativamente o sistema de produção, configurando um sistema de fabricação com ajustes modulares, que venham a possibilitar uma flexibilidade formal compositiva. Esta segunda forma de encarar a repetitividade abre espaço para a produção de elementos e componentes em série de maneira industrial, que podem ser associados em composições variadas, dependendo do talento criador do projetista.

2.2.2. Projeto para pré-fabricação

A obtenção da qualidade e produtividade na fabricação e utilização dos painéis pré-fabricados está fundamentalmente atrelada à uma análise complexa, e sua evolução como tecnologia inovadora depende de diversos fatores, como o nível de integração do projeto no processo de produção global e a sua contínua

retroalimentação, inclusive com dados obtidos das experiências já conduzidas anteriormente (OLIVEIRA, MELHADO & SABBATINI, 2001).

Estes mesmos autores propõem que a elaboração dos projetos dos painéis pré-fabricados desenvolvam-se em três fases, as quais são interligadas e interdependentes. Transcrevem-se abaixo, na íntegra, as três fases propostas pelos autores:

- *1ª fase*: “Interface com as demais disciplinas de projeto”;
- *2ª fase*: “Interface com a produção na fábrica”;
- *3ª fase*: “Interface com a produção no canteiro de obras”.

“Na primeira fase, elaboram-se os anteprojetos com a modulação dos painéis, devendo ser consideradas o quanto antes as interferências existentes entre os vários anteprojetos, e as possíveis soluções, escolhendo a que apresentar o maior grau de industrialização dentro de uma visão global do processo construtivo do edifício”.

“A segunda fase engloba o anteprojeto dos painéis, no que se refere a aspectos de sua produção propriamente dita e ao projeto do processo interno à sua fabricação. A organização do pátio é a primeira parte desta fase, onde se procura visualizar os layouts da fábrica, seguida do desenvolvimento dos anteprojetos de produção, onde se estabelecem os materiais a serem utilizados nas diversas etapas, como será executado o controle e inspeção, criando indicadores e parâmetros de aceite ou não de algum serviço e, ainda, a otimização da movimentação tanto da mão-de-obra como dos equipamentos”.

“A terceira fase refere-se à interface Projeto-Produção no canteiro de obras e tem como finalidade antecipar e direcionar as atividades a serem desenvolvidas neste. Portanto, esta fase objetiva a montagem dos painéis de forma racional, utilizando seu potencial de industrialização”.

“O sucesso do empreendimento dependerá da eficácia do gerenciamento da equipe de projeto/produção e da eficiente comunicação e interação desses profissionais. Além destas medidas indicadas, outras deverão ser implementadas na fase de projetos para se obter um elevado nível de racionalização do processo, tais como a simplificação destes através de medidas como: a padronização, a repetição e a coordenação modular”.

2.3. Sistema modular na construção

2.3.1. Normalização

Por definição, “a normalização é a regulamentação de qualquer fenômeno de produção com o intuito de obter sua ordenação racional e unívoca. Em outras palavras, a normalização se propõe a obtenção de produtos idênticos, aplicando a mesma tecnologia, permitindo a sua permutabilidade: estabelece portanto uma linguagem comum constituída de símbolos e termos, define os objetos, seu campo de aplicação, seus característicos básicos, as tolerâncias de fabricação e seus limites, as normas de uso e desempenho e os controles e métodos de ensaio” (ROSSO, 1976).

Ao se considerar a edificação/produto como um sistema e as suas partes como subsistemas, por sua vez constituídos de unidades elementares representadas pelos componentes intermediários, a normalização estabelece entre os sub-sistemas e as suas unidades, vinculações que os tornam organicamente relacionados com o todo. Este relacionamento proporciona a unidade, continuidade e congruência do processo e do produto final (ROSSO, 1976).

2.3.2. O conceito de módulo

Encontra-se a seguinte definição no dicionário Aurélio:

“[Do lat. *modulu.*] S.m. 1. Medida reguladora das proporções de uma obra arquitetônica. 2. Quantidade que se toma como unidade de qualquer medida. (...) 4. Unidade (de mobiliário, de material de construção, etc.) planejada segundo determinadas proporções e destinada a reunir-se ou ajustar-se a outras unidades análogas, de várias maneiras, formando um todo homogêneo e funcional (...)”.

O módulo é uma medida utilizada como unidade padrão, à qual se sujeitam as dimensões do projeto a fim de simplificar e ordenar seu desenvolvimento e facilitar a execução da obra. Seu emprego é essencial quando são utilizados materiais pré-fabricados (FERREIRA, 1999).

Um sistema de módulos deve ser entendido como um sistema de referência e de orientação tanto para o processo de planejamento como também para o processo de execução.

O módulo na arquitetura é uma unidade de medida convencional adotada para estabelecer dimensões, proporções (na fase de concepção) e organizar a construção de elementos de um determinado organismo arquitetônico (ROSSO, 1976). Qualquer que seja o seu valor, ele é adotado como unitário. A utilização de módulos na arquitetura há muito é estimulada. Como unidade de medida remonta desde a Antigüidade para a função estética. Seu uso na atualidade apresenta finalidades técnicas, utilitárias e construtivas. (ACRÓPOLE, *apud* MACHADO, 1999).

Desde a revolução industrial, arquitetos e engenheiros de várias escolas e nacionalidades, tais como Walter Gropius, Ernest Neufert e Le Corbusier, sensíveis às novas modificações geradas pela industrialização crescente e pela produção em massa, começaram a submeter o processo arquitetônico a um profundo trabalho de revisão para colocar os recursos da industrialização ao serviço de uma nova revolução, a social, cujos anseios deveriam ser satisfeitos (ROSSO, 1976). Desde então, o estudo e a aplicação da coordenação modular assumiram um caráter universal e passaram a ser conduzidos em nível de cooperação internacional.

2.3.3. Coordenação dimensional

No momento em que se qualifica o espaço, atribuindo-lhe condições de habitabilidade, representadas por requisitos de segurança, higiene e conforto, tornando-o tangível, este espaço está sendo dimensionado (ROSSO, 1976).

Para este mesmo autor, o objeto arquitetônico é uma entidade concreta na qual identificam-se espaços disponíveis (ambientes) e espaços ocupados (invólucros). A coordenação dimensional faz a compatibilização das dimensões dos espaços disponíveis e dos espaços ocupados de forma racional e orgânica.

A coordenação dimensional não deve ser entendida meramente como um instrumento geométrico, mas também como um instrumento físico e econômico. Não está apenas vinculada à composição arquitetônica, mas também à tecnologia e à produção (ROSSO, 1976).

A coordenação dimensional é uma prática que tem reflexos em praticamente todas as etapas do empreendimento pois, se por um lado permite a introdução de procedimentos padronizados na execução e aumenta a precisão com que se produz a obra, facilitando a introdução de técnicas que exigem maior precisão, por outro agiliza a

execução do projeto, já que possibilita a criação de métodos de execução e a padronização de detalhes (FRANCO, 1992).

Este mesmo autor aponta as seguintes vantagens proporcionadas pela adoção da coordenação dimensional:

- Simplificação da atividade de elaboração do projeto;
- Padronização dos materiais e componentes;
- Possibilidade de normalização, tipificação, substituição e composição entre os componentes padronizados;
- Diminuição dos problemas de interface entre os componentes, elementos e subsistemas;
- Facilidade na utilização de técnicas pré-definidas, facilitando inclusive o controle de produção;
- Redução dos desperdícios com adaptações;
- Maior precisão dimensional;
- Diminuição de erros da mão-de-obra, com o conseqüente aumento da qualidade e produtividade.

Desde que a coordenação dimensional utilize uma unidade de medida representada por um módulo-objeto, ela passa a ser uma coordenação modular.

2.3.4. Coordenação modular

Quando a coordenação dimensional faz uso de uma dimensão básica para coordenar o tamanho de todos os componentes e equipamentos do edifício, esta passa a ser regida por um módulo, e denominada de coordenação modular. Logo, a coordenação modular é um instrumento geométrico, físico e econômico que tem por

função compatibilizar dimensionalmente os espaços disponíveis e ocupados de uma edificação. Enquanto instrumento de projeto, tem por objetivo contribuir para a melhoria da qualidade do mesmo, facilitando a concepção, elaboração e construção das edificações (ANDRADE, 2001).

Rosso (1976) caracteriza ainda a coordenação modular como uma metodologia sistemática de industrialização.

Segundo a NBR5731, “a coordenação modular é a técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência”.

A utilização da coordenação modular requer o estabelecimento de um sistema que coordene as dimensões do projeto, aliado ao ordenamento racional dos componentes de construção, em suas partes e totalidade. Para que isso ocorra, a coordenação modular faz uso de três princípios, considerados como fundamentais: o sistema de referência, o módulo e o ajuste modular (ANDRADE, 2001).

As seguintes definições são encontradas na NBR5731:

- *Sistema de referência*: “formado por pontos, linhas e planos aos quais devem relacionar-se as medidas e posições dos componentes da construção”.
- *Módulo básico*: “Distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência”.
- *Ajuste modular*: “Medida que relaciona a medida de projeto com a medida modular”.

Na construção com painéis pré-fabricados, as dimensões destes deverão se coordenar com a malha modular, sendo então definidas em múltiplos dos módulos horizontais e verticais, ficando assim todas as medidas coordenadas planimetricamente e altimetricamente.

Com a modulação, a padronização é estabelecida para os componentes construtivos, criados a partir da razão do módulo de referência e multimódulos, considerando as tolerâncias das junções necessárias no ajuste modular.

2.3.5. Ajuste modular

Ao se estabelecerem as operações de colocação, associação e montagem de um componente numa posição previamente estabelecida no projeto e univocamente relacionada com o sistema de referência, deve-se observar que este componente de forma geométrica definida, está sujeito à variações dimensionais em relação às medidas modulares, decorrentes de erros de fabricação e de posição, ou de dilatações, contrações, deformações originadas por fenômenos físico-químicos, posteriores à montagem e que exigem portanto um jogo na união. Requisitos funcionais das juntas por sua vez podem obrigar a respeitar determinadas espessuras mínimas de suas cavidades (ROSSO, 1976).

Segundo a NBR5731, “ajuste modular é uma medida que relaciona a medida de projeto com a medida modular. Deve ser determinado pelo tipo de união, pela natureza e superfície dos materiais a unir, pelas características intrínsecas dos elementos que se utilizem na união e pela necessidade de se obter o ajuste das medidas dos componentes da construção com o reticulado espacial de referência” (Ilustração 2.1.).

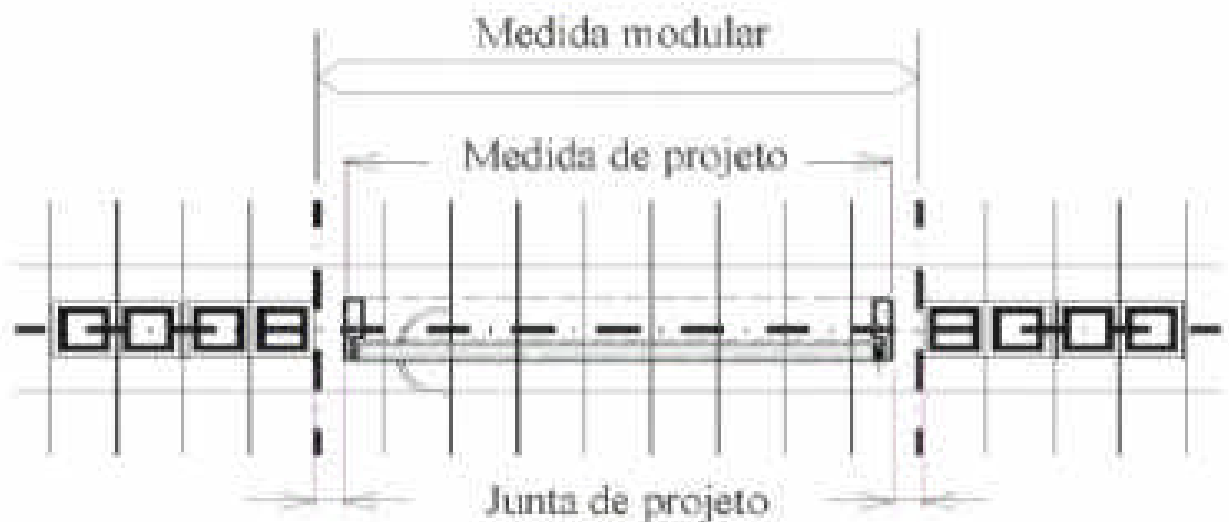


Ilustração 2.1. Representação de uma porta num projeto modular (ANDRADE, 2001)

2.3.6. Vantagens da modulação

Têm-se como objetivo principal da aplicação de sistemas modulares na construção, a possibilidade de se racionalizar todo o empreendimento, desde o planejamento até a execução.

São listadas abaixo as vantagens de projetar com os princípios da modulação (BNH *apud* FERREIRA, 1999):

- Simplificação do projeto arquitetônico, de instalações e estruturas, e das operações de execução (marcação da obra é facilitada pelo reticulado modular);
- Facilita a melhoria da compatibilização dos projetos;
- Proporciona intercâmbio nacional e internacional das tecnologias de construir e desenvolve inovações nos materiais;
- Permite flexibilização;
- Reduzem falhas porque implicam em sistema de montagem através de seqüências operacionais repetitivas;
- Simplifica a elaboração do projeto pela apresentação no quadriculado modular de referência;
- Simplifica a execução da obra pela racionalização do traçado, da posição e montagem de seus elementos.

Franco (*apud* Machado, 1999) aponta ainda as seguintes vantagens:

- Aumento de precisão da produção, facilitando a normalização;
- Diminuição da variedade e número de peças complementares produzidas e empregadas, facilitando a padronização e a produção em série;

- Introdução de procedimentos padronizados, que agilizam a execução;
- Facilidade no controle da produção;
- Redução de perdas, de peças especiais, evitando cortes, quebras de componentes, enchimentos e improvisação na execução, e ajustes no canteiro;
- Abre caminho para importantes medidas de racionalização, como a utilização de formas modulares para execução das lajes;
- Utilização de uma sistemática de projeto baseada em regras definidas, isto é, além de facilitar a elaboração do próprio projeto, permite a utilização de um pequeno número de detalhes;
- Facilidade da mão de obra em assimilar estes detalhes.

Como resultado do uso efetivo da coordenação modular, tem-se a normalização dos elementos de construção, aumentando o nível de industrialização do processo.

2.3.7. Representação gráfica de projetos modulares

A representação gráfica utilizada nos projetos modulares é diferente da empregada nos projetos convencionais, pois valoriza uma maior interação entre o produto e a produção e facilita a articulação entre os diferentes projetos e a leitura dos mesmos (ANDRADE, 2001).

Nesse sentido, é importante que o projeto, em sua concepção, vislumbre a articulação de cada componente entre si e com o edifício. Para isso é necessária a elaboração do projeto sob o sistema de referência, valorizando a disposição e articulação dos componentes no edifício e seu processo de produção.

A representação do projeto sob um sistema de referência apresenta como vantagens a comodidade para a elaboração do desenho e, principalmente, a facilidade para coordenar a posição e a dimensão de todos os componentes da construção (ANDRADE, 2001).

Quando a distância entre as linhas de referência e os planos paralelos de um sistema de referência é medida em termos de módulo (M), ou múltiplo de um módulo (multimódulo: $n \times M$), tem-se então um sistema modular de referência denominado de Reticulado espacial modular de referência (Ilustração 2.2.)

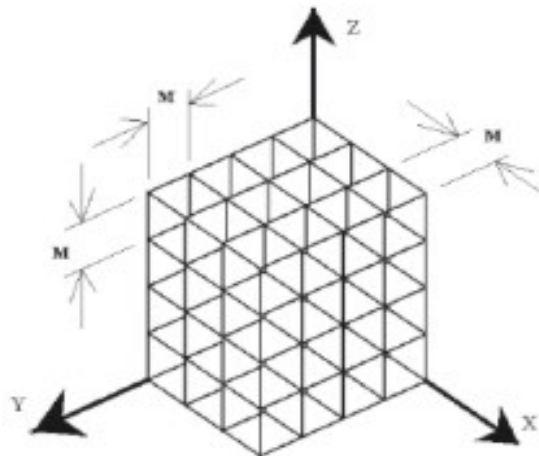


Ilustração 2.2. Reticulado espacial modular de referência (ANDRADE, 2001)

Segundo a NBR5731, “o 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 paralelos a três planos ortogonais dois a dois”.

A projeção dos três planos ortogonais do reticulado espacial modular de referência, dada nos planos paralelos ao mesmo, define a base do sistema de referência em coordenadas cartesianas a duas dimensões. Assim, além de um sistema espacial modular de referência, três projeções, caracterizadas por coordenadas cartesianas, vão definir o quadriculado modular de referência (Ilustração 2.3.).

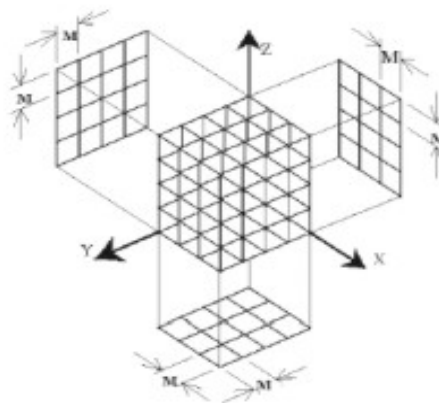


Ilustração 2.3. Quadriculado modular de referência (ANDRADE, 2001)

Segundo a NBR5731, “o quadriculado modular de referência é o quadriculado com espaçamento entre suas linhas igual a 1M”.

A função do quadriculado modular de referência é de fazer a representação gráfica do projeto por meio da sua projeção em duas dimensões, estabelecendo os planos ortogonais, horizontais e verticais, simplificando a leitura, facilitando a visualização e a compatibilização dos diferentes projetos (ANDRADE, 2001). Pode-se observar que a maioria dos programas CAD (computer aided design) tornam simples a tarefa de representação dos projetos em um sistema modular espacial de referência, uma vez que incorporam malhas modulares em suas plataformas de trabalho.

Ao analisar as formas de representação gráfica dos projetos modulares, observa-se a importância em articular o desenho dos componentes ao desenho do projeto, concebendo o primeiro como uma entidade vinculada ao segundo. A representação de ambos em um único sistema espacial de referência, enquanto instrumento gráfico, permite essa articulação viabilizando associar o edifício a um padrão de dimensão caracterizado por um módulo ou seu múltiplo (ANDRADE, 2001).

É conveniente destacar que a substituição das formas de representação convencionais, bidimensionais, abstratas e desvinculadas de uma prática construtiva por uma que contemple a concepção e elaboração dos projetos sob um sistema espacial modular de referência tem como vantagens: a redução do tempo de projeto; a melhoria do entendimento das relações dimensionais dos componentes e da construção; o aumento da integração entre os diferentes profissionais de projeto, na medida em que os componentes poderão ser sobrepostos em um único projeto, facilmente visível; a elaboração do desenho e a produção dos vários elementos da construção em CAD, de forma conjunta com a produção industrial; a redução do retrabalho; a redução do tempo de montagem dos componentes; entre outras vantagens (ANDRADE, 2001).

2.3.8. Aplicação da modulação para o projeto com painéis

A altura dos painéis deve guardar uma coerência dimensional com o processo como um todo, e com todas as dimensões dos elementos da escala industrial. As dimensões do componente bloco indicarão as alturas possíveis de serem estabelecidas. Estas deverão ser em função da compatibilidade com outros

componentes, como a dimensão e a locação de aberturas , intersecções, ou atendimento de requisitos legais como dimensão do pé direito dos edifícios e outras medidas altimétricas.

Os painéis devem se coordenar com a malha modular, ou seja, estes elementos ou subsistemas deverão ser constituídos de múltiplos ou submúltiplos das medidas modulares, respeitadas as devidas tolerâncias para cada situação.

Além da consideração das dimensões dos painéis, para o dimensionamento dos compartimentos, o projetista deve levar em conta o processo construtivo, principalmente no sistema de amarração dos painéis, para atender requisitos de ordem estrutural, sem comprometer a produtividade na execução, nem tornar complexo o desenvolvimento dos projetos (MACHADO, 1999).

Deve-se considerar que a obediência de todos subsistemas à modulação leva a necessidade de se trabalhar com uma precisão acima da comumente utilizada nos edifícios convencionais. Se por um lado isto pode parecer desvantagem, por outro os pequenos custos e esforços adicionais decorrentes deste aumento da precisão são amplamente compensados pela diminuição dos desperdícios provocados pelas improvisações (MACHADO, 1999).

2.4. Painéis pré-fabricados

Pode-se conceituar os painéis pré-fabricados como elementos de alvenaria que são previamente processados (MITIDIARI FILHO & CAVALHEIRO, 1988) em local próprio (em fábrica ou no próprio canteiro-de-obras), sendo posteriormente direcionados à obra já prontos, aguardando o processo de montagem. Constituem-se em elementos de vedação verticais ou horizontais, podendo atuar como envoltória externa, compartimentação interna ou separação entre unidades.

Quanto à sua sustentação no edifício, os painéis pré-fabricados podem ser:

- *Vedação*: Necessitam de uma estrutura reticular de suporte.
- *Estruturais*: Funcionam estruturalmente, recebendo as cargas da edificação.

2.4.1. Alvenaria estrutural com painéis pré-fabricados

“A alvenaria estrutural é conceituada como um processo construtivo que se caracteriza pelo emprego de paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras, como principal estrutura suporte dos edifícios, dimensionadas segundo métodos de cálculos racionais e de confiabilidade determinável. Neste processo construtivo, as paredes constituem-se ao mesmo tempo nos subsistemas estrutura e vedação. A simplicidade resultante deste fato traz inúmeras vantagens, possibilitando a racionalização destes processos” (FRANCO, 1992).

A alvenaria estrutural para prédios de vários pavimentos tornou-se uma opção de construção largamente empregada no mundo, devido a vantagens como flexibilidade de construção, economia, valor estético e velocidade de construção. A grande vantagem que a alvenaria estrutural apresenta é a possibilidade de incorporar facilmente os conceitos de racionalização, produtividade e qualidade, produzindo ainda construções com bom desempenho tecnológico aliado a baixos custos (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).

A alvenaria estrutural nos últimos 30 anos, devido aos extensos trabalhos de pesquisa, à imaginação de projetistas e à grande melhoria da qualidade dos materiais, apresentou maiores e mais visíveis avanços do que qualquer outra forma de estrutura usada na construção (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).

Os painéis estruturais pré-fabricados demonstram claramente estes avanços. Estes painéis consistem, a grosso modo, em trechos de alvenaria estrutural, que são previamente processados, transformando a execução da obra em apenas um processo de montagem, haja visto que estes são concebidos sob os preceitos da coordenação modular, otimizando a construção e lhe conferindo maior racionalização do processo construtivo.

No Brasil, a partir da década de 90, os setores industrial, comercial e hoteleiro passaram a utilizar alguns tipos de painéis pré-fabricados em seus empreendimentos, sendo estes tanto de vedação, quanto estruturais, configurando o ressurgimento do interesse por estes processos construtivos. Isto se deu não devido a uma política de desenvolvimento tecnológico para o setor da construção industrializada, mas sim ao arrojo de alguns empresários interessados no avanço da industrialização (OLIVEIRA, 2002).

Neste trabalho serão abordados apenas os painéis cerâmicos estruturais, enfocando-se apenas os aspectos arquitetônicos e construtivos das tipologias que resultam da utilização destes painéis.

2.5. Cerâmica estrutural

2.5.1. Histórico

Materiais cerâmicos são ainda considerados como os mais desejados para a produção de paredes de habitações (ROMAN, 2000), sendo os mais tradicionalmente empregados na construção civil. Sua origem reporta-se à Antiguidade onde, na Mesopotâmia, em 5000 A.C., já eram solidificados tijolos ao sol. A partir de 3000 A.C. surgiram os primeiros fornos para a sua queima. Com o passar dos anos, os componentes cerâmicos foram assumindo formas e dimensões diversas, principalmente após a invenção da primeira “máquina modeladora”, entre 1850 e 1860, por Frederico Schlickeysen, acionada por um cavalo e com a produção de 1500 peças por dia. A partir daí começaram a ser produzidos os componentes cerâmicos vazados, com furos circulares, triangulares, etc., com o auxílio de uma máquina conhecida como extrusora (MITIDIÉRI FILHO & CAVALHEIRO, 1988).

Esses componentes cerâmicos sempre foram empregados em alvenaria, processo construtivo consagrado pelo seu uso na construção civil.

A construção mediante a utilização de estruturas cerâmicas, que forma parte da tradição da maioria das civilizações, mantendo sua hegemonia durante séculos, foi sendo substituída progressivamente desde meados do século XIX, por sistemas mais industrializados, e de maior capacidade resistente. As estruturas cerâmicas mostraram suas insuficiências estruturais quando a arquitetura precisou, para seus novos programas e suas novas formas, sistemas que exigiam uma resistência a tração, que era inexistente nas estruturas cerâmicas até então (SARRABLO, 2001).

Não obstante, com a introdução de armaduras nestas estruturas, foi possível dotá-las de resistência aos processos de tração e flexão, melhorar sua resistência à compressão e superar muitas das limitações que relegavam-nas a mera função de vedação, possibilitando que estas estruturas cobrissem maiores vãos, suportando

maiores cargas e obtendo maior esbeltez que em situações anteriores (SARRABLO, 2001).

Este mesmo autor apresenta a seguinte cronologia a respeito da utilização da cerâmica armada:

- A introdução de armaduras em estruturas cerâmicas aparece já no séc. XVIII, quando se realizam os grandes pórticos neoclássicos de pedra.
- Um século mais tarde, em 1836, Marc Brunel conduz as primeiras investigações sobre a influência dos reforços de aço no comportamento estrutural de vigas de cerâmica armada mediante a realização de ensaios.
- Salvo no caso anterior (pouco comum), esta técnica não se desenvolve muito até o século XX, quando os danos provocados por uma catástrofe com o terremoto de Long Beach em 1933 impulsiona o surgimento das normas anti-sísmicas que obrigam na Califórnia a armação das estruturas.
- A partir desta regulamentação, aumentam as investigações e se incrementam as construções com este sistema por todos EUA. Ainda assim, são nas últimas duas décadas que este tema ganhou maior notoriedade, tanto nos EUA como na Europa.
- Na década de 80, novos requerimentos e especificações para a construção com estruturas de cerâmica armada são elaborados, principalmente nos EUA e Europa, a partir dos quais se passa a ter uma considerável bibliografia sobre o tema.
- Da década de 40 até a década de 90, o engenheiro uruguaio Eládio Dieste edificou no Uruguai, Brasil e Argentina, mais de um milhão de metros quadrados de coberturas laminares com cerâmica armada. Suas ousadas coberturas de até 50 metros de vão com material cerâmico revelam uma obra que vai além da bibliografia técnica, quase inexistente, se comparada com a atenção prestada com as coberturas semelhantes de concreto armado.

- Na década de 90, cresce na Europa uma progressiva sensibilização pelas novas possibilidades da cerâmica armada, mais precisamente a partir da 9ª Conferência Internacional sobre a construção com estruturas de tijolos e blocos, realizada em Berlim, em 1991. Em 1994 são realizados os primeiros trabalhos de Dieste em solo Europeu, que permitem valorar a rentabilidade de suas técnicas fora da América Latina, em um país com uma mão-de-obra mais qualificada, fruto da rentabilidade econômica do país.

Há pelo menos duas décadas, com o avanço da industrialização da construção, observa-se o surgimento dos processos de pré-fabricação de alvenaria estrutural de elementos cerâmicos, podendo estes ser totalmente pré-fabricados, ou parcialmente pré-fabricados combinando-se com os processos de construção convencionais.

Os painéis cerâmicos pré-fabricados vêm sendo desenvolvidos principalmente nos Estados Unidos e na Europa. Empregam tijolos maciços ou blocos vazados, sendo utilizados tanto para paredes como para lajes de cobertura; tanto em edificações térreas, como prédios de apartamentos, edifícios públicos, etc., em formas e dimensões bastante variadas.

No Brasil algumas experiências também vêm sendo realizadas, sendo algumas apresentadas mais adiante.

2.5.2. Vantagens dos materiais cerâmicos

Sarrablo (2001), aponta as seguintes vantagens que podem ser obtidas mediante a utilização de materiais cerâmicos:

- As construções com materiais cerâmicos demonstram um elevado conforto higrotérmico devido às excelentes propriedades físicas da cerâmica na regulação da temperatura e umidade ambiental.

- É uma solução ecologicamente vantajosa: a produção de elementos cerâmicos consome menor energia do que, por exemplo, a produção do ferro ou do concreto; O componente principal da cerâmica, a argila, é abundante na natureza, e sua extração não provoca contaminações.

- Materiais cerâmicos apresentam preços extremamente competitivos no mercado em relação à outros materiais, tais como concreto e ferro.
- Após serem extrudados, os materiais cerâmicos não requerem nenhum tratamento ou acabamento superficial para atingir um aspecto satisfatório.
- Sua manutenção é mínima devido a estabilidade química da cerâmica e os reparos parciais são fáceis devido à composição modular dos componentes.
- Oferecem uma excelente resistência ao fogo e, em geral, um bom comportamento frente às solicitações térmicas.

2.5.3. A importância de Eládio Dieste para a cerâmica estrutural

Em pleno auge das lâminas de concreto armado dos anos 40 e 50, o engenheiro uruguaio Eládio Dieste (1917-2000) aproveita os conhecimentos dessa época e consegue um comportamento laminar com cerâmica armada (SARRABLO, 2001).

Dieste, convencido das possibilidades ainda não exploradas da cerâmica estrutural, e evitando importar tecnologias não aptas para os recursos de seu país, inaugura um novo sistema de construção que permite cobrir os mesmos vãos que com as lâminas de concreto armado, mas com um custo mais adequado às possibilidades econômicas de um país como o Uruguai (SARRABLO, 2001).

O trabalho expressivo de Eládio Dieste explora a capacidade resistente da alvenaria armada, através do uso de formas elaboradas e complexas (FRANCO, 1992). Seu trabalho faz a perfeita união entre a arquitetura e a forma estrutural. Conhecendo profundamente os aspectos físicos dos materiais de construção e também os métodos capazes de elaborar formas complexas que atingem grande expressão estética, grande resistência e grande estabilidade, este engenheiro uruguaio conseguiu substituir a "onipresente" casca de concreto utilizando uma alternativa mais econômica e mais rápida: o tijolo armado. Com esta reinterpretação contemporânea do material cerâmico, Dieste consegue, através de inovações tecnológicas aplicadas às técnicas construtivas tradicionais, obter o mesmo efeito plástico que até então só havia sido possível com a utilização do concreto armado (Ilustração 2.4.). As cascas de alvenaria eram leves,

construídas com menos cimento, e poderiam ser erguidas anteriormente à construção (MACHADO, 1999).



Ilustração 2.4. Igreja de Atlântida (SARRABLO, 2001)

2.6. Painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados

2.6.1. Vantagens da pré-fabricação de painéis cerâmicos

Os processos de construção em painéis pré-fabricados de cerâmica tem sido utilizados cada vez mais em países como Inglaterra, Estados Unidos da América, Alemanha e outros. O uso deste método de construção visa, ao mesmo tempo, conservar as vantagens funcionais e estéticas das construções em alvenaria e eliminar os problemas mais sérios deste processo, ou seja, perdas de tempo devido às condições climáticas desfavoráveis, dificuldade de implementação de métodos de estocagem de materiais e dificuldade de controle de qualidade (ROMAN, 2000).

Os processos de pré-fabricação de painéis podem ser total ou parcial. Os painéis de alvenaria convencional produzidos fora do canteiro, têm sido propostos e realizados nos casos em que o fator tempo é prioritário. Estes procedimentos exercem influência direta nos empreendimentos habitacionais, uma vez que permitem a redução de custos e a manutenção do cronograma físico dentro dos prazos estipulados. No caso dos painéis pré-fabricados serem armados ou protendidos, as vantagens residem na possibilidade das cargas da construção serem transferidas diretamente para os

painéis, reduzindo custos e tempo de construção e diminuindo o número de trabalhadores no canteiro.

ROMAN (2000) lista as seguintes vantagens obtidas com os processos de pré-fabricação de painéis cerâmicos:

- Menor custo de construção, tanto para painéis estruturais quanto para painéis de vedação;
- Benefícios financeiros pela antecipação da construção, ocupação e vendas;
- Aumento do controle de qualidade associado a maior velocidade de construção e produção efetiva de elementos simultaneamente;
- Possibilidade de construção sem restrições climáticas;
- Diminuição de custo e de desperdício pela replicação e transparência do processo;
- Maior efetividade na monitoração do produto com eliminação de desperdício;
- Possibilidade de uso de sistemas de fixação padronizados para os painéis de alvenaria;
- Possibilidade de fabricação de painéis com os acabamentos todos incorporados;

As vantagens listadas acima parecem suficientes para justificar a opção pela industrialização, através da pré-fabricação dos processos em alvenaria de materiais cerâmicos. Este passo permitirá, ao mesmo tempo em que se atende a preferência dos usuários pelas habitações em alvenaria cerâmica, incorporar ao processo maior velocidade, controle de qualidade mais efetivo e maior redução de custos. A necessidade de uso de elementos padronizados, levará necessariamente ao aperfeiçoamento da cadeia produtiva, desde o produtor do material cerâmico,

passando pelo fornecedor de argamassa e atingindo os fornecedores de elementos de fixação, acabamentos, etc.

O setor cerâmico nacional poderá beneficiar-se, através da possibilidade de oferta de um processo competitivo e, finalmente, o Brasil será inserido dentro de uma tendência mundial de diminuição dos trabalhos em canteiro como alternativa para diminuição de desperdícios e custos combinados com aumento de produtividade e qualidade final da habitação (ROMAN, 2000).

2.6.2. Experiência internacional

São descritas a seguir algumas experiências internacionais na pré-fabricação de painéis cerâmicos estruturais que foram encontradas na bibliografia. Poderão ser observadas algumas das vantagens destes processos, enumeradas anteriormente.

- *Placa cerâmica protendida*

Desde os anos 70 utiliza-se na Espanha um sistema que industrializa a solução tradicional para lajes de cobertura com vigotas de concreto armado e lajotas de elementos cerâmicos (Ilustração 2.5.). O sistema consiste em substituir a montagem separada das peças (primeiro vigotas, depois lajotas) por painéis pré-fabricados que já possuem todas as peças unidas e solidarizadas, com exceção da camada de compressão. Além das nervuras longitudinais de concreto armado, são fundidas na peça também as nervuras transversais de concreto, que conferem rigidez transversal à placa (SARRABLO, 2001).



Ilustração 2.5. Placa cerâmica pré-tensionada (SARRABLO, 2001)

- *Abobadas pré-fabricadas ARCAve*

A empresa Alemã ARCAve está especializada na construção de abobadas cerâmicas para porões mediante a união de placas pré-fabricadas, cuja diretriz de seção forma uma envolvente contínua de paredes retas que se curvam configurando uma abobada semi-circular (Ilustração 2.6.)/(SARRABLO, 2001).



Ilustração 2.6. Abobadas pré-fabricadas ARCAVE (SARRABLO, 2001)

Pode-se se visualizar o processo em questão como uma variante curvada das placas cerâmicas protendidas comentadas anteriormente. As lajotas munidas de aletas inferiores criam a possibilidade da formação de nervuras bidirecionais de concreto armado. As dimensões da seção são variáveis, mas compõem-se basicamente pela mesma peça cerâmica. Os vãos obtidos vão de 1,80 à 9,00 metros, com raios de curvatura de 0,9 à 4,5 metros.

Observa-se aqui um bom exemplo de flexibilidade na pré-fabricação. Os painéis produzidos apresentam dimensões variadas, sem variar significativamente o sistema de produção, configurando um sistema de fabricação com ajustes modulares, que vêm permitir uma flexibilidade formal e compositiva. Os painéis podem ser associados em composições variadas, dependendo do talento criador do projetista (Ilustração 2.7.).



Ilustração 2.7. Dimensões variáveis do sistema construtivo (SARRABLO, 2001)

- *Painéis pré-fabricados Vet-O-Vitz Inc.*

A empresa Vet-O-Vitz, situada na costa leste dos Estados Unidos, é especializada na pré-fabricação de painéis de alvenaria. Os painéis são produzidos em fábrica mediante processo convencional de assentamento de tijolos. A novidade consiste na inserção de uma moldura metálica durante o assentamento dos tijolos cerâmicos, fixada à estes mediante um processo de grauteamento, que confere reforços verticais e horizontais e serve de elemento de fixação na estrutura do edifício (Ilustrações 2.8. e 2.9.). Em 30 anos de experiência no assunto, a empresa realizou aproximadamente 300 projetos que utilizam a tecnologia em questão. O fato das paredes serem erguidas na fábrica aumenta o controle de qualidade sobre este processo, permitindo produção de detalhes melhor elaborados, redução de custos com os eventuais desperdícios, redução do tempo de construção no canteiro de obras e descongestionamento de pessoal no mesmo (HOBBS; DAWOOD, 2000).



Ilustrações 2.8. e 2.9. Elemento de fixação e processo de fabricação (HOBBS; DAWOOD, 2000)

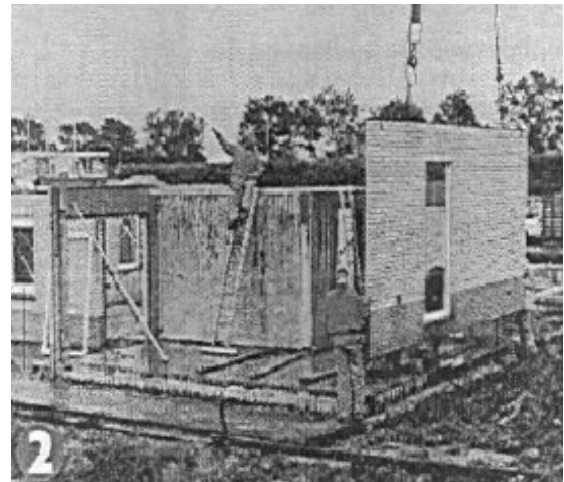
- *Painéis pré-fabricados Sterk Bouw Elementen Ltd*

A empresa Holandesa Sterk Bouw Elementen Ltd produz painéis pré-fabricados de alvenaria cerâmica para habitações de interesse social na Holanda. Os painéis do tipo “sandwich” são produzidos com as aberturas e todos os acabamentos incorporados. A estratégia da empresa consiste na transferência de todas as ações construtivas para dentro da fábrica (Ilustração 2.10.).

Trabalhando a partir do projeto arquitetônico, a produção em fábrica pode ser programada para corresponder com as atividades do canteiro de obras. Melhores

condições de trabalho combinadas com velocidade e métodos de produção consistentes asseguram a qualidade do processo no momento certo.

O projeto habitacional consiste na combinação entre painéis de parede “sandwich”, pisos pré-fabricados de concreto e painéis de cobertura de madeira. Neste sistema uma casa pode ser erguida em apenas um dia (Ilustrações 2.10. e 2.11.).



Ilustrações 2.10. e 2.11. Painéis “sandwich” na fábrica e locação na obra (HOBBS; DAWOOD, 2000)

2.6.3. Experiência nacional

Segundo a mesma linha do item anterior, são descritas a seguir algumas experiências nacionais na pré-fabricação de painéis cerâmicos estruturais que foram encontradas na bibliografia consultada.

- *Processo desenvolvido por Joan Villà*

Histórico/Antecedentes:

O processo construtivo idealizado por Joan Villà é sempre designado como tecnologia desenvolvida pelo Laboratório de Habitação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Apesar da maior parte do desenvolvimento ter ocorrido nesta instituição, há de se lembrar que os primeiros desdobramentos da proposta desenvolvida por Joan Villà iniciaram-se no Laboratório de Habitação do curso de Arquitetura da Faculdade de Belas Artes de São Paulo, já em 1982, tendo também a participação de outros profissionais na sua concepção e desenvolvimento, tais como os

arquitetos Paulo Milanez, Ana Lucia Müller, João Marcos Lopes, Mario Luiz Attab Braga, Roberto Pompéia e Yopanan Rebello (BRAGA, 2004).

Nessa época de muitos movimentos sociais pela habitação, a população exigia soluções de auto-gestão para a produção habitacional. Neste contexto, o Laboratório entrava com os serviços de engenharia e arquitetura, objetivando o desenvolvimento de propostas inovadoras para a habitação de interesse social. “Visualizava-se o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias adequadas aos nossos materiais, nossa mão-de-obra, nosso instrumental e nossos recursos de capital” (BRAGA, 2004).

Optou-se pela cerâmica vermelha pelas qualidades tradicionais deste material, e também por este se apresentar como um material conhecido e aceito pela população. Na investigação de tecnologias diferenciadas em cerâmica vermelha, descobriu-se que no Uruguai, boa parte das cooperativas de construção por ajuda mútua já vinham edificando habitações com tecnologia de pré-fabricação de painéis cerâmicos estruturais com tijolos maciços, sendo estes empregados para confecção de lajes. Observando de perto tal experiência, Villà resolveu aplicá-la no Brasil, substituindo os tijolos maciços por blocos vazados, que são mais leves, e aplicá-la não somente para confecção de lajes, mas para outros sub-sistemas da edificação, tais como paredes, escadas, etc. (BRAGA, 2004).

Começou a ser desenvolvida então uma tecnologia de pré-fabricação que buscava a diminuição de custos e aumento da velocidade da construção através da industrialização do processo artesanal de alvenaria. Objetivava-se o desenvolvimento de técnicas simplificadas de fácil aprendizagem, para serem empregadas em mutirões, por mão-de-obra com pouca ou nenhuma capacitação técnica (BRAGA, 2004).

No ano de 1984, o momento econômico ocasionou o fechamento do Laboratório de Habitação da Faculdade de Belas Artes. Foi quando Villà transferiu-se para a Universidade Estadual de Campinas, iniciando-se a fase em que o processo construtivo teve seu maior desenvolvimento (BRAGA, 2004).

De Janeiro de 1985 à Setembro de 1985 o Laboratório de Habitação da UNICAMP desenvolveu somente painéis de laje para substituição das lajes tradicionalmente utilizadas nas construções populares, pretendendo-se maior qualidade e menor custo do produto em relação aos produtos oferecidos pelo mercado. Sua destinação e emprego inicial se deram na Vila do Arco Íris, um núcleo de 86 unidades habitacionais (MINTER/PNUD, 1989).

De Setembro de 1985 à Março de 1986 o Laboratório desenvolveu as outras tipologias de painéis (parede, cobertura e escada), e com eles ficou definida a família de painéis que viriam a permitir posteriormente a produção de unidades térreas e de pavimentos, definindo uma pré-fabricação cerâmica integral (MINTER/PNUD, 1989).

De Março de 1986 a Março de 1987 realizou-se a produção de uma série de sete protótipos. Os dois primeiros protótipos, um térreo e outro com dois pavimentos, foram montados num canteiro experimental. Os demais foram edificados em diversos locais dentro de um contexto físico e social idêntico ao das futuras situações a que o trabalho como um todo se destinava, podendo-se assim verificar a assimilação da tecnologia por parte da mão-de-obra não especializada (MINTER/PNUD, 1989).

De Julho de 1986 a Março de 1987 desenvolveram-se, com o mesmo processo de pré-fabricação cerâmica, sistemas estruturais designados a vencer vãos adequados às necessidade de equipamentos urbanos comunitários (MINTER/PNUD, 1989).

De Julho de 1987 em diante inicia-se a construção em escala para atender a convênios firmados com instituições públicas (prefeituras e governos estaduais), bem como associações de moradores e sindicatos de trabalhadores, podendo-se citar como exemplos alguns conjuntos residenciais nas cidades de Duartina-SP, Socorro-SP e Veranópolis-RS. Dentro do próprio campus da UNICAMP, uma forte demanda propiciou a construção da Moradia Estudantil (Ilustrações 2.12. e 2.13.), da Moradia dos funcionários e de equipamentos públicos, como restaurante e creche, todos eles com o mesmo sistema de pré-fabricação em cerâmica vermelha (BRAGA, 2004).

O laboratório continuou por mais alguns anos, mas viria a ser fechado quando a tecnologia entrou em desuso por motivos de ordem social e política. A proposta inicial de se trabalhar com mutirões fracassou, pois verificou-se de acordo com o peso dos painéis, a necessidade do emprego de equipamentos de içamento. As trocas de administração e divergências entre interesses políticos também determinaram a falta de interesse pela proposta. Outro motivo que levou a tecnologia ao desuso foi o fato desta não ter buscado continuamente seu aprimoramento tecnológico. As deficiências em evidência acabaram diminuindo o interesse social pela proposta (BRAGA, 2004).

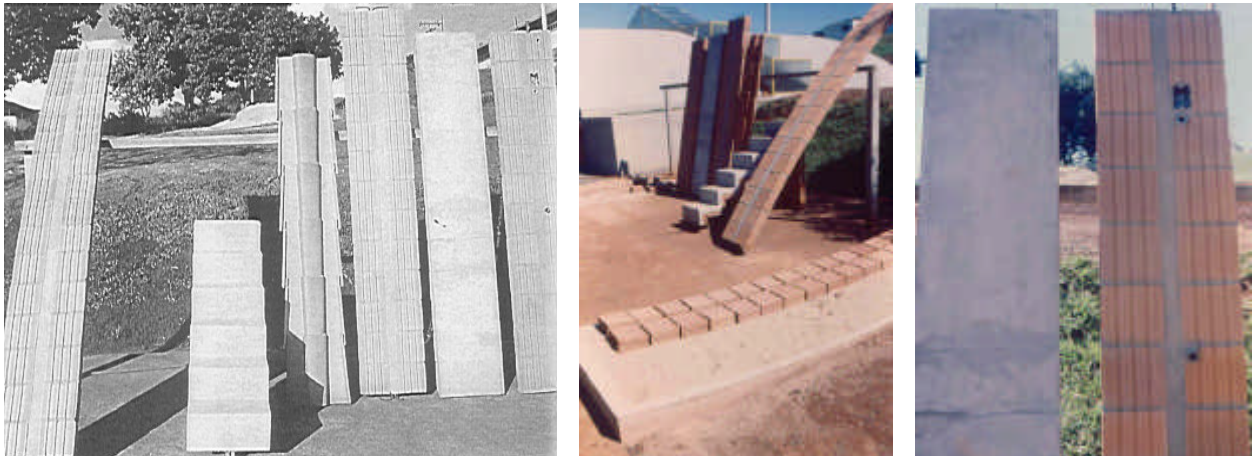
Ao sair da UNICAMP, Villà levou com ele a patente, passando a empregá-la em empreendimentos para o setor privado. Recentemente Villà empregou sua tecnologia num conjunto residencial em Cotia-SP, trazendo certo aprimoramento tecnológico em relação ao tipo de material empregado (BRAGA, 2004).



Ilustrações 2.12 e 2.13. Moradia Estudantil (PROJETO/DESIGN, 2001)/(COX; FERNANDES, 1998)

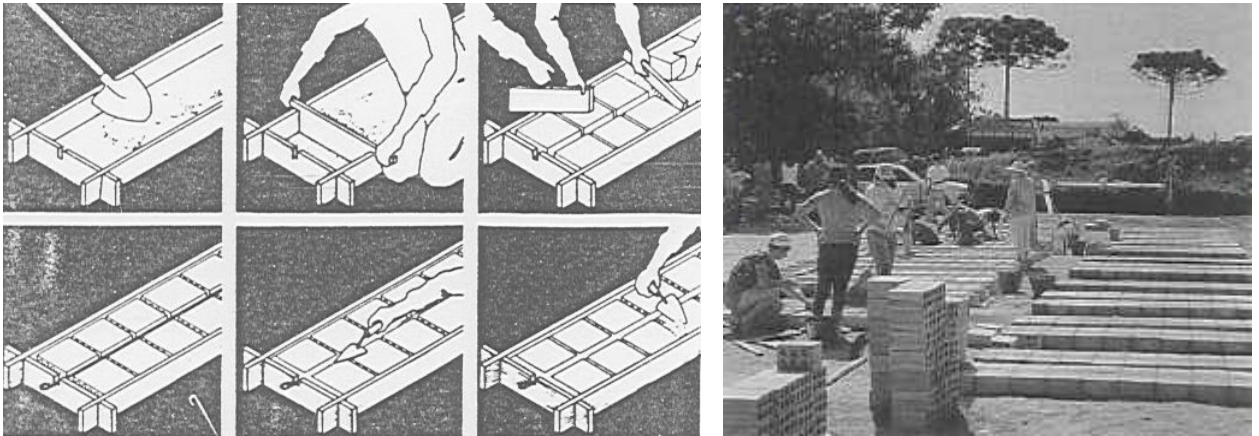
Descrição da tecnologia:

O processo baseia-se na coordenação modular de materiais tradicionais de cerâmica vermelha, como blocos e telhas, para composição de painéis modulares. A família de painéis ficou definida com as seguintes tipologias construtivas: painéis de cobertura curvos, painéis de cobertura com telhas, painéis de escada, painéis de parede estrutural, painéis de parede de vedação, painéis de parede com instalações embutidas e painéis de laje plano para forro e piso (Ilustrações 2.14., 2.15. e 2.16.).



Ilustrações 2.14., 2.15. e 2.16. Tipos de painéis (ARQ. PANAMERICANA, 1993)/(BARTH, 1992)

A produção dos painéis pode ser realizada em “usinas”, fora ou dentro do próprio canteiro de obras. Todos os painéis apresentam o mesmo padrão construtivo, sendo pré-fabricados na posição horizontal, mediante utilização de formas e gabaritos simples (Ilustrações 2.17. e 2.18.), obtendo-se painéis acabados (revestidos) ou semi-acabados (não revestidos), prontos para montagem final (BRAGA & LOPES, 1985).



Ilustrações 2.17. e 2.18. Fabricação dos painéis (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993)

Basicamente os painéis consistem na disposição de duas fileiras de elementos cerâmicos dispostos a junta prumo, solidarizados por uma nervura central de concreto armado (Ilustração 2.19.).

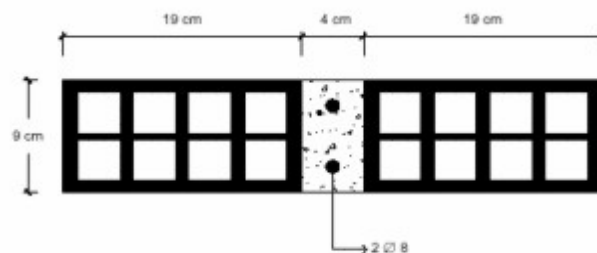


Ilustração 2.19. Seção transversal do painel de parede (SARRABLO, 2001)

Os blocos são dispostos com os furos no sentido longitudinal do painel, a fim de se obter uma melhor resistência à compressão para os painéis de parede.

O painel foi projetado para pesar 80kg e assim poder ser transportado manualmente por duas pessoas. Seu peso, no entanto, chegava a atingir até 100Kg, devido à penetração de concreto nos septos dos blocos (BRAGA, 2004).

- *Processo construtivo DOMINÓ*

A empresa Catarinense DOMINÓ também desenvolveu um processo construtivo em painéis cerâmicos estruturais para a pré-fabricação de casas para o setor privado. Os painéis são fabricados na posição horizontal, em formas metálicas, posicionadas em mesas metálicas basculantes. Uma primeira camada de argamassa de revestimento é adicionada dentro da forma, sendo os blocos cerâmicos assentados

sobre esta. É resguardado um espaço em todo perímetro externo do painel para ser fundido neste um reforço estrutural em concreto armado. Posteriormente é adicionada a camada de revestimento superior (Ilustrações 2.20., 2.21., 2.22. e 2.23.).



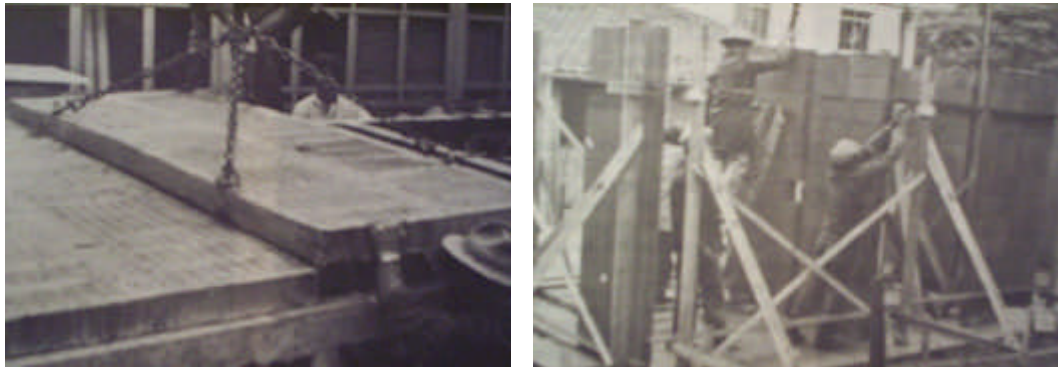
Ilustrações 2.20. e 2.21. Processo construtivo DOMINÓ (BARTH, 2002)



Ilustrações 2.22. e 2.23. Habitações construídas com o processo DOMINÓ (BARTH, 2002)

- *Processo construtivo IPT*

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), procurando reduzir os trabalhos a serem executados junto à obra, desenvolveu também um processo para habitações térreas unifamiliares com painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados. O processo conta com painéis de parede e de cobertura, com funções múltiplas de estruturação, vedação, isolamento termo-acústico e acabamento, constituídos basicamente por blocos cerâmicos vazados, concreto armado e argamassa (Ilustrações 2.24. e 2.25.). O processo é destinado basicamente a habitações populares, podendo sua aplicação ser adaptada a outros níveis de estratificação social mediante o emprego de materiais mais nobres durante a fabricação, que pode ocorrer tanto em canteiros-de-obra, como também em usinas (MITIDIARI & CAVALHEIRO, 1988).



Ilustrações 2.24. e 2.25. Processo desenvolvido pelo IPT

2.7. Tipologias

2.7.1. Conceito de tipo

“A palavra tipo não representa tanto a imagem de uma coisa a ser imitada perfeitamente quanto a idéia de um elemento que deve, ele mesmo, servir de regra ao modelo. O modelo, entendido segundo a execução prática da arte, é um objeto que se deve repetir tal como é. O tipo é, pelo contrário, um objeto segundo o qual cada um pode conceber obras, que não se assemelharão entre si” (QUINCY *apud* ROSSI, Aldo, 1995).

Pode-se dizer ainda que o tipo é a própria idéia de arquitetura, aquilo que está mais próximo da sua essência. É portanto aquilo que, não obstante qualquer mudança, sempre se impôs ao sentimento e a razão, como o princípio da arquitetura e da cidade. A tipologia é a idéia de um elemento que desempenha um papel próprio na constituição da forma e que é uma constante (ROSSI, Aldo, 1995).

O tipo vai então se constituindo de acordo com as necessidades e com as aspirações de beleza; único mas muito variado em sociedades diferentes, ele está ligado à forma e ao modo de vida (ROSSI, Aldo, 1995).

2.7.2. Tipologias das habitações de interesse social no Brasil

Nas habitações de interesse social brasileiras, a principal característica das tipologias empregadas até então, é que estas são definidas priorizando-se unicamente o redutivismo espacial, o que vem a resultar sempre em arranjos simplistas e

ambientes padronizados de dimensões mínimas, deixando-se de lado toda outra consideração funcional ou vivencial que poderia vir a responder ao conceito de projeto arquitetônico (LUCINI, 1996).

“A homogeneização tipológico-produtiva setorizada é um fato incontestável na habitação de interesse social. O BNH, na sua política habitacional, chegou a um nível tal de padronização na produção da habitação pública periférica que eliminou a necessidade (portanto a existência) do projeto arquitetônico e urbanístico (sem falar do tecnológico e produtivo), edificando em todo o país quase 4 milhões de unidades (térreas e de 4 pavimentos), com poucas tipologias básicas” (LUCINI, 1996).

Em geral, a filosofia do extinto BNH de certa forma ainda é reproduzida pelos órgãos financeiros que estão atuando na produção de habitações de interesse social. Numa rápida análise pode-se fazer dois levantamentos distintos quanto às tipologias empregadas: O primeiro seria quanto aos aspectos formais e o segundo quanto à distribuição de suas partes, ou configuração do layout interno.

Quanto aos aspectos formais, pode-se via de regra, observar as tipologias existentes nos programas habitacionais da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU) para exemplificar o que tem sido edificado no país: casas térreas isoladas, casas térreas geminadas, casas sobrepostas, casas térreas dispostas em fita, sobrados, sobrados renqueados, sobrados dispostos em fita, prédios verticais isolados e prédios verticais isolados sobre pilotis (Ilustrações 2.26. à 2.31.).



Ilustrações 2.26., 2.27. e 2.28. Casas térreas isoladas, geminadas e casas sobrepostas (CDHU, 1997)



Ilustrações 2.29., 2.30. e 2.31. Sobrados renqueados e prédios verticais (CDHU, 1997)

Quanto ao layout interno, observa-se na grande maioria do território nacional a tipologia de 2 dormitórios, sala/cozinha e banheiro e subseqüentes variações, principalmente advindas das ampliações espontâneas ou mesmo previstas em projeto. Mas o fato é que a tipologia citada é a mais utilizada em função da pequena área em que os projetos têm que ser desenvolvidos.

Segundo Abiko & Faraco (1998), a diminuição das áreas das unidades habitacionais e o aumento do metro quadrado destas nos últimos 30 anos são fatores ocasionados pelos processos de aumento de preço da terra urbana e aumento de preço dos materiais de construção. A pouca disponibilidade de terra, entretanto, e seu alto custo, constituem o principal gargalo para a provisão de habitações populares.

O aumento dos custos de construção levou os órgãos financiadores da habitação no país a efetuar mudanças em seus padrões habitacionais, sendo a diminuição da área das unidades residenciais uma das mais importantes, conforme ocorrido com apartamentos de dois dormitórios, onde verificou-se uma queda da ordem de 15% da área útil entre 1976 e 1987. Outra mudança significativa ocorreu devido à grande valorização da terra urbana, decorrente da sua crescente escassez, levando ao aumento das densidades habitacionais. (ABIKO; FARACO, 1998).

Deste fato verifica-se o processo de redução qualitativa e dimensional, onde a grande maioria das tipologias habitacionais de interesse social nas últimas duas décadas apresentam sua metragem sempre em torno dos 22 à 36 m² (LUCINI, 1996).

2.7.3. Produto habitação homogêneo

Lucini (1996) afirma que na habitação de interesse social, a questão central passa hoje pela dissociação existente entre os parâmetros qualitativos (espaciais, ambientais e construtivos) e os critérios de racionalidade e produtividade necessários para viabilizar economicamente os empreendimentos habitacionais para baixa renda. Um dos reflexos dessa dissociação se reflete em um falso dilema: o dilema do máximo redutivismo qualitativo da construção, que se identifica como condição fundamental para viabilizar economicamente a habitação de interesse social.

Este mesmo autor Identifica “a falta de um sistema tipológico e produtivo intermediário, de menor custo que os edifícios em altura e as construções térreas unifamiliares, mas de alta densidade, que homogeneíze a abordagem da problemática

habitacional para diferentes faixas de renda e segmentos de mercado. Esse sistema tipológico e produtivo estaria dirigido a absorver uma demanda ampla de habitações de interesse social, como de habitações para classe média, desenvolvendo-se com técnicas e materiais uniformes e vinculado a uma codificação de edificações de alta densidade e compacidade. A diferenciação do produto entre segmentos de mercado estaria relacionada com os acabamentos, à possibilidade de autoconstrução parcial e de subsídios; áreas úteis e localização do edifício; e aos serviços complementares, mas a resposta a exigências qualitativas ambientais e construtivas deveria estar garantida em todas as opções”.

“O uso da alvenaria estrutural está erroneamente vinculado a edificações destinadas a faixas de clientes com baixo poder aquisitivo e com nenhuma capacidade de proporcionar flexibilidade de uso. Uma das formas de reverter este quadro é mostrar que com a mesma forma de produção do produto final, pode-se chegar a um bom nível de qualidade e de desempenho para diversos padrões destinados a segmentos de mercado diferenciados. Este processo de produção é chamado de Uniformidade Tecnológica e Produtiva” (LUCINI, 1996).

“Este conceito está se consolidando entre médias e grandes empresas construtoras para produtos dirigidos a diferentes segmentos do mercado, e baseia-se fortemente na racionalização e industrialização de técnicas e processos tradicionais, componentes especializados e fundamentalmente na flexibilidade produtiva para absorver as flutuações de mercado e as condições dos financiamentos para produção e consumo” (LUCINI, 1996).

2.7.4. Características formais x custos das habitações

A economia na construção de edificações pode ser obtida na fase de concepção, ou seja, na fase de anteprojeto e projeto, por meio de procedimentos simples e racionais como a organização racional do espaço, o dimensionamento rigoroso de seus componentes, o estudo da disposição de seus compartimentos e a observância de regras geométricas (ROSSO, 1978).

Segundo um estudo realizado pelo CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris), os espaços e suas vedações são responsáveis por 75% do custo da construção do edifício, sendo que os equipamentos representam os 25% restantes

(MASCARÓ, 1985). Este mesmo autor comprova, através de estudo específico, que os custos de construção se distribuem da seguinte maneira:

- 30% - elementos constituintes dos planos horizontais;
- 40% - elementos constituintes dos planos verticais;
- 25% - instalações (independentes das dimensões do edifício);
- 5% - trabalhos preparatórios.

Sendo de 40% a participação dos planos verticais dentro do custo total de construção, representada pela vedação e fracionamento do espaço, o mais lógico, quando se trata de adotar decisões econômicas, consiste na eliminação de paredes divisórias ou diminuição de seus custos (já que para elas existem projetos e materiais alternativos) e quase nunca a redução da superfície construída. O problema não é só o fator metros quadrados construídos, mas também, fundamentalmente, a forma como são desenhadas essas superfícies, ou seja, o tradicional problema da quantidade *versus* a qualidade do projeto e não só dos materiais (MASCARÓ, 1985).

A redução dos custos é buscada geralmente através da diminuição da qualidade através da escolha de materiais e tipo de execução e, pouquíssimas vezes, por meio da forma e tamanho dos locais, e, quando feita desta maneira, é equivocada na aplicação de conceitos já difundidos, porém não corretos, tais como a suposição de que a simples diminuição do tamanho de uma habitação reduza proporcionalmente seu custo (MASCARÓ, 1985).

Este mesmo autor exemplifica a importância da questão morfológica das edificações com reflexo nos custos, utilizando uma superfície quadrada de 1,0m x 1,0m (área = 1m² e perímetro = 4m). Supondo uma diminuição de 10% em sua área, que representa uma diminuição de 5% no perímetro (área = 0,9m² e perímetro = 3,8m) obtém-se a seguinte influência nos custos:

- Nos 25% dos custos ligados aos planos horizontais haverá uma redução de 2,5% nos custos;
- Nos 45% dos custos ligados aos planos verticais haverá uma redução de 2,2% nos custos;

- Os demais itens são praticamente independentes da superfície.

A redução total dos custos será de 4,7%, representando menos da metade da porcentagem de diminuição da superfície (10%).

Assim sendo, a utilização das formas compactas deve ser melhor explorada na busca pela redução nos custos de construção. A forma mais compacta seria a de planta circular, seguida pela forma de planta quadrada, até chegar à forma de planta regular alongada. Adotando-se a mesma área para as três plantas, observa-se que da primeira para a última, cresce o valor do perímetro, aumentando a quantidade de paredes necessárias (MASCARÓ, 1985). O mesmo princípio pode ser estendido à resolução de coberturas, ficando aqui o parecer de que as coberturas curvas deveriam ser melhor exploradas na construção civil brasileira.

Em se tratando de empreendimentos habitacionais sociais, “a organização de prismas retangulares dentro de terrenos pequenos e irregulares apresenta-se extremamente difícil e anti-econômica, particularmente pela área e custos das fachadas expostas e áreas residuais do terreno. A lógica recomendaria o contato lateral desses prismas para compor elementos maiores, que na organização mais econômica possível entre vazios e cheios nos levariam a compor novamente uma figura geométrica compacta intrinsecamente eficiente e de alto aproveitamento do recurso solo: um anel de base quadrada ou próxima ao quadrado (anel com maior espessura possível), rodeando uma área central vazia de dimensões coerentes com as exigências de iluminação, ventilação e percepção do espaço, atingindo o conceito de economia urbana das edificações perimetrais fechadas, identificadas pelas construções com pátio central, e numa escala maior, pelo quarteirão compacto” (LUCINI, 1996).

2.7.5. Flexibilidade tipológica

As mudanças ocorridas no mundo contemporâneo têm revelado a existência de novos grupos sociais, que vêm contrapor-se à família tradicional, para quem o espaço interno da habitação é dividido nos conhecidos setores social, íntimo e de serviço. Esta tipologia da unidade habitacional continua sendo reproduzida até hoje, com alterações pouco significativas e cada vez mais tem-se percebido a inadequação desse espaço frente às novas exigências humanas. O dinamismo da sociedade atual requer espaços

que possam se adaptar às modificações freqüentes, e esta realidade requer um maior empenho nos estudos referentes a este campo de atuação (SARRUF, 2002).

Além disso, sempre existirão gostos e necessidades diferenciadas e específicas entre os diferentes usuários e, dessa forma, um conceito que pode ser adotado nos projetos é o da flexibilidade (BRANDÃO & HEINECK, 1996).

A flexibilidade é a capacidade de um ambiente, de um edifício, ou de um espaço, coberto ou descoberto, de ser organizado e utilizado de diversos modos. A flexibilidade comporta a adaptabilidade funcional e de distribuição, e deve ser prevista na fase de projeto. O conceito de flexibilidade está ligado ao princípio de independência entre a estrutura e os elementos de divisão interna (Enciclopédia dell'Architettura Garzanti, *apud* ROSSI, Angela, 1998).

Sob aspectos compositivos, a flexibilidade pode ser descrita como a liberdade de reformular a organização do espaço interno, definido rigidamente por um vedo perimetral. Caracteriza-se pelo uso de divisórias não portantes, lajes planas, marginalização da área molhada em relação à seca e utilização de formas geométricas simples (BRANDÃO & HEINECK, 1998).

A flexibilidade tem sido adotada como um dos aspectos da inovação tipológica e tem sido a conseqüência das exigências qualitativas estabelecidas para o bem-estar social.

A importância do estudo da flexibilidade nas habitações está relacionada à questão da qualidade do projeto e se justifica na medida em que a individualização do morar tende a se acentuar cada vez mais nos países ocidentais bem como a partir de outras mudanças econômico-sociais. É importante ressaltar que as habitações flexíveis são tendências para os próximos quinze anos segundo estudos da comissão W82 do *CIB-International Council for Building Studies and Documentation*, (BRANDÃO; HEINECK, 1998).

Os arquitetos devem buscar conquistar um novo universo tipológico habitacional que tenha na flexibilidade do uso do espaço uma de suas principais características, devendo despertar para propostas inovadoras, não convencionais, que poderiam ampliar consideravelmente a flexibilidade habitacional do espaço construído, quebrando à grande rigidez dos espaços internos, notadamente verificado nas habitações das famílias de menor renda nas cidades (ROSSI, Angela, 1998).

A idéia de flexibilidade aplicada ao projeto da habitação de interesse social, deve ser entendida como a capacidade da edificação de se adequar a um leque de necessidades familiares específicas. Esta adequação passa pela possibilidade de transformação do edifício que, a partir do surgimento da necessidade e de condições financeiras favoráveis, pode ser modificada sem necessitar demolir parte da obra ou inviabilizar o uso da parte pronta. Este não é o quadro existente na grande maioria dos projetos para habitação unifamiliar realizados nos últimos decênios no país. A inadequação dos projetos originais impõem reformas de grande vulto já nos primeiros anos de ocupação, apenas para garantir um nível mínimo de habitabilidade (SZÜCS, 1998).

Rossi, Angela (1998) traz a seguinte classificação quanto às diversas possibilidades de flexibilização do espaço construído:

- *Flexibilização quanto ao dimensionamento do espaço arquitetônico*

Permite aos usuários a realização de modificações sem que isto represente uma total agressão à concepção arquitetônica original, pois o projeto já antecipa as distintas possibilidades de alterações. Será alcançada através de soluções espaciais abertas, tais como a não hierarquização dos cômodos e a integração entre a função de cozinhar e estar.

- *Flexibilização quanto à utilização/função do espaço*

Permite os distintos usos para um mesmo espaço construído, disponibilizando-o para atender tanto aos fins residenciais clássicos (sala ou quarto de uma residência) como a fins comerciais tais como a prestação de serviços, em consideração as possibilidades de uma moradia abrigar algumas atividades econômicas de seus moradores.

- *Flexibilização quanto ao processo construtivo empregado*

Trata-se de buscar conceber a construção sem a grande rigidez como a encontramos atualmente. Rigidez de paredes que não permitem mudanças na

configuração do espaço interno ou impedem reformas ou substituição de tubulações e outros requerimentos.

Junto com o estudo da flexibilidade, algumas restrições de ordem estrutural deverão ser adotadas para o projeto habitacional com painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos, uma vez que estes possuem função estrutural.

2.7.6. Recomendações estruturais para as tipologias com painéis

Franco (1992) recomenda as seguintes medidas para a elaboração do arranjo arquitetônico das construções em alvenaria estrutural:

- O partido arquitetônico deve procurar um equilíbrio, na distribuição das paredes resistentes por toda a área da planta. Caso contrário, os carregamentos podem concentrar-se em uma determinada região do edifício.
- Outro condicionante que deve ser contemplado pelo partido arquitetônico é a rigidez às cargas horizontais. O projeto de arquitetura deve estar atento para que se disponham as paredes estruturais de tal forma a obter estabilidade do edifício em todas as direções. Também importante no arranjo estrutural é a procura por plantas simétricas, que evitem o surgimento de tensões de torção quando se considera a estabilidade global dos edifícios aos esforços laterais.
- O problema da impossibilidade de remoção de paredes, que limita a flexibilidade funcional dos ambientes, pode também ser satisfatoriamente resolvido, se algumas poucas e determinadas paredes forem previamente classificadas como possíveis de serem eliminadas.
- Um outro ponto crítico quanto ao partido arquitetônico é o seu relacionamento com as instalações do edifício. A principal dificuldade resulta da impossibilidade de se “rasgar” as paredes estruturais para o embutimento das instalações. Assim, alguma alternativa deve ser utilizada, tais como emprego de tubulações aparentes, passagem das instalações por blocos especiais ou vazados, ou ainda utilização de shafts.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos, estabeleceu-se a seguinte trajetória para o desenvolvimento deste trabalho:

- *Levantamento de informações pertinentes ao tema:* realizada no capítulo anterior através da revisão bibliográfica, onde se procurou estabelecer as conceituações necessárias para o entendimento completo do assunto, além de buscar as referências e parâmetros necessários para o embasamento das recomendações arquitetônicas. Os tópicos vistos como necessários à compreensão do tema foram os seguintes:

- Industrialização e racionalização da construção;
- Pré-fabricação;
- Sistema modular na construção;
- Cerâmica estrutural;
- Painéis pré-fabricados cerâmicos estruturais;
- Tipologias.

- *Definição dos Estudos de casos:* levantamento das problemáticas da pesquisa, através da análise de obras que empregam processos construtivos semelhantes ao que está sendo desenvolvido, tendo em vista todas as questões que foram abordadas na revisão bibliográfica. A escolha, delimitada pela pouca quantia de experiências existentes, priorizou as experiências nacionais, tendo em vista a busca de parâmetros que melhor traduzam a realidade sócio-econômica brasileira.

A maioria dos estudos de casos concentra-se no processo desenvolvido por Joan Villà, que configura-se na experiência mais relevante que se tem conhecimento na pré-fabricação de painéis cerâmicos estruturais, em território nacional, para produção habitacional de interesse social. O desenvolvimento do processo GDA/LABSISCO/UFSC passa pelo caminho percorrido por Villà, procurando incorporar os aspectos positivos e melhorar as deficiências observadas, idealizando assim contribuir para a evolução da pré-fabricação da cerâmica estrutural. Nesta dinâmica, e

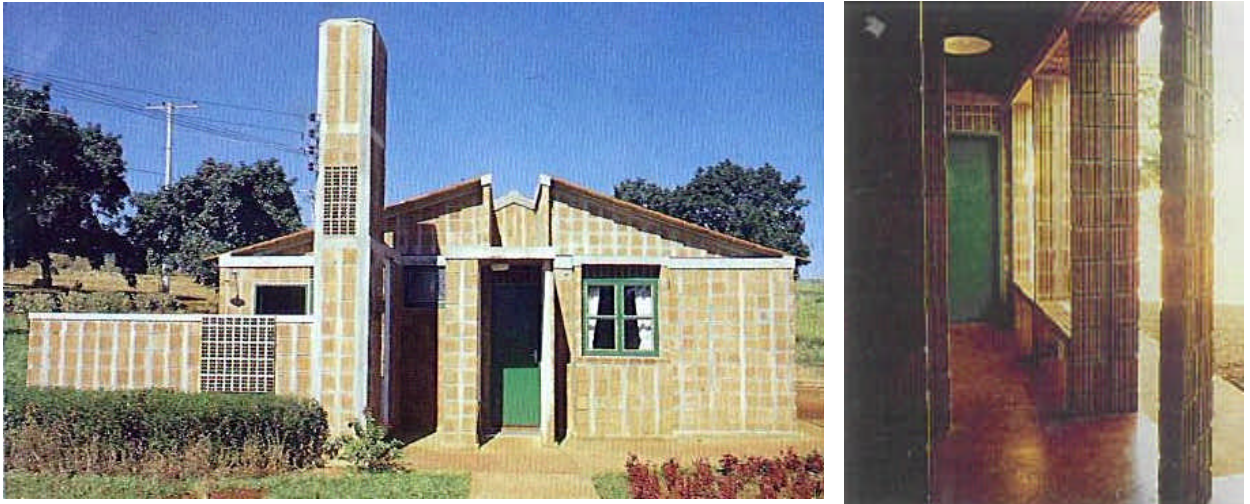
dentro do enfoque em andamento neste trabalho, procurou-se levantar os aspectos tipológicos de interesse nestas obras.

- *Análises arquitetônicas e construtivas*: objetivo principal deste trabalho, realizaram-se através da confrontação dos dados obtidos nos estudos de casos, organizando-se estas em tópicos específicos.

- *Conclusões*: Análises quanto ao cumprimento dos objetivos propostos e análises quanto às considerações gerais e específicas desenvolvidas no decorrer do trabalho, levando também ao fornecimento de algumas recomendações arquitetônicas e algumas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 4 – ESTUDOS DE CASOS

4.1. Estudo de caso nº 1 - Protótipo de casa térrea (UNICAMP)



Ilustrações 4.1. e 4.2. Protótipo de casa térrea da UNICAMP (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993)

Arquiteto: Joan Villà

Localização: Universidade Estadual de Campinas/Barão Geraldo/Campinas/SP

Ano de execução: 1986

Construção: Equipe do Laboratório de Habitação

Superfície construída: 60m²

Processo construtivo: Painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos

4.1.1. Características do projeto

- *Características gerais*

O primeiro protótipo edificado com o processo desenvolvido por Joan Villà foi realizado no canteiro experimental do Laboratório de Habitação da UNICAMP. O protótipo de uma casa térrea ficou conhecido como “Casinha da UNICAMP” (Ilustrações 4.1. e 4.2.), e teve uma grande repercussão naquela época, sendo escolhido pela ONU para reconstrução de áreas urbanas das cidades de Recife, Maceió, João Pessoa e Rio de Janeiro, atingidas pelas enchentes de 1985 e 1986 (ISTOÉ, 1988).

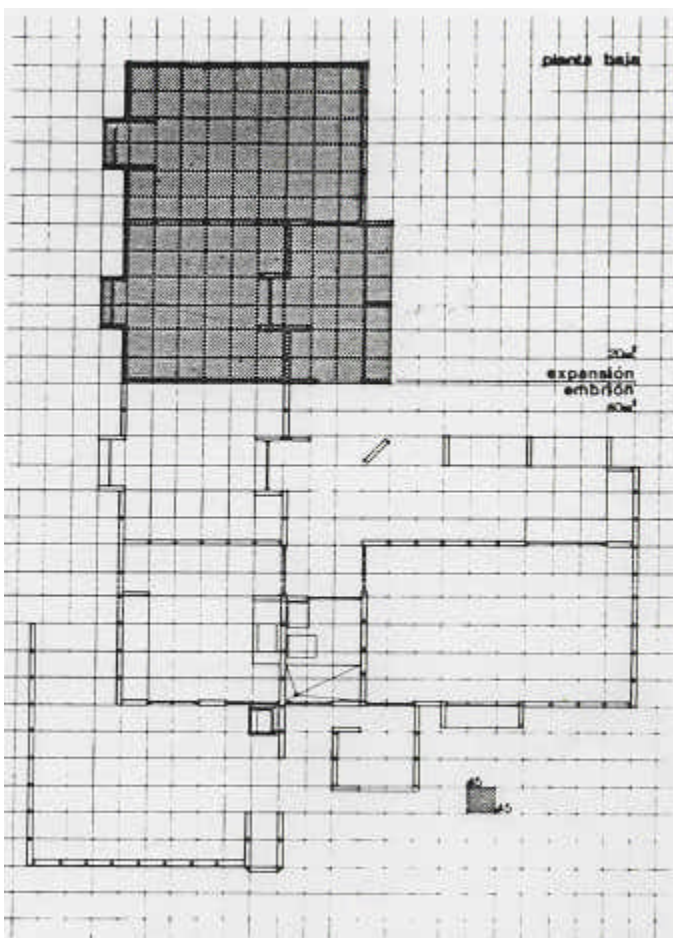
- *Características estruturais*

O sistema estrutural fica basicamente definido pela utilização de paredes portantes e paredes de contraventamento (Ilustração 4.3.), explorando-se também a utilização de enrijecedores estabilizadores, que são incorporados na malha modular.

O peso da cobertura é distribuído nas paredes portantes, sendo a amarração estrutural destas feita através da execução de uma cinta de concreto armado sobre os painéis. Os painéis de contraventamento distribuem as cargas horizontais.

- *Características espaciais e morfológicas*

O projeto possui certa flexibilidade, traduzida na previsão em projeto de futuras ampliações de acordo com as necessidades evolutivas dos moradores. Por esta razão, a planta evolutiva tem a configuração em “L”, podendo atingir até 60m² (Ilustrações 4.3. e 4.4.).



Ilustrações 4.3. e 4.4. Casa térrea: planta baixa e perspectiva aérea (BRAGA & LOPES, 1985)

O núcleo inicial de 40m² ocupa integralmente a parte frontal da parcela junto à rua, assegurando a definição do espaço público e a resolução definitiva das instalações da unidade e suas ligações com a rede pública, permitindo assim uma sensível diminuição de custos. Os acréscimos (20m²) se dão em direção ao fundo da parcela, definindo o espaço privado (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993).

O embrião inicial conta com sala, varanda, cozinha, banheiro e quarto, podendo ser acrescido com mais dois quartos (Ilustração 4.3.).

A solução flexível de disposição das áreas molhadas (cozinha, banheiro e lavanderia) de forma agrupada e junto à testada do lote evidencia a busca pela economia através da redução dos sistemas de distribuição de água e esgoto, diminuindo também a extensão das ligações destes sistemas às redes públicas. Assim sendo, são utilizados apenas quatro painéis de paredes com instalações embutidas, agrupados em uma única parede (Ilustrações 4.3. e 4.4.).

As fachadas apresentam aspecto rústico, conferido pelos blocos aparentes, e também um desenho geométrico quadriculado, conferido pelo posicionamento dos blocos a junta prumo nos painéis (Ilustrações 4.1. e 4.2.).

Na fachada frontal, destacam-se a torre de distribuição de água e energia e o muro que delimita o espaço da lavanderia. Nestes elementos constituintes do espaço, utilizaram-se os blocos para composição de elementos vazados, que se intercalam com os painéis, constituindo detalhes diferenciados à fachada (Ilustração 4.1.). Esta mesma solução de ventilação é utilizada acima das portas e janelas, como uma espécie de “bandeira” ventilada (Ilustração 4.1. e 4.2.).

Nas fachadas que definem o espaço privado da varanda, destaca-se a formação de um interessante espaço de convívio, definido pela criação de bancos, com os próprios painéis, amarrados nos pilares de sustentação da cobertura, evidenciando mais uma possibilidade arquitetônica explorada (Ilustrações 4.7. e 4.8.). O mesmo tipo de banco foi utilizado no espaço de espera, anexado à entrada da fachada frontal, enriquecendo ainda mais as soluções espaciais utilizadas.

O arranjo arquitetônico evidencia a devida preocupação com o desempenho estrutural da edificação, traduzido através da distribuição equilibrada dos painéis estruturais por toda área da planta.

O desenho das janelas, deslocadas à frente em relação as paredes que as contém, revela a utilização de paredes enrijecedoras, que são as que delimitam os

espaços para as janelas (Ilustrações 4.3. e 4.4.). Além de criarem maior resistência aos esforços de flexão, estes enrijecedores conferem uma estética diferenciada ao projeto (Ilustração 4.1.).

Sobre o espaço de espera, e sobre o banheiro, utilizou-se cobertura plana, enquanto que para o restante dos espaços, utilizou-se coberturas inclinadas (Ilustrações 4.5. e 4.6.).



Ilustrações 4.5. e 4.6. Casa térrea: espaço de espera e cobertura (BRAGA & LOPES, 1985)

- *Modulação*

A modulação horizontal utiliza a malha quadriculada de 45cm, que corresponde a 43cm da largura do painel de parede, ou de laje, e 2cm de junta vertical. A modulação vertical utiliza a malha quadriculada de 21cm, correspondente à altura de 19cm do bloco, mais 2cm de junta horizontal. A largura é constante em todo processo, sendo a altura a única dimensão variável do painel, determinada pela quantidade de elementos que venham a ser agrupados verticalmente, de acordo com as medidas altimétricas necessárias para definição dos espaços.

- *Função*

O protótipo, criado inicialmente com o caráter demonstrativo, passou a ser utilizado como o Núcleo de Desenvolvimento da Criatividade (NUDECRI) da UNICAMP, órgão ao qual o Laboratório de Habitação era vinculado.

4.1.2. Características do processo construtivo

- *Tipos de painéis utilizados*

Foram utilizados neste primeiro protótipo: painéis de parede, painéis de parede com instalações, e na cobertura foram utilizados os painéis de telhas de barro do tipo *plan* e os painéis de laje de forro plana (BRAGA, 2004).

Os painéis de parede são compostos por blocos cerâmicos (19x19x9cm) dispostos a junta prumo em duas fileiras, unidas por uma nervura central de concreto armado com duas barras de aço (cimento CP 32 e aço CA 50). As dimensões fixas do painel de parede são: largura = 43cm, espessura = 9cm. A altura é variável, de acordo com as medidas altimétricas estabelecidas (pé-direito = 2,5m, peitoril = 1,05m, etc.), conferindo um certo grau de flexibilidade produtiva.

Os painéis de parede são também utilizados na composição de outros elementos constituintes do espaço, tais como os pilares da varanda, a torre para distribuição de água e energia, e os oitões (Ilustrações 4.7. e 4.8.). A fabricação destes últimos necessita a tarefa adicional de serragem dos blocos para obter-se o grau de inclinação escolhido para a cobertura.



Ilustrações 4.7. e 4.8. Varanda e oitão do protótipo de casa térrea da UNICAMP

Neste primeiro protótipo os painéis de parede não receberam nenhum revestimento, ficando as fachadas externas e internas com os blocos aparentes. O tratamento impermeabilizante contra as intempéries se faz mediante a aplicação anual de silicone, que se mostra dispendiosa e cara.

Os painéis de parede com instalações são fabricados mediante o embutimento das instalações nos septos dos blocos (ilustração 4.9.), e possuem as mesmas dimensões dos painéis de parede.

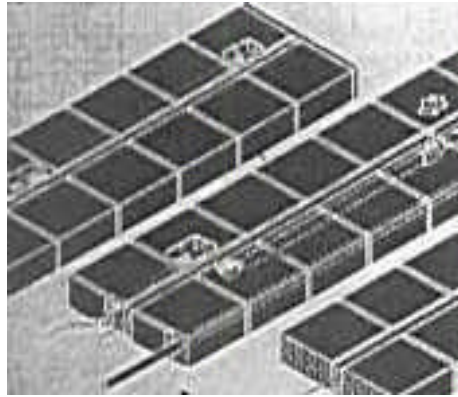
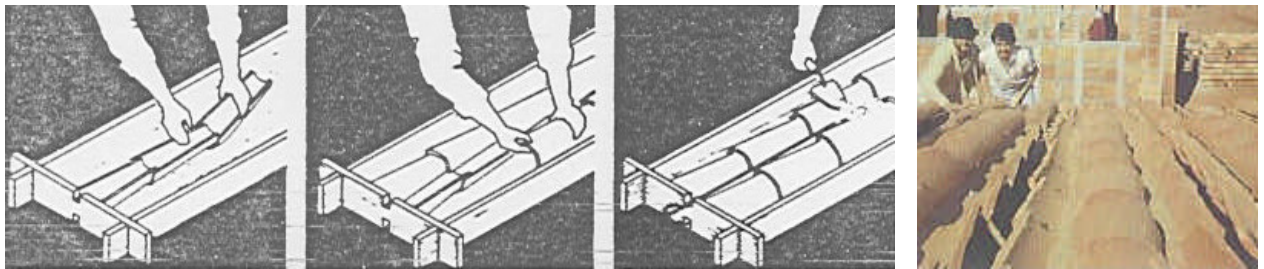


Ilustração 4.9. Painéis de parede com instalações (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993)

Os painéis de laje de forro plana basicamente são iguais os painéis de parede, variando apenas no comprimento e na proteção contra as intempéries, caracterizada nestes últimos com a aplicação de camada de revestimento na face exterior do painel.

Os painéis de telha utilizados na cobertura (Ilustrações 4.10. e 4.11.) são compostos por telhas do tipo *plan* dispostas paralelamente em três fileiras, unidas por uma nervura central de concreto armado com uma barra de aço (cimento CP 32 e aço CA 50). Suas dimensões são: comprimento = 5m e largura = 43cm.



Ilustrações 4.10. e 4.11. Painéis de telha: aspectos construtivos (ARQ. PANAMERICANA, 1993)

Os painéis de telhas foram considerados problemáticos, uma vez que as telhas se quebravam com facilidade, inviabilizando todo o painel.

- *Fundação*

Utilizou-se neste projeto a fundação do tipo radier, que consiste numa laje de concreto executada diretamente sobre a terra previamente regularizada.

- *Produção e Montagem*

O processo foi pensado com o intuito principal de ser aplicado em mutirões, sendo portanto composto por tarefas de fácil execução.

Os painéis foram todos produzidos no próprio canteiro-de-obras mediante a utilização de camas de areia e formas de madeira para conformação dos mesmos.

Preparada a cama de conformação e montada a forma de madeira, os elementos cerâmicos eram dispostos dentro desta, a junta prumo e sempre em duas fileiras paralelas, resguardando-se sempre o espaço da nervura central, e os espaços das juntas horizontais (Ilustração 4.12.). Posicionavam-se as duas barras de aço no espaço central, que excediam o comprimento da forma (previamente adaptada para esse procedimento) para deixar em espera as futuras amarrações (Ilustração 4.13.).

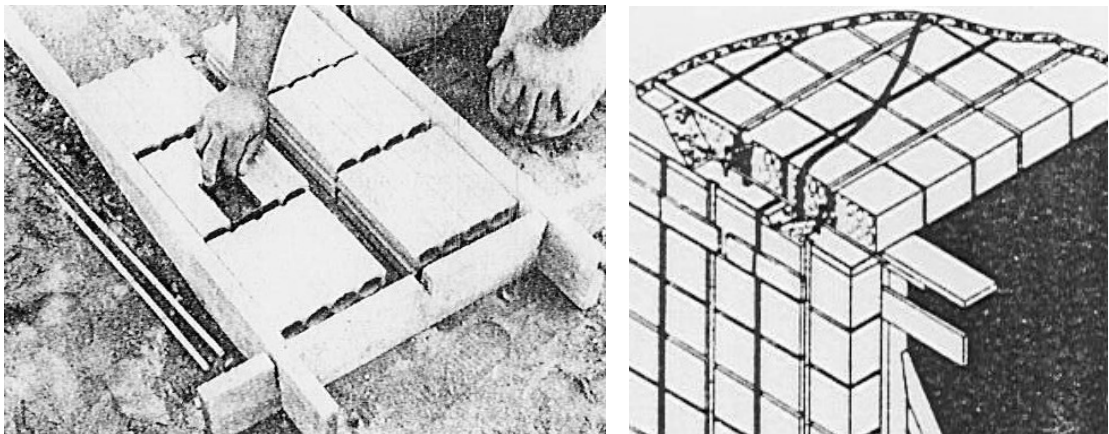
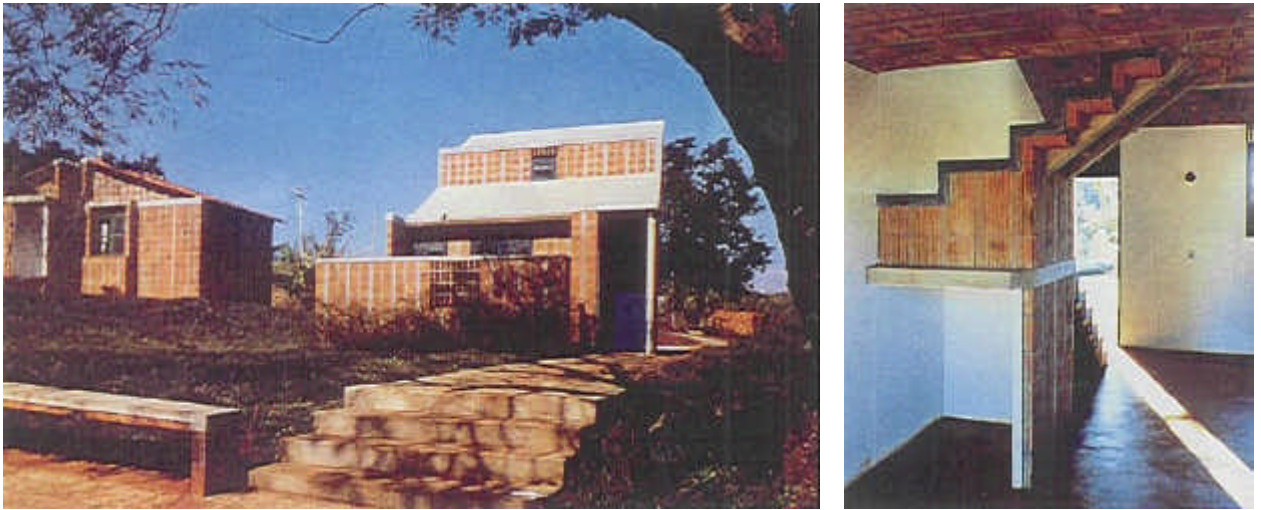


Ilustração 4.12. e 4.13. Produção e montagem (MINTER/PNUD, 1989)/(BRAGA & LOPES, 1985)

Os painéis do processo de Joan Villà foram projetados para serem carregados e montados manualmente. Neste empreendimento, no entanto, utilizaram-se equipamentos de pequeno porte para içamento dos painéis. O radier era previamente pintado para indicar o posicionamento dos painéis de parede, e o escoramento destes era feito mediante a utilização de toras de eucalipto. Estando posicionados, as juntas verticais eram executadas. Posicionavam-se então os painéis de cobertura e executavam-se as amarrações entre painéis de parede e painéis de cobertura (cinta de concreto armado) e o preenchimento das juntas horizontais, com o auxílio de formas e escoras (Ilustração 4.13.).

4.2. Estudo de caso nº 2 - Protótipo de sobrado (UNICAMP)



Ilustrações 4.14. e 4.15. Protótipo de sobrado (ARQUITECTURA PANAMERICANA, 1993)

Arquiteto: Joan Villà

Localização: Universidade Estadual de Campinas/Barão Geraldo/Campinas/SP

Ano de execução: 1987

Construção: Equipe do Laboratório de Habitação

Superfície construída: 51m²

Processo construtivo: Painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos

4.2.1. Características do projeto

- *Características gerais*

O segundo protótipo construído com o processo desenvolvido por Joan Villà também foi realizado no canteiro experimental do Laboratório de Habitação da UNICAMP (Ilustrações 4.14. e 4.15.). Esta segunda proposta também apresenta soluções inovadoras, sendo concebida como uma solução habitacional para lotes exíguos, apresentando assim um projeto com um bom aproveitamento do espaço.

- *Características estruturais*

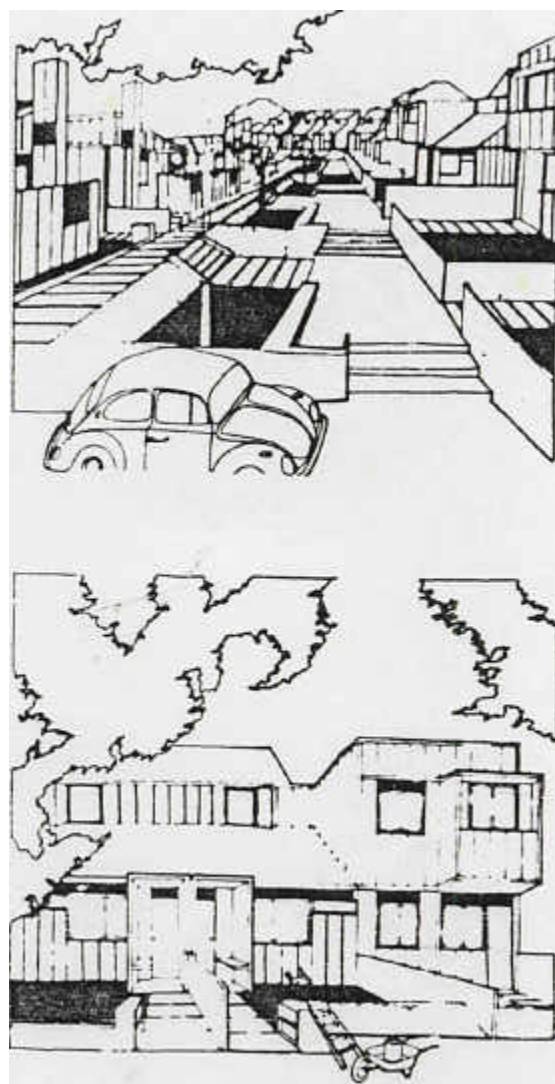
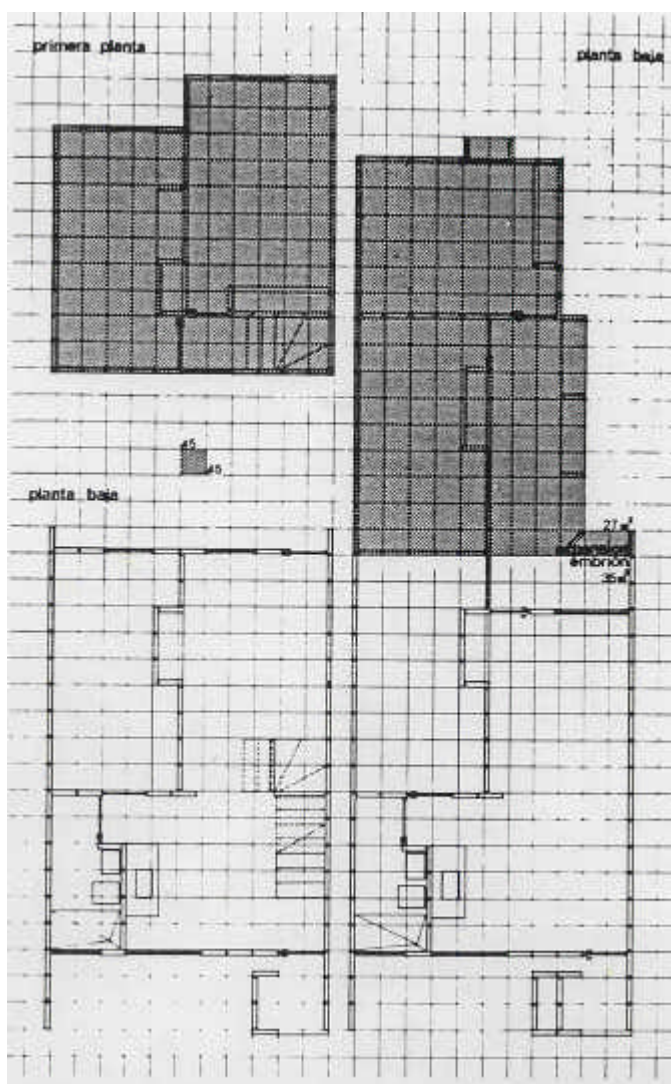
Repetem-se as mesmas considerações feitas sobre a estruturação do protótipo anteriormente analisado.

- *Características espaciais e morfológicas*

Verifica-se aqui novamente uma boa resolução quanto aos aspectos formais e de distribuição, no qual a resolução da cobertura confere uma estética diferenciada ao projeto, e a utilização do pé-direito duplo amplia consideravelmente a sensação de amplitude espacial na área social. (Ilustrações 4.14., 4.15. e 4.17.).

Assim como o protótipo anterior, este protótipo também apresenta certo grau de flexibilidade, prevendo futuras ampliações. Estas ampliações foram projetadas para acontecer tanto no sentido horizontal, quanto no sentido vertical (Ilustração 4.16.).

O embrião de 33,5m², conta com sala/cozinha integradas, banheiro e quarto. A ampliação vertical de 22,5m², distribuí-se em dois quartos, e a ampliação horizontal de 26,5m², também distribuí-se em dois quartos (Ilustração 4.16.).



Ilustrações 4.16. e 4.17. Sobrado: planta baixa e croquis (BRAGA & LOPES, 1985)

A habitação pode portanto chegar até 77,5m², ocupando o terreno em apenas 60m².

As mesmas preocupações estruturais do protótipo anterior se encontram presentes no arranjo arquitetônico desta edificação (Ilustração 4.16.).

A utilização de paredes enrijecedoras neste protótipo é bem menos freqüente do que no anterior, sendo observada em apenas uma das janelas, o que leva a acreditar que aqui o desenho foi utilizado apenas como opção estética (Ilustrações 4.16. e 4.17.).

Na ampliação horizontal encontra-se novamente a varanda, possuindo o mesmo esquema morfológico e espacial do protótipo anterior, atingindo assim os mesmos efeitos (espaço semi-aberto, unicidade e adequação regional)/(Ilustração 4.16.).

Novamente é utilizada a solução flexível de disposição das áreas molhadas (cozinha, banheiro e lavanderia) de forma agrupada e junto à testada do lote, evidenciando a busca pela economia. Na planta da ilustração 4.16. não consta a área de lavanderia, que pode ser no entanto observada na ilustração 4.14., possuindo o mesmo aspecto espacial do exemplo anterior. Utilizam-se aqui também apenas quatro painéis de paredes com instalações embutidas, agrupados em uma única parede.

As fachadas externas apresentam o mesmo aspecto rústico e quadriculado das fachadas do protótipo anterior. As fachadas internas deste segundo protótipo receberam revestimento já durante o processo de fabricação dos painéis (Ilustração 4.15.).

Na fachada frontal, destacam-se o desenho da cobertura, e novamente o muro que delimita o espaço da lavanderia, utilizando-se novamente neste último os blocos para composição de elementos vazados, compondo aberturas de ventilação esteticamente diferenciadas (Ilustração 4.14.). Esta mesma solução de ventilação é novamente utilizada acima das portas e janelas (Ilustração 4.14.).

Os bancos, construídos com os próprios painéis e amarrados estruturalmente aos pilares, também são novamente utilizados na fachada que define o espaço de convívio da varanda (Ilustração 4.16.).

Novamente é utilizado o espaço de espera junto à fachada frontal. Sobre este, utilizou-se cobertura plana, enquanto que para o restante dos espaços, utilizaram-se coberturas inclinadas, que apóiam-se sobre as paredes portantes (Ilustração 4.14.).

Na opção de ampliação verticalizada, incorpora-se a escada, que é resolvida também com o processo construtivo em painéis estruturais.

- *Modulação*

A modulação utilizada neste protótipo foi a mesma do protótipo anterior.

- *Função*

O protótipo, criado inicialmente com o caráter demonstrativo, passou a ser utilizado como o Laboratório de Estudos Urbanos (LABEURB) da UNICAMP.

4.2.2. Características do processo construtivo

- *Tipos de painéis utilizados*

Foram utilizados neste segundo protótipo: painéis de parede, painéis de parede com instalações, painéis de laje de piso e na cobertura painéis de laje de forro inclinada sem telha, com regularização da superfície da laje em argamassa de areia peneirada, com impermeabilização e pintura. Utilizou-se pela primeira vez o painel de escada, que mostrou-se de fácil execução (BRAGA & LOPES, 1985).

Os painéis de parede são os mesmos do estudo de caso anterior. A única mudança efetuada para estes painéis foi a incorporação do acabamento da face interna do painel durante o processo de fabricação. Os painéis de parede com instalações sofreram as mesmas alterações.

No protótipo anterior, os painéis de parede eram utilizados para atenderem a função de oitões. Estes eram apoiados diretamente sobre as cintas de amarração de concreto armado, que encimavam os painéis de parede convencionais, configurando subsistemas independentes. No protótipo de dois pavimentos, os dois subsistemas foram unidos em um só, resultando na produção de painéis com maiores alturas, fabricados de modo a permitir a composição inclinada da cobertura, mediante o mesmo processo de serragem dos blocos utilizados no exemplo anterior (Ilustração 4.19.).

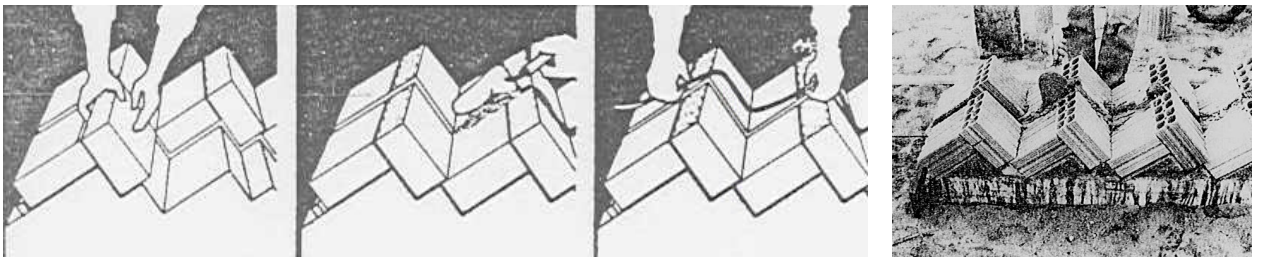
Os painéis de laje de piso, e os painéis de laje de forro inclinada sem telha utilizados na cobertura são compostos por blocos dispostos a junta prumo em duas fileiras, unidas por uma nervura central de concreto armado com duas barras de aço (cimento CP 32 e aço CA 50). Suas dimensões são: comprimento = 5m, largura = 43cm

e espessura = 9cm. A regularização da superfície da laje em argamassa de areia peneirada, com impermeabilização e pintura foi feita no local.



Ilustrações 4.18. e 4.19. Aspecto das fachadas e cobertura do protótipo de sobrado da UNICAMP

Os painéis de escada seguem o mesmo padrão construtivo dos outros painéis (Ilustrações 4.20.e 4.21.). Com o auxílio de gabaritos de madeira, acomodam-se os blocos no formato da escada, a junta prumo em duas fileiras, unidas por uma nervura central de concreto armado com duas barras de aço (cimento CP 32 e aço CA 50).



Ilustrações 4.20. e 4.21. Painéis de escada (ARQ. PANAMERICANA, 1993)/(MINTER/PNUD, 1989)

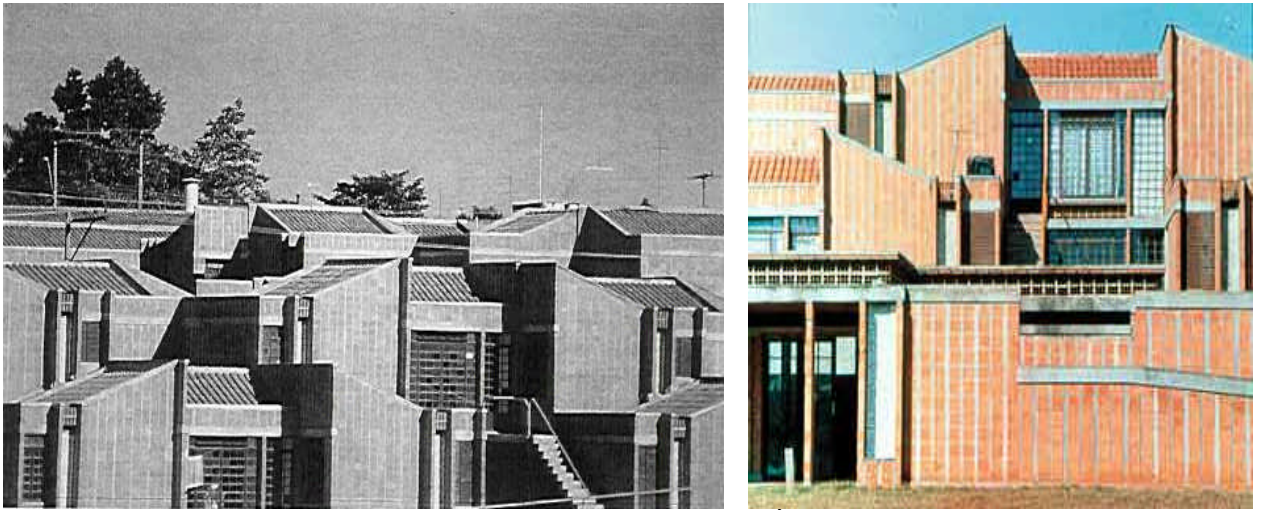
- *Fundação*

Utilizou-se também neste projeto a fundação do tipo radier.

- *Produção e Montagem*

Repetem-se as mesmas considerações feitas no protótipo anterior.

4.3. Estudo de caso nº 3 - Moradia Estudantil (UNICAMP)



Ilustrações 4.22. e 4.23. Moradia Estudantil (COX; FERNANDÉS, 1998)/(PROJETODESIGN, 2001)

Arquiteto: Joan Villà

Localização: Barão Geraldo/Campinas/SP

Ano de execução: 1988 a 1990

Construção: Empresa Freitas Guimarães Projeto e Construção LTDA

Superfície construída: 17.242m²

Processo construtivo: Painéis estruturais pré-fabricados com blocos cerâmicos

4.3.1. Características do projeto

- *Características gerais*

O projeto da Moradia Estudantil da UNICAMP é o melhor exemplo do processo desenvolvido por Villà, pois neste puderam ser valoradas todas as questões que vinham norteando seu desenvolvimento. Além do processo construtivo inovador, outro elemento de interesse chama a atenção: a espacialidade do conjunto (Ilustrações 4.22. e 4.23.).

Sua construção foi iniciada em Outubro de 1988, sendo sua inauguração em Abril de 1990. Seu projeto técnico compreende 251 habitações, 4 Centros de Convívio, 14 Salas de Estudo, e toda infra estrutura prevista, abrangendo as obras viárias, galerias de águas pluviais, as redes de água e esgotos sanitários, e a urbanização das áreas de praças (BRAGA, 2004).

- *Características estruturais*

Repetem-se as mesmas considerações feitas sobre a estruturação dos protótipos anteriormente analisados.

- *Características espaciais e morfológicas*

As referências utilizadas no desenho do conjunto apontam influências advindas do sistema tipológico de bairros compactos no qual as unidades residenciais se organizam perimetralmente, resguardando os espaços internos para serem utilizados como praça e área de convívio, configurando um espaço semi-público protegido com dimensões satisfatórias ao desenvolvimento do convívio social.

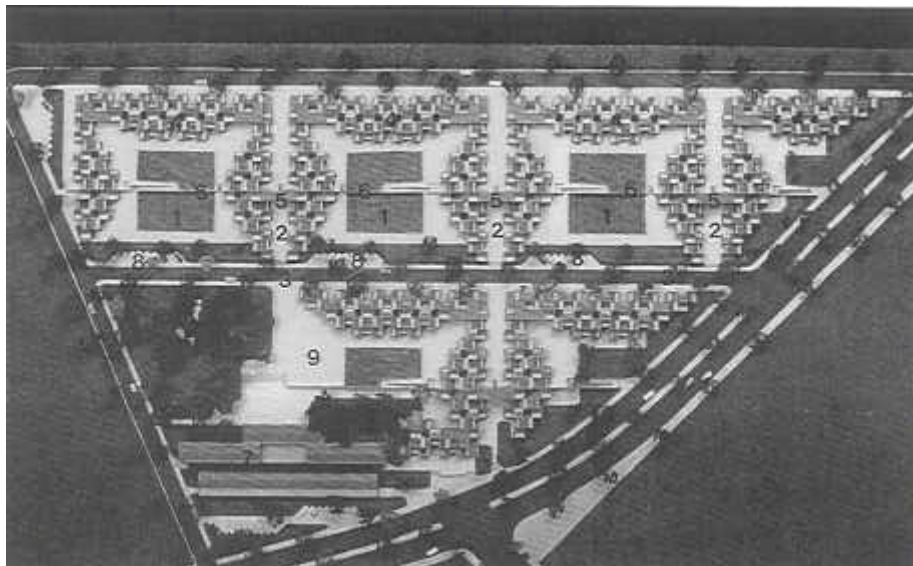


Ilustração 4.24. Implantação do conjunto: sistema tipológico de bairros compactos (COX; FERNANDÉS, 1998)

Os números da Ilustração 4.24. representam respectivamente: 1) Praça/pátio; 2) Circulação para pedestres; 3) Circulação de veículos; 4) Habitações; 5) Sala de Estudos; 6) Centro de convívio; 7) Centro comunitário e comercial; 8) Estacionamento; 9) Parque e recreação. Observa-se na Ilustração 4.24. que as unidades autônomas articulam-se entre si para formação de alas, e o agrupamento de três alas constitui a formação de um bairro. Dentro de cada ala as unidades se comunicam através de suas salas e de pequenos pátios (Ilustração 4.25.), permitindo assim a formação de residências maiores. Cada ala conta com um espaço de estudo coletivo que permite a realização de encontros e o desenvolvimento de trabalhos.

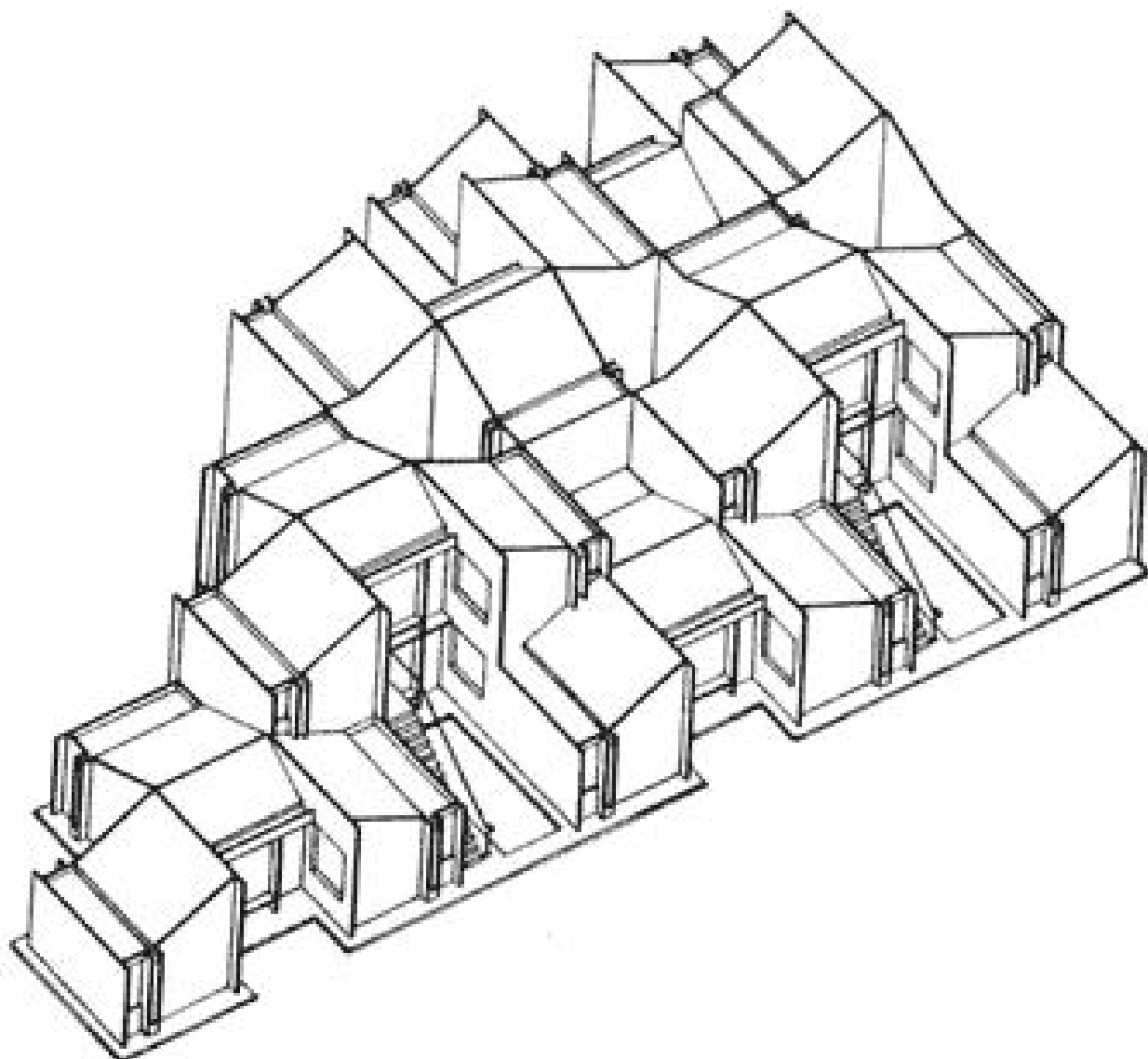


Ilustração 4.25. Perspectiva aérea da Moradia Estudantil (COX; FERNANDÉS, 1998)

Cada unidade possui 63,8 m² de área construída, contando com sala, cozinha, pátio, banheiro e um dormitório (Ilustração 4.26.).

Observa-se novamente a utilização de paredes enrijecedoras, que são as que delimitam os espaços para as janelas, as que se situam nas extremidades das fachadas, e as que compõem as pingadeiras (Ilustrações 4.27. e 4.28.).

Utiliza-se novamente a disposição das áreas molhadas (cozinha, banheiro e lavanderia) de forma agrupada em uma única parede, evidenciando novamente a busca pela economia através da redução dos sistemas de distribuição de água e esgoto. Assim sendo, são utilizados apenas quatro painéis de paredes com instalações embutidas por habitação (Ilustração 4.26.).

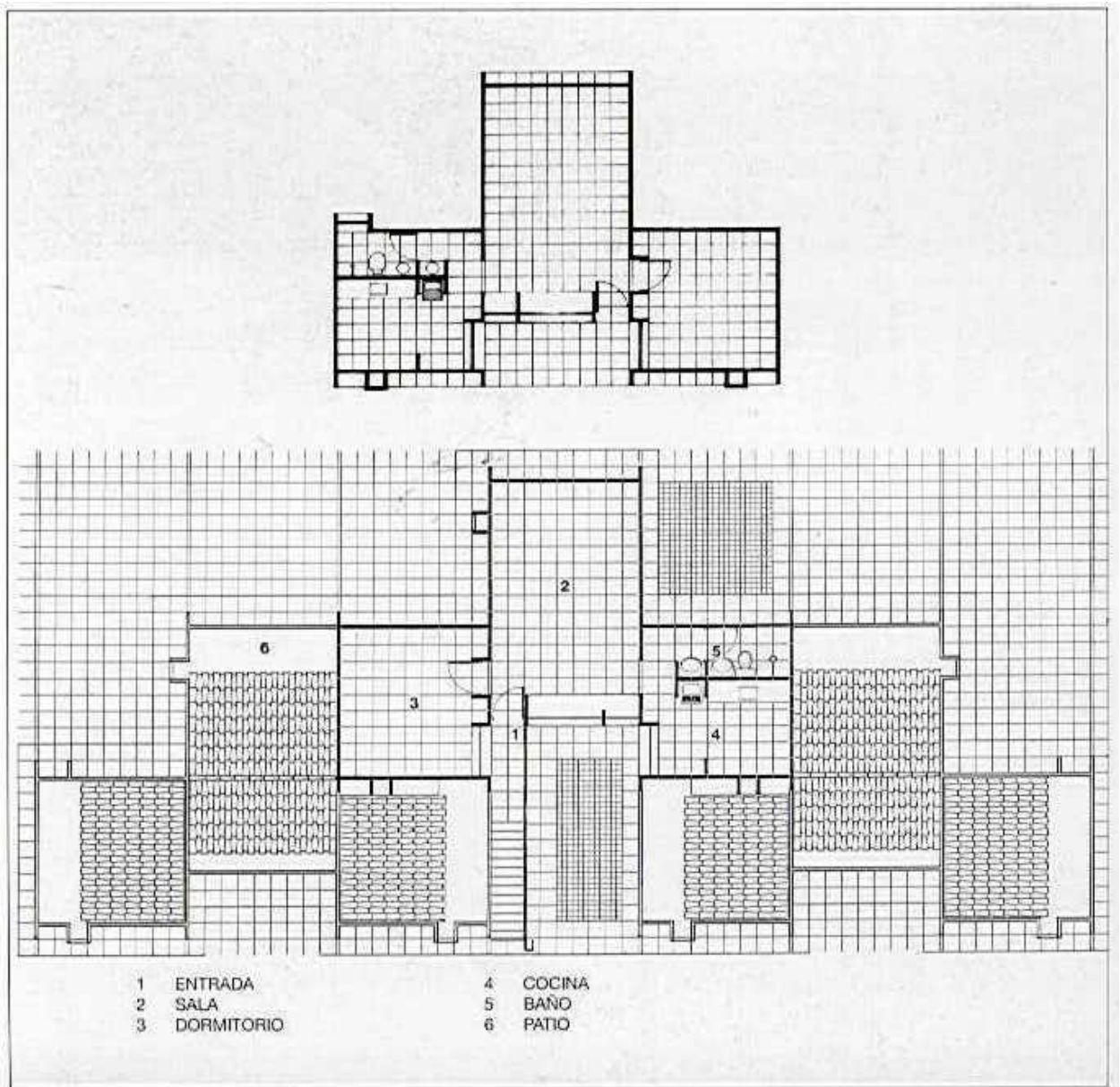


Ilustração 4.26. Projeto modular das unidades habitacionais (COX; FERNANDÉS, 1998)



Ilustrações 4.27. e 4.28. Arranjo estrutural: paredes enrijecedoras

As fachadas, antes da reforma, apresentavam o mesmo aspecto rústico e quadriculado dos protótipos anteriores (Ilustrações 4.22. e 4.23.). Com a reforma, as fachadas receberam a aplicação de revestimento e pintura texturizada numa única cor para todo conjunto (Ilustrações 4.27. e 4.28.).

As habitações apresentam de uma a três fachadas em contato com o exterior. As demais ficam em contato com as outras habitações. Nestas fachadas que fazem a ligação com o exterior é observada uma grande porcentagem de aberturas (Ilustração 4.28.).

Os elementos diferenciais nas fachadas deste projeto são os enrijecedores, utilizados nas pingadeiras, nas proteções laterais das janelas e nas extremidades das fachadas, conferindo linhas verticais que destacam-se na composição desta (Ilustrações 4.27. e 4.28.).

As soluções com elementos vazados foram aqui utilizadas nos espaços de convívio, tal como a sala de estudos (Ilustrações 4.29. e 4.30.).



Ilustrações 4.29. e 4.30. Sala de estudos: utilização de elementos vazados

A composição arquitetônica do conjunto evidencia uma repetitividade bem aplicada, onde uma única tipologia de planta é articulada de maneira a se obter um desenho urbano diferenciado (Ilustrações 4.22. e 4.23.).

- *Modulação*

A modulação utilizada na Moradia Estudantil é a mesma utilizada nos dois protótipos anteriores.

- *Função*

A Moradia Estudantil é designada, através de um critério sócio-econômico de seleção, a estudantes da UNICAMP de condições financeiras menos favorecidas.

4.3.2. Características do processo construtivo

- *Tipos de painéis utilizados*

Foram utilizados para construção da Moradia Estudantil: painéis de parede, painéis de parede com instalações, painéis de escada, painéis de laje de piso, e na cobertura foram utilizados painéis de laje de forro inclinada com cobertura de telhas de barro simplesmente dispostas sobre a laje (BRAGA, 2004).

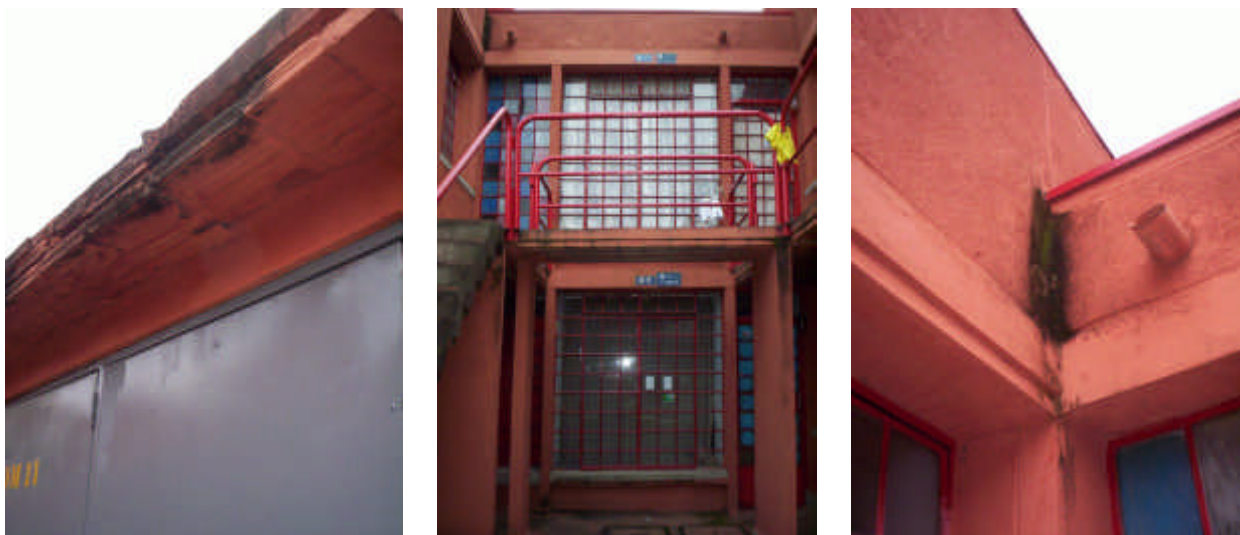
Os painéis de parede são os mesmos dos dois estudos de caso anteriores (altura = variável, largura = 43cm, espessura = 10cm), com camada de revestimento na face interna e blocos aparentes na face externa. Em função do estado de deterioração, o edifício teve que sofrer reformas (reboco e pintura) no ano de 2003, depois de 13 anos só tratando as paredes com aplicações anuais de silicone (Ilustrações 4.31. e 4.32.).



Ilustrações 4.31. e 4.32. Moradia Estudantil: reforma de 2003

Dois deficiências que ficaram evidentes quanto ao tipo de material empregado nas paredes, foram quanto à alta absorção de água, e à grande facilidade de quebra. A falta de beirais ocasiona problemas de umidade generalizados nas paredes (Ilustrações

4.33., 4.34. e 4.35.), e o dimensionamento das calhas (40mm) do telhado mostrou-se insatisfatório, sendo responsável também por grande parcela dos focos de umidade nas vedações.



Ilustrações 4.33., 4.34., e 4.35. Moradia Estudantil: estado de conservação

Durante visita às unidades constataram-se problemas de desconforto no verão. As causas apontadas para este problema foram a pequena espessura da parede, equivalente a 10cm (9cm do bloco e 1cm de revestimento) e a baixa altura do pé-direito, equivalente a 2,5m (Ilustrações 4.36. e 4.37.). Outros problemas acústicos provenientes da pequena espessura das paredes são as interferências sonoras, que acontecem entre cômodos, entre unidades e do ambiente externo para o interno.



Ilustrações 4.36. e 4.37. Conforto térmico: pé-direito baixo e pequena espessura de parede

Assim como no estudo de caso anterior, a composição inclinada da cobertura se deu mediante a utilização de painéis de parede com maiores alturas, que fundem os subsistemas parede e oitão em um único subsistema (Ilustrações 4.38. e 4.39.).

Os painéis de parede foram também utilizados, através da diminuição de sua altura, para composição das platibandas (Ilustração 4.38.). Outro elemento resolvido com os painéis de parede foram as pingadeiras (Ilustração 4.38. e 4.40.).

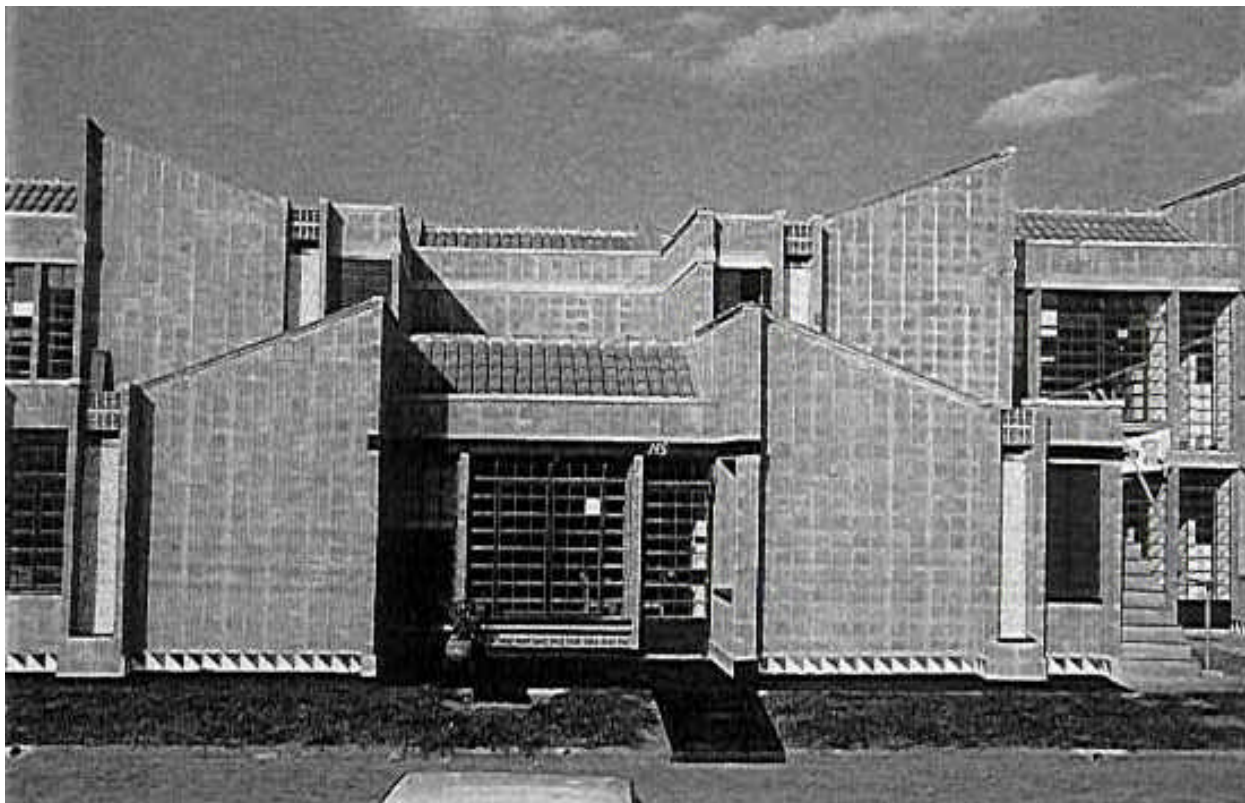


Ilustração 4.38. Painéis de parede: vedações, platibandas e pingadeiras (MINTER/PNUD, 1989)



Ilustrações 4.39. e 4.40. Subsistema parede/oitão (UNICAMP, 1990) e pingadeira

Os painéis de laje de piso seguem o padrão construtivo dos protótipos. Suas dimensões são: comprimento = 4m, largura = 43cm e espessura = 9cm.

Os painéis de laje de forro inclinada também apresentam o mesmo padrão construtivo dos protótipos anteriores, com as seguintes dimensões: comprimento = 4m, largura = 43cm e espessura = 9cm. A colocação das telhas sobre estes se faz no local.

Os painéis de escada são idênticos aos utilizados no protótipo de dois pavimentos.

- *Fundação*

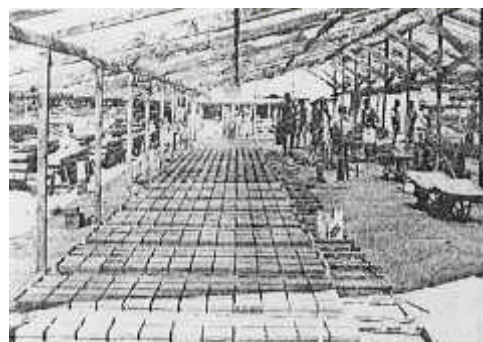
Utilizou-se neste projeto também a fundação do tipo radier (Ilustrações 4.41. e 4.42.).



Ilustrações 4.41. e 4.42. Moradia Estudantil: fundação tipo radier (UNICAMP, 1990)

- *Produção e Montagem*

Utilizaram-se os mesmos procedimentos de produção e montagem dos protótipos anteriores. A produção dos painéis foi realizada no canteiro, mediante a utilização de camas de areia e formas de madeira para conformação (4.43. à 4.45.).



Ilustrações 4.43., 4.44. e 4.45. Moradia Estudantil: produção dos painéis (UNICAMP, 1990)

Utilizaram-se equipamentos de médio porte para içamento dos painéis (Ilustração 4.46.).

O radier era previamente pintado para indicar o posicionamento dos painéis (Ilustração 4.47.), e o escoramento destes era feito mediante a utilização de toras de eucalipto (Ilustrações 4.48. e 4.49.).



Ilustrações 4.46. e 4.47. Içamento (BARTH, 1992) e pintura do radier (MINTER/PNUD, 1989)



Ilustrações 4.48. e 4.49. Levantamento manual e escoramento dos painéis (UNICAMP, 1990)

Além da utilização de equipamentos, utilizava-se também o processo manual para levantamento dos painéis (Ilustrações 4.48. e 4.49.).

4.4. Estudo de caso nº 4 - Conjunto Residencial (Cotia/SP)

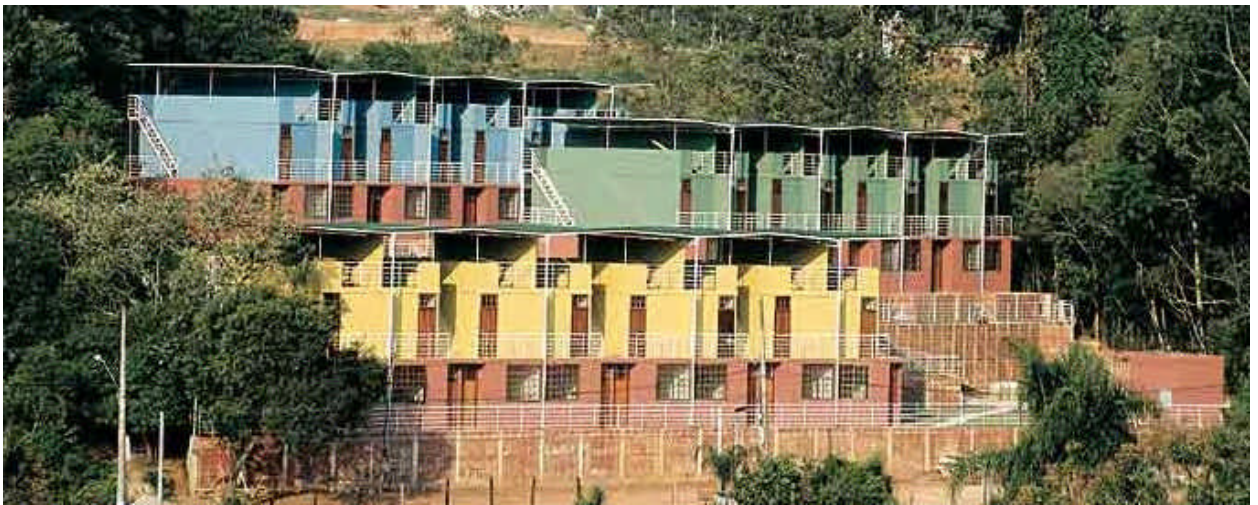


Ilustração 4.50. Condomínio residencial em Cotia/SP (PROJETO/DESIGN, 2003)

Arquiteto: Joan Villà e Sílvia Chile

Localização: Cotia/SP

Ano de execução: 2001 à 2002

Construção: Zênica

Superfície construída: 2.256m²

Processo construtivo: Painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados

4.4.1. Características do projeto

- *Características gerais*

A experiência mais recente com o processo desenvolvido por Villà é um condomínio residencial em Cotia/SP (Ilustração 4.50.). Trata-se do seu primeiro trabalho, juntamente com a arquiteta Sílvia Chile para o setor privado. Depois de trabalhar por mais de 30 anos com o setor público e cooperativas, Villà transpõe para o mercado habitacional a experiência construtiva e espacial desenvolvida no Laboratório de Habitação.

Detentora do Prêmio Carlos Barjas Milan, conferido pelo IAB/SP em 2002, a obra desenhada por Joan Villà e Sílvia Chile, apesar de ser uma iniciativa do setor privado, configura-se como um bom exemplo de habitação popular, sendo construído ao custo de R\$304,00 o metro quadrado (PROJETO/DESIGN, 2003).

- *Características estruturais*

Repetem-se as mesmas considerações feitas sobre a estruturação das construções anteriormente analisadas.

- *Características espaciais e morfológicas*

As casas possuem 62 m², mais os 37,5 m² do terraço superior (Ilustração 4.53.). Esse espaço anexado ao programa residencial resolve a necessidade de uma área livre individualizada, sem demandar maiores espaços para o dimensionamento das unidades (Ilustrações 4.51. e 4.52.).



Ilustrações 4.51. e 4.52. Condomínio residencial em Cotia/SP (PROJETO/DESIGN, 2003)



Ilustração 4.53. Plantas da unidade residencial (PROJETO/DESIGN, 2003)

Os espaços internos se organizam da seguinte maneira: no térreo encontram-se sala, cozinha, lavanderia e quintal. No 1º pavimento ficam dois dormitórios e um

banheiro e no 2º pavimento encontra-se o terraço. Observa-se no andar térreo a flexibilização quanto ao dimensionamento do espaço, alcançada através da solução espacial aberta de integração entre a função de cozinhar e estar.

O arranjo estrutural da planta evidencia a distribuição equilibrada dos painéis estruturais por toda área da planta e a utilização de enrijecedores (Ilustração 4.53.).

As áreas molhadas (cozinha, banheiro e lavanderia) são concentradas numa mesma região da planta, evidenciando novamente a busca pela economia através da redução dos sistemas de distribuição de água e esgoto. O espelhamento das plantas de duas unidades vizinhas também contribui neste sentido (Ilustração 4.53.).

As habitações apresentam as aberturas nas fachadas frontal e dos fundos. O elemento diferencial destas fachadas é a sacada do terraço.

Ao todo são 24 unidades, dispostas em três blocos, implantados em diferentes cotas. O projeto prevê ainda um pavilhão de lazer, quadra esportiva e local de recreação infantil (Ilustração 4.54.).



Ilustração 4.54. Implantação do conjunto residencial de Cotia/SP (PROJETODESIGN, 2003)

- *Modulação*

Não foram obtidos dados sobre a modulação.

- *Função*

Conjunto residencial multifamiliar.

4.4.2. Características do processo construtivo

- *Tipos de painéis utilizados*

Neste empreendimento foram utilizados para composição dos espaços: painéis de parede, painéis de laje para forro e piso e painéis de escada.

Os painéis seguem o mesmo padrão construtivo dos painéis dos estudos de casos anteriores. Foi substituído no entanto os “tijolos baianos”, que tinham sido utilizados por Villà exaustivamente em todos os seus empreendimentos anteriores, por blocos cerâmicos de melhor qualidade, evidenciando a flexibilidade produtiva do sistema de pré-fabricação em cerâmica vermelha. Verifica-se aqui um exemplo de Uniformidade Tecnológica e Produtiva (LUCINI, 1996), ou seja, “com a mesma forma de produção do produto final, baseada fortemente na racionalização e industrialização de técnicas e processos tradicionais, pode-se chegar a um bom nível de qualidade e de desempenho para diversos padrões destinados a segmentos de mercado diferenciados”.

- *Fundação*

Não foram obtidos dados técnicos sobre a fundação deste empreendimento.

- *Produção e Montagem*

Também não foram obtidos dados técnicos sobre a produção e montagem dos painéis.

4.5. Estudo de caso nº 5 - Casa do Lago e Lab. de Habitação (UNICAMP)



Ilustrações 4.55. e 4.56. Casa do Lago e Lab. Hab. (PROJETO, 1995)/(ARQ. PANAMERICANA, 1993)

Arquiteto: Joan Villà

Localização: Universidade Estadual de Campinas/Barão Geraldo/Campinas/SP

Ano de execução: 1990 (Lab. de Habitação) e 1994 (Restaurante/Casa do Lago)

Construção: Equipe do Laboratório de Habitação

Superfície construída: 280m² (Lab. de Habitação) e 1200m² (Casa do Lago)

Processo construtivo: Painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados

Este estudo de caso não se enquadra dentro do contexto habitacional que vem direcionando a produção deste trabalho. No entanto, optou-se por apresentá-lo mesmo assim, por acreditar que as soluções construtivas e espaciais utilizadas possam vir também a ser aproveitadas na produção habitacional de interesse social.

4.5.1. Características do projeto

- *Características gerais*

No ano de 1989, Villà e sua equipe testaram pela primeira vez o processo construtivo para resolução de espaços públicos. Até então os painéis de cobertura só haviam vencido vãos de 5m, em função das dimensões e peso adotados para os mesmos. A primeira solução adotada para grandes vãos foi a utilização dos painéis de laje planos para composição de pórticos (BRAGA, 2004).

Além da exploração das possibilidades dos painéis planos para obtenção de grandes vãos, Villà e sua equipe também exploram a pré-fabricação de elementos curvos (abóbadas) para o mesmo fim, possibilitando também a configuração de espaços diferenciados. A experiência piloto foi a construção simultânea do Laboratório de Habitação da UNICAMP (inaugurado em Abril de 1990) e do restaurante universitário da mesma universidade (inaugurado em Abril de 1994), que veio a se transformar recentemente no espaço cultural “Casa do Lago” (inaugurado em Abril de 2002) (Ilustrações 4.55. e 4.56.).

- *Características espaciais e morfológicas*

A resolução espacial dos dois edifícios se resume a simplicidade construtiva e morfológica das parábolas. Paredes e coberturas se fundem em um único subsistema, que proporciona grande amplitude espacial, e maior liberdade na criação de eixos de circulação ao longo do eixo principal. O fechamento das grandes aberturas, permitindo ainda grande penetrabilidade, explora a diversidade de combinações entre cerâmica e vidro (Ilustrações 4.57. à 4.66.).



Ilustrações 4.57., 4.58. e 4.59. Espaço Cultural Casa do Lago: aspectos morfológicos



Ilustrações 4.60. e 4.61. Laboratório de Habitação: aspectos morfológicos



Ilustrações 4.62., 4.63. e 4.64. Casa do Lago: composições entre vedações e aberturas



Ilustrações 4.65. e 4.66. Laboratório de Habitação: composições entre vedações e aberturas

Estes novos desdobramentos do processo evidenciavam a possibilidade da sua aplicação para construções do grande porte, tais como escolas, centros comunitários, creches e postos de saúde. Além disso, as abóbadas pré-fabricadas poderiam vir a

servir também como uma opção mais econômica de cobertura para habitações de interesse social, pois apresentam maior grau de compacidade que as coberturas inclinadas, implicando num menor perímetro e numa menor quantidade de material. A economia de material também se dá pela resolução construtiva, uma vez que as coberturas pré-fabricadas em abóbadas dispensam todo madeiramento que é necessário para carpintaria das coberturas tradicionais inclinadas. No entanto, Villà não explorou as coberturas curvilíneas em nenhum de seus empreendimentos sociais.

- *Modulação*

A modulação utilizada é a mesma dos protótipos apresentados anteriormente.

- *Função*

A Casa do Lago funciona como espaço cultural, e o Laboratório de Habitação funcionava como uma espécie de escritório modelo da UNICAMP, no entanto, encontra-se atualmente desativado.

4.5.2. Características do processo construtivo

- *Tipos de painéis utilizados*

Nestas duas construções foram utilizados painéis de parede, painéis de laje de piso, painéis de escada e painéis de abóbada.

Os painéis de parede, de laje de piso e de escada são os mesmos dos três primeiros estudos de caso, seguindo assim o mesmo padrão construtivo. A novidade construtiva foi o painel abóbada, que veio a possibilitar o vencimento de grandes vãos.

Os painéis de abóbada também seguem o mesmo padrão construtivo dos anteriores. São compostos por blocos cerâmicos (19x19x9cm) dispostos a junta prumo em duas fileiras, unidas por uma nervura central de concreto armado com duas barras de aço (cimento CP 32 e aço CA 50).

Os painéis são dispostos como segmentos da abóbada, unidos por junções de concreto armado, sendo todo conjunto unido e solidarizado por uma camada de

compressão, ficando a cobertura com a espessura final de 12cm. Os vãos obtidos nestas construções foram de 18m (Lab. de Habitação) e 30m (Casa do Lago).



Ilustrações 4.67. e 4.68. Casa do Lago: espessura da cobertura e junção entre painéis

- *Fundação*

Não foram obtidos dados técnicos sobre a fundação destes empreendimentos.

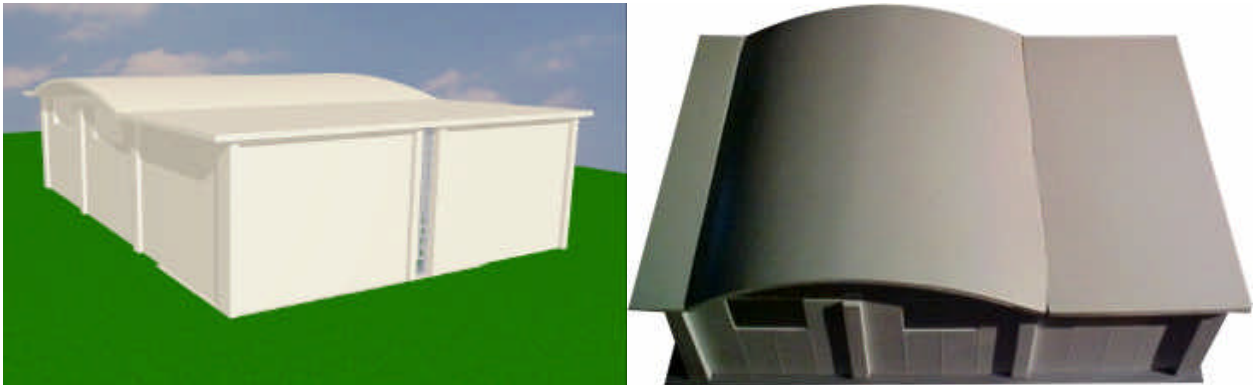
- *Produção e Montagem*

Os painéis abóbadas foram fabricados no canteiro-de-obras, sobre uma pista côncava de concreto, mediante utilização de formas de madeira (Ilustração 4.69.). No processo de montagem, estes são situados sobre formas em sua posição definitiva, de maneira que em suas conexões longitudinais se resguardam espaços constantes (Ilustração 4.70.). Estes espaços são concretados junto com a capa de compressão, servindo de nervuras armadas que se unem transversalmente aos painéis na direção longitudinal da lâmina (SARRABLO, 2001).



Ilustrações 4.69. e 4.70. Painéis abóbadas: produção e montagem

4.6. Estudo de caso nº 6 - Anexo do LMCC (UFSC)



Ilustrações 4.71. e 4.72. Maquete do LMCC (BARTH & CARDOSO, 2003)

Arquitetos: Aduino Pereira Cardoso(GDA) e Fernando Barth(LABSISCO)

Localização: Universidade Federal de Santa Catarina/Florianópolis/SC

Ano de execução: 2003 a 2004

Construção: Equipe do GDA/LABSISCO/UFSC

Superfície construída: 73,5m²

Processo construtivo: Painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados

4.6.1. Características do projeto

- *Características gerais*

Este estudo de caso trata do processo construtivo em desenvolvimento por pesquisadores do GDA/LABSISCO/UFSC, citado no início do trabalho, do qual esta pesquisa é parte integrante. A “Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Construtivos Industrializados em Cerâmica Estrutural”, tem como objetivo principal “oferecer ao mercado soluções construtivas otimizadas na forma de painéis cerâmicos pré-fabricados, a partir da fábrica e/ou montados nos canteiros de obra, com a finalidade de contribuir para a melhoria da qualidade, redução dos desperdícios e custos, e aumento de produtividade e competitividade, tanto para o setor cerâmico quanto para o da construção” (ROMAN, 2000).

A pesquisa global concentra duas pesquisas de Doutorado e uma pesquisa de Mestrado, sendo dividida da seguinte maneira: Uma pesquisa de Doutorado enfoca o

processo construtivo, ficando a outra responsável pelo estudo do comportamento estrutural dos painéis. Fica a cargo deste Mestrado, como já dito anteriormente, o estudo das possibilidades arquitetônicas deste processo construtivo.

Passando pelo caminho já percorrido por algumas experiências anteriores, o processo construtivo em desenvolvimento procura avançar um pouco mais no sentido da industrialização do processo, aumentando tanto as possibilidades construtivas, quanto as possibilidades espaciais dos painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados.

Com vistas à grande potencialidade técnico-econômica do processo de pré-fabricação de painéis cerâmicos estruturais, o trabalho vem se desenvolvendo sistematicamente, passando por diversas etapas. A elaboração do processo ficou a cargo do Prof. Adauto Pereira Cardoso e do Prof. Dr. Fernando Barth, e consiste basicamente na pré-fabricação de painéis cerâmicos estruturais de parede e de cobertura. Constituídos por blocos cerâmicos vazados, concreto armado, argamassa colante, argamassa de revestimento e elementos de fixação, os painéis foram concebidos para atenderem além da função estrutural, a função de vedação e de isolamento termo-acústico.

O processo construtivo, a princípio pré-fabricado em canteiro, empregando equipamentos de pequeno e médio porte, poderá ser produzido mediante diversos processos, desde a produção artesanal até a pré-fabricação em fábricas, caracterizando o processo industrial no qual poderão ser empregados equipamentos de grande porte. Objetiva-se desenvolver um produto que apresente uniformidade tecnológica e produtiva, “atendendo às exigências de diversos níveis de estratificação social, ficando garantida à todos estes uma resposta satisfatória às exigências qualitativas ambientais e construtivas” (LUCINI, 1996).

O processo será testado mediante à construção de um protótipo, que servirá como anexo do Laboratório de Materiais da Construção Civil (LMCC/ECV/UFSC). Neste poderão ser simuladas algumas das possibilidades construtivas e espaciais que se pretende utilizar futuramente em projetos habitacionais (Ilustrações 4.64. e 4.65.).

- *Características estruturais*

O sistema estrutural fica basicamente definido pela utilização de paredes portantes e paredes de contraventamento (Ilustração 4.3.).

- *Características espaciais e morfológicas*

O partido arquitetônico do anexo procura contemplar o programa de necessidades estabelecido, testando todas as possibilidades que se pretende usar posteriormente em empreendimentos habitacionais. O projeto possui uma volumetria simplificada, constituída com um espaço retangular coberto com superfícies planas e curvas.

O partido arquitetônico procurou a distribuição equilibrada das paredes resistentes por toda a área da planta, evitando a concentração dos carregamentos em determinadas regiões do edifício. Procurou também contemplar uma boa rigidez às cargas horizontais, dispondo as paredes estruturais de forma a se obter a estabilidade do edifício em todas as direções. Todos os painéis (exceto os que contém as aberturas) foram designados para funcionar estruturalmente. Os painéis D, A e E funcionam como enrijecedores, e desenharam linhas verticais acentuadas nas fachadas. (Ilustração 4.73.)

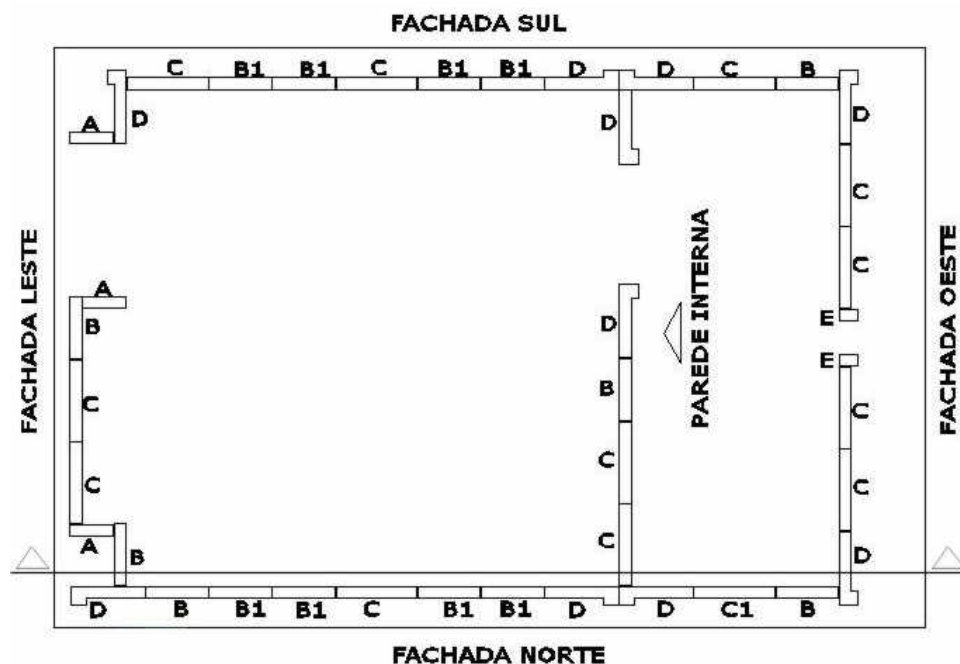


Ilustração 4.73. Planta do protótipo (BARTH & CARDOSO, 2003)

Além das aberturas das janelas, o projeto conta com as aberturas criadas no espaço entre as paredes e a cobertura curva (Ilustração 4.74.).

As fachadas externas são revestidas (durante fabricação dos painéis) e poderão vir a receber posteriormente a aplicação de revestimentos cerâmicos.

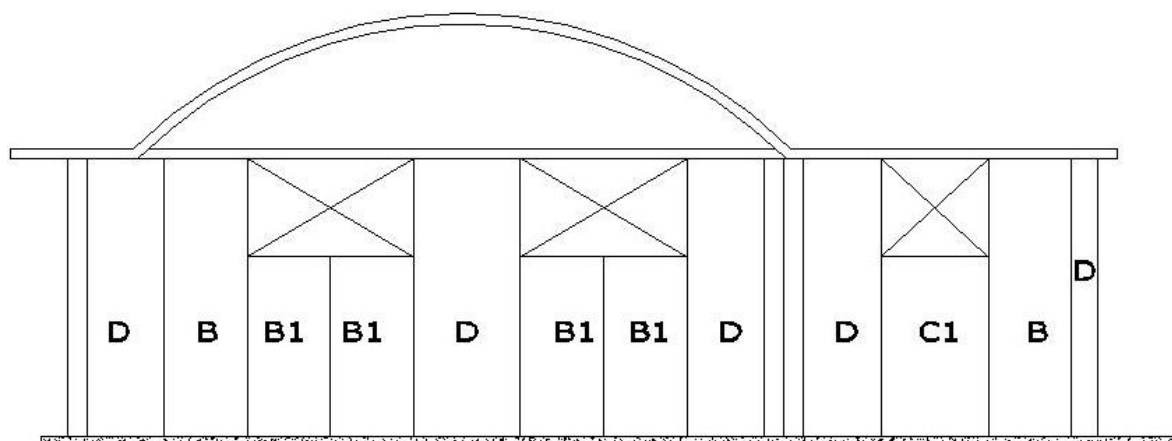


Ilustração 4.74. Fachada NORTE (BARTH & CARDOSO, 2003)

- *Modulação*

Elaboraram-se os projetos com as medidas dos painéis coordenadas dimensionalmente com a malha de 5x5cm (60cm, 85cm, 100cm, 110cm).

Foram consideradas todas as interferências existentes entre os anteprojetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidráulico, adotando-se soluções industrializadas, tais como emprego de instalações elétricas e hidráulicas aparentes.

- *Função*

O Anexo LMCC deverá funcionar como depósito de materiais.

4.6.2. Características do processo construtivo

- *Tipos de painéis utilizados*

Importante ressaltar que o desenvolvimento do trabalho tem como preocupação maior a definição do processo, e não a definição dos materiais a serem utilizados. Uma vez testada e aprovada as possibilidades do processo, os materiais e modulações a serem estabelecidos ficarão a cargo do projetista, podendo este trabalhar com os materiais mais adequados às condições regionais do local do empreendimento.

No processo de escolha dos blocos a serem utilizados, elegeram-se algumas características essenciais que estes deveriam possuir, tais como aceitável

desempenho térmico e geometria simples para fácil encaixe e manuseio. De acordo com estas características, e com as espessuras mínimas estabelecidas para parede e cobertura, utilizaram-se os seguintes tipos de blocos para confecção dos painéis (Ilustração 4.75.):

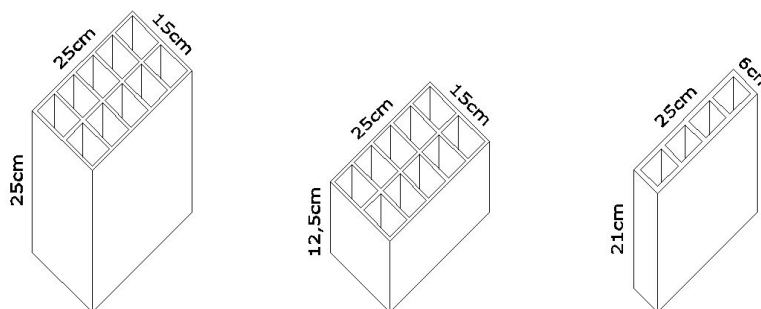


Ilustração 4.75. Blocos utilizados para fabricação dos painéis

O processo passou então para fase de desenvolvimento das tipologias construtivas, que foram sendo testadas até se obter a tipologia construtiva final, sendo este processo evolutivo ilustrado abaixo (Ilustração 4.76.).

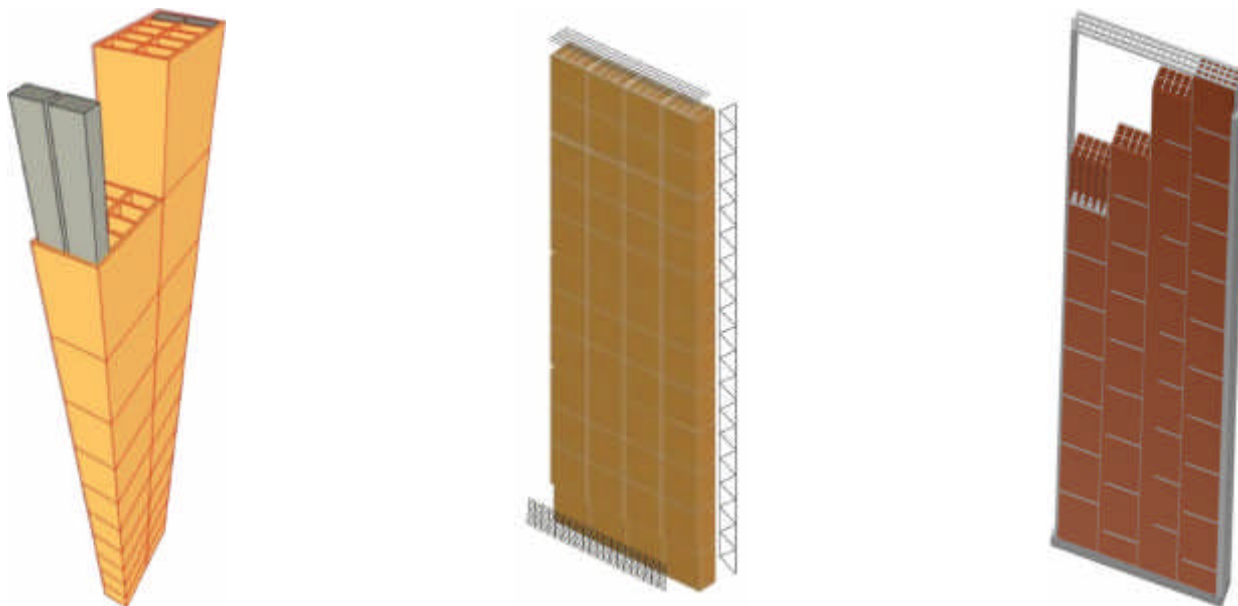


Ilustração 4.76. Processo evolutivo da tipologia construtiva (BARTH & CARDOSO, 2003)

A tipologia construtiva final do painel foi resultado da busca por maior produtividade e economia do processo, traduzidas nas grandes dimensões adotadas para estes, que ocasionaram também o layout estrutural, que tem como função

principal melhorar o quadro de enrijecimento mediante a utilização de uma estrutura perimetral. Preocupações quanto ao conforto térmico e acústico determinaram as dimensões da espessura ($e = 15\text{cm}$) e da altura dos painéis de parede ($h = 2,84\text{m}$).

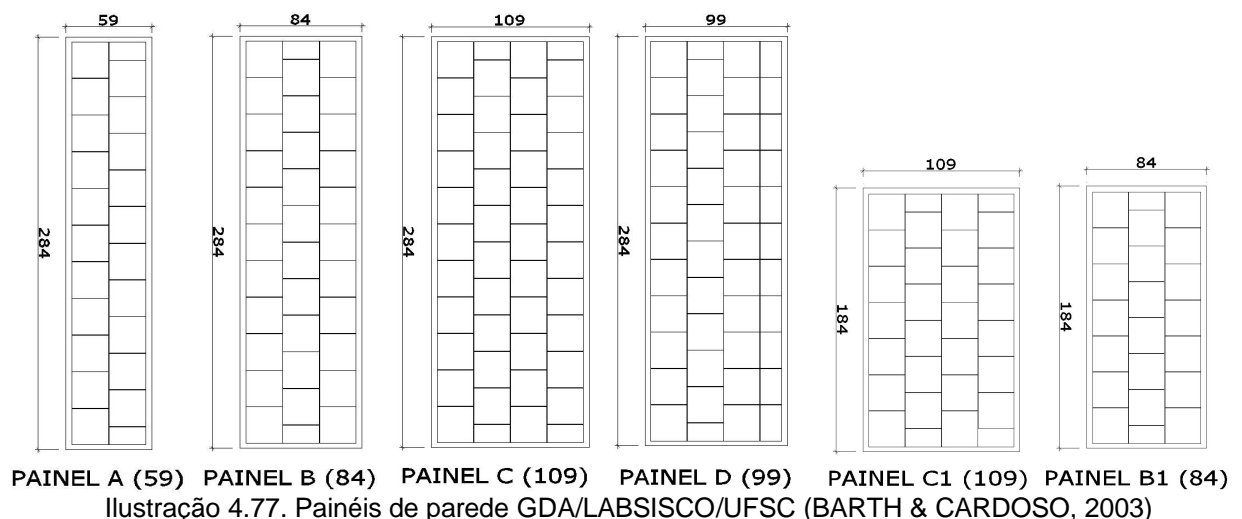
O processo trabalha basicamente com painéis planos de parede e de cobertura, e painéis curvos de cobertura. As variações dos tipos construtivos dos painéis são determinadas pela variação da largura e da altura, de acordo com a quantidade de elementos que são dispostos horizontalmente e verticalmente, em função das dimensões altimétricas e planimétricas estabelecidas para o projeto. Desta maneira, o projeto se mostra mais flexível que as propostas mostradas anteriormente.

As dimensões adotadas para os painéis foram em função do programa de necessidades estabelecido para composição do anexo do LMCC. Num contexto habitacional, as medidas dos painéis deverão ser redimensionadas.

Assim sendo, o processo ficou definido com o estabelecimento dos seguintes tipos de painéis:

Painéis de parede:

De acordo com as medidas dos blocos cerâmicos utilizados para os painéis de parede ($25 \times 25 \times 15\text{cm}$ e $25 \times 12,5 \times 15\text{cm}$), estabeleceu-se o pé direito de $2,84\text{m}$. Foram definidos painéis de $1,84\text{m}$ para os trechos de paredes com aberturas para iluminação e ventilação. Objetivando testar todas as possibilidades do processo, principalmente em quesitos de produtividade e economia, diversas larguras de painéis foram utilizadas, definidas pela quantidade de blocos dispostos horizontalmente.



A largura de cada painel representa a soma das medidas dos blocos, das juntas de argamassa colante e do reboco lateral de concreto armado. A junta a ser utilizada para união dos painéis é de 1cm, definindo as medidas como múltiplas de 5 (60cm, 85cm, 100cm, 110cm).

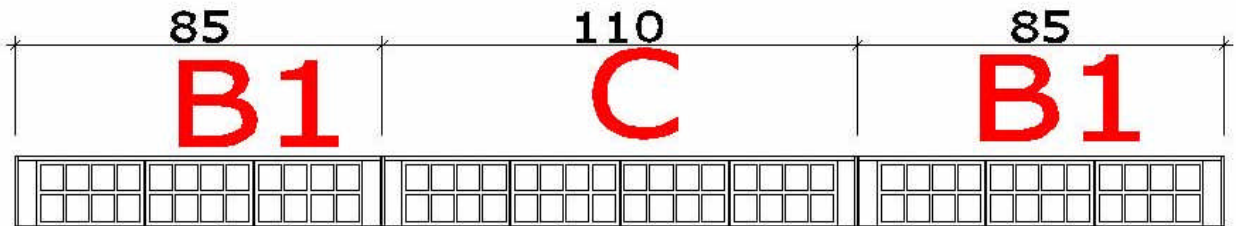


Ilustração 7.78. Detalhe da modulação horizontal (BARTH & CARDOSO, 2003)

- *Painéis de cobertura planos:*

Para os painéis de cobertura planos, foram utilizados blocos menos espessos (25x21x5) a fim de se obter uma maior esbeltez. Os painéis de cobertura planos apresentam algumas particularidades a mais do que os anteriores em função das juntas horizontais entre painéis serem mais críticas que as juntas verticais. Encontros diferenciados entre painéis, em função do arranjo estrutural estabelecido pelos calculistas, configuraram as seguintes tipologias para os painéis planos de cobertura:

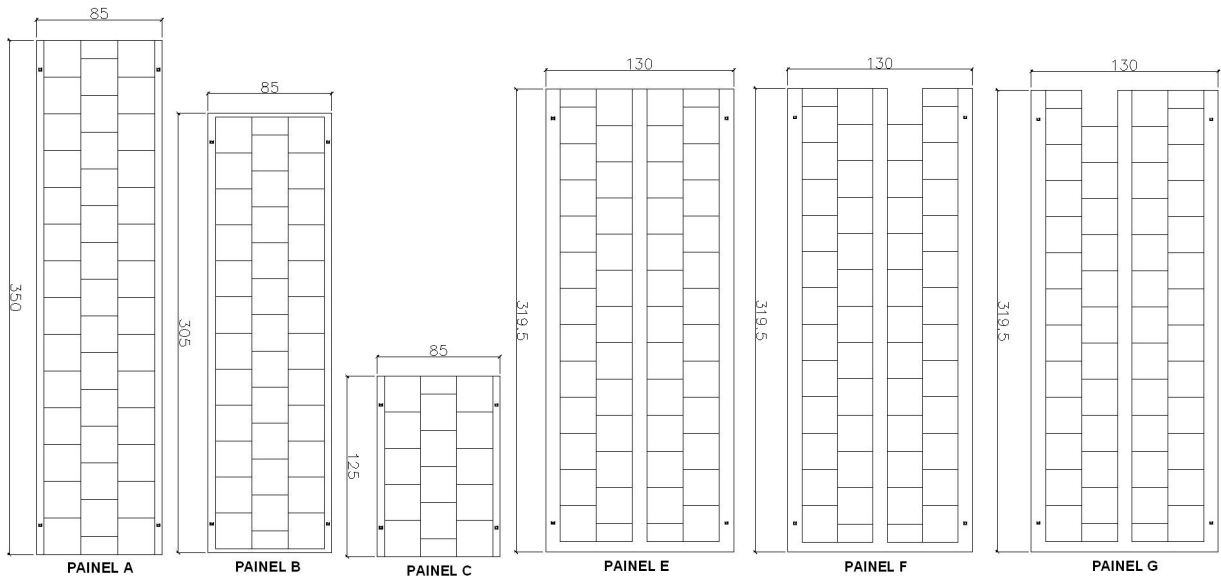


Ilustração 7.79. Painéis de cobertura planos GDA/LABSISCO/UFSC (BARTH & CARDOSO, 2003)

Os revestimentos interno e externo são incorporados ao processo de fabricação dos painéis de cobertura planos, enquanto que nos de parede, somente o externo.

- *Painéis de cobertura curvos:*

Apenas uma tipologia construtiva é utilizada para os painéis de cobertura curvos, que também prevê um detalhamento construtivo diferenciado em função das amarrações horizontais. Assim como os painéis de cobertura planos, são pré-fabricados com os revestimentos interno e externo já incorporados.

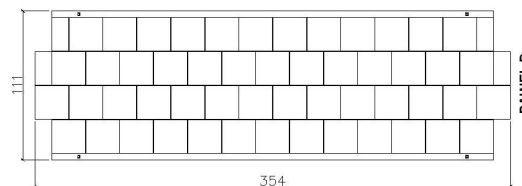


Ilustração 4.80. Painéis de cobertura curvos GDA/LABSISCO/UFSC (BARTH & CARDOSO, 2003)

Milman (1971) afirma a necessidade de reduzir ao mínimo o número de tipos de painéis pré-fabricados, a fim de se obter máxima economia. No entanto, quando a flexibilidade de fabricação é bem dimensionada, a variação das dimensões do sistema construtivo não variam significativamente o sistema de produção e sua produtividade.

- *Fundação*

Elegeu-se o tipo de fundação radier, uma laje de concreto armado executada diretamente sobre a terra previamente regularizada, visando à eliminação de escavações, à facilidade e rapidez de sua execução, à facilidade e rapidez para posterior marcação da obra e à obtenção de superfícies rígidas que facilitam o transporte horizontal e permitem a produção e estocagem de componentes no próprio canteiro, resolvendo assim a questão de falta de espaço.



Ilustrações 4.81. e 4.82. Anexo LMCC: fundação tipo radier

- *Produção e Montagem*

A produção dos painéis GDA/LABSISCO/UFSC é realizada mediante a utilização de mesas, ergonomicamente projetadas para facilitar o trabalho dos operários, conferindo assim maior produtividade ao processo. Dentro do caráter experimental do trabalho, testaram-se diversos tipos de mesas. Para os painéis planos foram experimentadas a mesa metálica basculante e a mesa fixa de madeira. Para os painéis curvos testaram-se duas mesas de madeira, uma côncava e outra convexa (Ilustrações 4.83. à 4.86).



Ilustrações 4.83. à 4.86. Mesas e formas utilizadas no processo GDA/LABSISCO/UFSC

Utilizam-se formas de madeira para moldagem dos painéis (Ilustrações 4.83. à 4.86.), que são colocadas sobre as mesas com auxílio de equipamentos de fixação. Procede-se então a aplicação de óleo desmoldante nas superfícies da mesa e da forma (Ilustração 4.87.). Ao mesmo tempo em que ocorrem estes procedimentos, é montada, com auxílio de um gabarito de madeira, a armadura perimetral do painel, que é composta por tela metálica quadriculada (1cmx1cm), barra de aço de 5mm e inserts metálicos (Ilustração 4.88.).



Ilustrações 4.87. e 4.88. Aplicação de desmoldante e armadura perimetral

Inicia-se então o processo de colocação dos blocos, que são dispostos em contrafiado vertical, unidos com a aplicação de uma argamassa colante (Ilustração 4.89.). Os blocos das extremidades inferior e superior são capeados para evitar a penetração de argamassa nos septos dos blocos (Ilustração 4.89.). Durante a colocação dos blocos, resguarda-se com o auxílio de espaçadores, o espaço da armadura perimetral (Ilustração 4.89.).



Ilustrações 4.89., 4.90. e 4.91. Colocação dos blocos e da armadura perimetral

É colocada então dentro da forma a armadura perimetral, que traz com ela os inserts metálicos acoplados (Ilustrações 4.90. e 4.91.). Inicia-se então o preenchimento do espaço perimetral com a argamassa de reforço (Ilustração 4.92.), composta com cimento de Alta Resistência Inicial (ARI), para a desmoldagem poder se efetivar dentro de 24 horas.

A etapa final de fabricação do painel é a aplicação da camada de revestimento externa (Ilustração 4.93.), visando melhor proteção contra as intempéries. Observou-se grande produtividade na fabricação horizontal da camada de revestimento.



Ilustrações 4.92. e 4.93. Aplicação da argamassa de reforço e da argamassa de revestimento

Após a cura de 24 horas, iniciam-se os procedimentos de içamento do painel. Primeiramente colocam-se ganchos nos inserts metálicos. Nestes passarão as cordas que erguerão o painel com o auxílio de uma talha manual (Ilustrações 4.94. e 4.95.).



Ilustrações 4.94. e 4.95. Içamento do painel

Os painéis são então transportados para as áreas de depósito com o auxílio de uma empilhadeira.



Ilustrações 4.96. e 4.97. Transporte e empilhamento dos painéis

Os painéis de cobertura possuem uma resolução estrutural diferenciada dos painéis de parede (Ilustração 4.98.). Ao invés de uma estrutura perimetral, utilizam-se três linhas estruturais longitudinais no painel, distribuídas eqüitativamente. A nervura central conta com duas barras de aço (5mm), enquanto que as nervuras dos cantos contam com três barras de aço (5mm). A tela industrializada é utilizada agora como uma manta que envolve completamente as quatro faces do painel, sendo fundidas dentro da argamassa de cimento ARI, que preenche todos os espaços vazios do painel uniformemente, constituindo-se inclusive como revestimentos interno e externo.



Ilustrações 4.98. e 4.99. Painéis de cobertura: resolução estrutural

CAPÍTULO 5 – ANÁLISES MORFOLÓGICAS E CONSTRUTIVAS

5.1. Análises espaciais e morfológicas

5.1.1. Arranjo arquitetônico estrutural

De acordo com a bibliografia e estudos de casos levantados, observam-se inicialmente algumas recomendações de ordem estrutural para projetos com painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, que se destinam não somente a projetos habitacionais de interesse social, mas à todo e qualquer tipo de projeto que utilize a tecnologia em questão.

As recomendações feitas por Franco (1992) no item 2.7.6. foram observadas em todos os projetos analisados, levando-se a observar novamente a importância da distribuição equilibrada dos painéis resistentes por toda área da planta, evitando a concentração de carregamentos em determinadas regiões do edifício, a utilização destes na composição de paredes de contraventamento e de enrijecedores, de tal forma a obter estabilidade do edifício em todas as direções, e a utilização destes para composição de plantas simétricas, que evitem o surgimento de tensões de torção advindas de esforços laterais. Assim como observado na obra do arquiteto Joan Villá, os enrijecedores pontuais, ou seja, que contribuem no quadro de enrijecimento de uma determinada parede, podem ser pensados de maneira a atenderem também a funções estéticas.

5.1.2. Arranjo arquitetônico flexível (flexibilidade compositiva)

Os projetos com painéis pré-fabricados possuem uma gama menor de possibilidades de flexibilização, pois nestes, as divisórias internas, assim como os vedos perimetrais, são estruturais, não podendo o espaço interno ser reformulado com a mesma liberdade que se reformula o espaço interno das construções com vedações internas não estruturais.

Como pode ser verificado nos protótipos da UNICAMP, a flexibilidade nestes projetos pode ser alcançada através da definição de arranjos arquitetônicos que permitam ampliações (horizontais ou verticais), ou ainda através da reformulação

quanto ao dimensionamento do espaço arquitetônico, devendo-se para tal fim, efetuar-se a previsão em projeto de alguns painéis de vedação interna e externa removíveis, que venham a permitir estas futuras modificações, sem que isto no entanto represente comprometimento ao arranjo estrutural e à concepção arquitetônica original.

A solução flexível de marginalização das áreas molhadas em relação às áreas secas, utilizada em todos os projetos analisados, que podem vir à facilitar futuros serviços de reformulação interna, mostrou-se satisfatória para obtenção de economia na construção, tanto pela redução dos sistemas de distribuição de água e esgoto, quanto pela diminuição do número de painéis com instalações.

A rigidez dos espaços internos observados nas habitações das famílias de baixa renda por todo Brasil pode ser amenizada com soluções de plantas abertas, tais como a do conjunto residencial de Cotia/SP, que integra as funções estar/cozinhar em um único ambiente de grandes dimensões.

A flexibilidade através de plantas abertas pode vir também a favorecer a economia do projeto, através da diminuição da quantidade de painéis de parede (vedações verticais), que como observado por Mascaró (1985) representam 40% dos custos totais da edificação.

Os projetos dos protótipos de Villá evidenciam que o processo construtivo em painéis cerâmicos apresentam uma boa flexibilidade compositiva quanto aos aspectos formais e de distribuição das partes, mostrando que com tal processo pode-se configurar tanto soluções regionais, como também soluções mais modernas.

5.1.3. Forma

A partir da análise da bibliografia e dos estudos de casos, verificou-se a possibilidade de se obter uma grande diversidade formal nas composições com painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados. O sistema de fracionamento da construção em partes montáveis, inerente ao processo de pré-fabricação, permite que se simplifique a construção das formas de maior dificuldade técnica de execução, uma vez que tais partes são fabricadas em situações que visam o aumento da produtividade do processo através da eliminação das dificuldades técnicas encontradas nos processos artesanais. Esta simplificação produtiva pode ser muito bem aproveitada através de seu emprego em empreendimentos habitacionais que utilizam o sistema de mutirões para

composição de conjuntos habitacionais de interesse social com formas interessantes e diferenciadas, fugindo da monotonia formal geralmente encontrada neste setor.

Como visto anteriormente no item 2.7.4., a economia na construção de edificações pode ser obtida na fase de concepção, por meio de procedimentos simples e racionais como a organização racional do espaço, o dimensionamento rigoroso de seus componentes, o estudo da disposição de seus compartimentos e a observância de regras geométricas (ROSSO, 1978).

Baseando-se nos estudos de Mascaró (1985), ou seja, buscando as formas compactas na busca pela redução nos custos de construção ao invés da redução das áreas úteis, observa-se através do estudo de caso nº 5 e nº 6, a possibilidade de exploração das formas curvas (mais compactas) para emprego no setor habitacional. Estas formas não fazem parte da cultura construtiva local, principalmente pelo fato de implicarem em técnicas construtivas mais complexas e problemas práticos de execução. Porém, utilizadas por diversas culturas em todo globo, inclusive pelos índios tupis-guaranis, as formas circulares configuram-se como uma solução orgânica e econômica, já que são auto-estruturantes. São encontradas nas mais diversas arquiteturas vernaculares, das mais diversas civilizações, demonstrando que tal solução apresenta um conhecimento técnico acumulado durante milênios, como uma resposta natural aos meios de composição presentes. A pré-fabricação destas formas em painéis, poderia simplificar consideravelmente as ações construtivas e de montagem, assim como é verificado nas vedações horizontais e verticais planas.

Uma solução interessante a ser explorada para o setor habitacional de interesse social, visando ainda maior economia e produtividade, seria a utilização de painéis que fundissem paredes e coberturas em um único subsistema, tais como os painéis ARCAVE citados no item 2.6.2. Além da forma compacta como estratégia econômica, ter-se-ia ainda, um único elemento construtivo resolvendo dois subsistemas, dinamizando assim ainda mais a produtividade do processo.

Levando-se em consideração os estudos do CSTB que apontam as vedações como responsáveis por 75% dos custos da edificação, e os estudos de Mascaró (1985) que apontam as vedações verticais como responsável por 40% dos custos das vedações verticais, representada pela vedação e fracionamento do espaço, aponta-se novamente as soluções flexíveis de planta aberta e de formas simples como decisão econômica mais lógica, pela redução da quantidade de painéis internos.

As recomendações de Lucini (1996) quanto ao emprego das edificações perimetrais com pátio central para empreendimentos habitacionais sociais puderam ser observadas na Moradia Estudantil, e notadamente se configuram como recurso econômico de grande interesse para a produção habitacional de interesse social. No entanto, se faz importante observar os critérios de desempenho ambiental que não foram observados coerentemente em tal empreendimento, tais como as exigências de iluminação, ventilação e desempenho termo-acústico satisfatório, evitando assim o surgimento das patologias verificadas. Neste ponto os painéis GDA/LABSISCO/UFSC vêm procurando se enquadrar nos padrões normativos Brasileiros.

5.1.4. Tipologias arquitetônicas

Observa-se através dos estudos de casos, que as tipologias a serem utilizadas com o processo construtivo em estudo são irão sempre depender do talento criador do projetista. O orçamento disponível para um determinado empreendimento deverá ser analisado de antemão, a fim de se realizar um levantamento sobre as implicações econômicas na utilização de diferentes tipologias. As relações econômicas não precisam ser traduzidas em custos, mas em vínculos proporcionais físicos entre os elementos da edificação (MASCARÓ, 1985).

Os estudos de caso demonstraram as diversas possibilidades arquitetônicas dos painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, sendo utilizados não somente como paredes e coberturas, mas também como outros elementos constituintes do espaço (escadas, pilares, etc.).

A criatividade do projetista também é fundamental para se conseguir explorar satisfatoriamente a repetitividade do processo construtivo na configuração de tipologias diferenciadas. Interessante observar que com uma mínima variabilidade tipológica dos painéis, obedecendo a uma única modulação, é possível se resolver toda arquitetura com grande qualidade, dimensionando-se os espaços com funcionalidade, fugindo da monotonia formal e compositiva encontrada geralmente nas habitações de interesse social.

A tipologia a ser utilizada deverá ser visualizada pensando-se sempre na utilização de paredes portantes e paredes de contraventamento, explorando-se

também a utilização de enrijecedores estabilizadores e pensando-se sempre também na amarração estrutural dos painéis sendo feita pela cobertura.

5.1.5. Fachadas

Ficou demonstrado através dos estudos de casos, que a linguagem arquitetônica da construção pré-fabricada com painéis possibilita a exploração de desenhos geométricos nas fachadas, configurados pelas juntas horizontais e verticais.

O aspecto rústico dos elementos cerâmicos à vista também pode ser satisfatoriamente explorado, desde que se tenham as devidas preocupações com a qualidade do material empregado, a fim de se evitar problemas de quebra e problemas de umidade.

Observa-se também a possibilidade de exploração dos painéis nas fachadas para composição de elementos vazados, simplesmente como elementos estéticos, ou agregando funções estéticas com funções de conforto térmico (ventilação e iluminação).

5.1.6. Modulação

Pôde-se valorar nos estudos de casos, muitas das vantagens advindas da adoção da coordenação modular, enumeradas anteriormente na revisão bibliográfica, tais como simplificação do projeto e execução, maior flexibilização, redução de falhas, aumento da precisão e padronização, redução de perdas e facilidade de assimilação da tecnologia pela mão-de-obra, levando-se a afirmação de que a modulação deve ser prioritária em qualquer empreendimento habitacional de interesse social.

Na escolha de modulações produtivas, devem-se utilizar elementos cerâmicos com dimensões que favoreçam a obtenção de todas as medidas altimétricas e planimétricas múltiplas do módulo adotado. As juntas podem vir a favorecer a obtenção de tais medidas, devendo-se ter o cuidado para que estas não fujam de seus padrões normativos de desempenho estrutural.

A modulação configura-se também como um fator de simplificação produtiva, uma vez que suas ações podem também ser exploradas favoravelmente em empreendimentos habitacionais sociais por mutirão.

5.2. Análises construtivas

5.2.1. Tipos de painéis

Observa-se que praticamente quase todos os subsistemas da edificação podem ser pensados como soluções pré-fabricadas em painéis, desde as vedações verticais e horizontais, passando pelas escadas, bancos, elementos vazados, até os mais diversos elementos estéticos que podem ser incorporados nas fachadas. Além disso, o fracionamento da forma adotada para construção de um espaço, determinará a tipologia do painel a ser fabricado.

Dentro de uma mesma categoria de painel, as opções podem também ser diversificadas, de maneira a se permitir uma maior possibilidade de escolha, tal como é observado nas coberturas do processo de Villà, que se distribuem em três opções construtivas diferenciadas. Essa variedade de escolha dentro de uma mesma categoria de painel pode ser incrementada de acordo com a utilização que se faz da variação dimensional destes, podendo-se alterar para um mesmo tipo de painel a largura, a espessura e a altura. A variação dentro de uma mesma categoria de painel pode acontecer também através da diferenciação obtida com a aplicação ou não da camada de revestimento, que pode ser um revestimento tradicional (chapisco e reboco) ou simplesmente uma pintura decorativa, tal como foi utilizada no empreendimento de Cotia/SP.

Nos painéis com instalações verificados nos estudos de casos, a única opção construtiva utilizada foi o embutimento das instalações nos septos dos blocos cerâmicos. Outras soluções podem ser utilizadas produtivamente também neste sentido, tais como emprego de tubulações aparentes, ou ainda utilização de shafts.

5.2.2. Tipologias construtivas de painéis

Observa-se que dentre as possibilidades construtivas para composição dos painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, não existe necessariamente uma tipologia construtiva ideal para os painéis. Os meios de composição de cada situação regional específica deverão ser sempre analisados de antemão para se eleger os materiais e técnicas construtivas mais produtivos a ser empregados. O processo apresenta-se em

constante aperfeiçoamento, devendo-se ainda estudar outras soluções construtivas para composição destes painéis.

Podem-se ter diversas variações construtivas entre diferentes tipos de painéis, tal como foi observado no processo GDA/LABSISCO/UFSC, como pode-se também ter um mesmo esquema construtivo básico para os diferentes tipos de painéis empregados numa determinada obra, tal como pôde ser verificado nas obras de Villà.

Embora ainda não tenha sido objeto do desenvolvimento do processo em andamento, a utilização dos painéis com os elementos cerâmicos aparentes confere maior produtividade ao processo pela eliminação da etapa de aplicação de revestimento, como também cria uma estética rústica ao empreendimento. Se faz importante porém, eleger materiais que possuam baixa absorção de água, boa resistência mecânica, e se possível, que já possuam uma camada impermeabilizante para proteção contra as intempéries. Caso contrário, as soluções que se farão necessárias para conservação do edifício com o passar dos anos, tal com a aplicação de silicone, serão sempre paliativas, incorporando altos custos de manutenção.

Observa-se que os problemas detectados nas obras de Villà (trincas, rachaduras, umidade, conforto térmico e acústico) não são referentes ao elemento painel, mais sim ao tipo de bloco utilizado para composição deste, apresentando como elementos deficientes a pequena espessura, a grande fragilidade, a grande absorção de água e a falta de regularidade dimensional. Neste sentido, recomenda-se a utilização de materiais que atendam aos padrões normativos brasileiros, apresentando espessura mínima de 14cm, baixa absorção de água e boa resistência mecânica.

Recomenda-se a utilização dos elementos cerâmicos vazados com seus septos dispostos no sentido longitudinal do painel, adquirindo-se assim o melhor rendimento estrutural destes componentes. Em algumas situações, como pôde ser observado nas obras de Villà, pode ser explorada a possibilidade de utilização de painéis de vedação constituídos com elementos cerâmicos com seus septos dispostos no sentido transversal do painel, compondo-se paredes ventiladas, referenciando os elementos vazados que foram amplamente utilizados no período moderno, e que acabaram caindo de certa forma no esquecimento.

Observa-se também a importância de se fazer a disposição dos blocos em contrafiado vertical, melhorando assim a amarração dos blocos dentro do painel. No processo GDA/NPC/UFSC, essa ação mostrou-se também satisfatória para melhor

aderência dos blocos, que são assentados com a argamassa colante de rápida secagem para maior produtividade do processo.

5.2.3. Fundações das obras com painéis

A utilização massiva do radier em todas as obras observadas evidencia as vantagens que este tipo de fundação proporciona, tais como a eliminação de escavações, a facilidade e rapidez de sua execução, a facilidade e rapidez para posterior marcação da obra e a obtenção de superfícies rígidas que facilitam o transporte horizontal e possibilidade da produção e estocagem de componentes no próprio canteiro, resolvendo assim a questão de falta de espaço.

5.2.4. Produção flexível

Observa-se que o processo construtivo em painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados pode ser empregado de diversas formas, desde a pré-fabricação em canteiro, empregando equipamentos de pequeno e médio porte até a pré-fabricação em fábricas, caracterizando o processo industrial no qual poderão ser empregados equipamentos de grande porte. Podem ser dimensionados para obras que utilizem mão-de-obra por ajuda-mútua (mutirões), sendo pré-fabricados com dimensões ergonômicas para transporte e içamento manual, como podem ser dimensionados para grandes empreendimentos que utilizem recursos avançados para transporte horizontal e vertical, tal como caminhões com guias, evidenciando uma grande flexibilidade produtiva do processo.

Nos painéis desenvolvidos por Villá, apenas a altura dos painéis era variável, enquanto que nos painéis GDA/NPC/UFSC, além da altura, a largura também possuía variações, demonstrando uma maior flexibilidade produtiva. Para obtenção do maior grau de flexibilidade de produção, deve-se pensar em mesas e formas que permitam ajustes nas três dimensões dos painéis. O trabalho conjunto com um engenheiro de produção no momento da concepção destes equipamentos pode trazer soluções produtivas neste sentido. Uma boa resolução destes equipamentos pode permitir a utilização de inúmeros tipos de painéis num mesmo empreendimento, sem comprometer a produtividade do processo.

É importante ressaltar que para qualquer que seja o empreendimento, os melhores resultados só serão obtidos se o processo construtivo em questão for trabalhado de maneira aberta, ou seja, baseada na flexibilidade de produção, para possibilitar ajustes modulares nas dimensões dos painéis e interação com outros processos construtivos, adquirindo assim uma maior liberdade para resolução dos espaços. Esta flexibilidade também se mostra importante frente à necessidade de adequação do processo construtivo com as mais diversas realidades geográficas e sócio-econômico-culturais, principalmente num país de território tão extenso como o Brasil.

5.2.5. Dimensões dos painéis

Verificou-se que quanto maior o tamanho do painel, mais rápido será o processo de montagem. No entanto, o aumento das dimensões dos painéis implica no aumento do seu peso, de maneira que quanto maior for seu tamanho, maior serão os custos com equipamentos para transporte horizontal e vertical destes. Da mesma maneira, quanto menor for o tamanho do painel, maior será o tempo de montagem, mais o processo de fabricação no entanto será mais ágil. O porte do empreendimento irá determinar quais dimensões deverão ser adotadas, de acordo com os recursos capitais disponíveis, a fim de se obter a solução mais econômica e produtiva. Para grandes empreendimentos, poderão ser utilizados painéis de grande dimensões, conseguindo-se diluir satisfatoriamente os custos de locação de equipamentos.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

6.1. Conclusões gerais

O objetivo principal proposto para esta dissertação foi desenvolver o estudo dos aspectos morfológicos e construtivos dos tipos arquitetônicos edificados com painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, visando-se apontar algumas soluções adequadas a serem utilizadas favoravelmente na produção habitacional de interesse social. Para alcançar este objetivo, foram estabelecidos mais três objetivos específicos. O primeiro deles, que consistia na conceituação e caracterização dos processos construtivos com painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados foi desenvolvido no capítulo 2, no qual foi feita a revisão bibliográfica sobre os tópicos necessários ao entendimento dos processos construtivos com painéis pré-fabricados.

O segundo objetivo específico, que era o de analisar morfológica e construtivamente, através de estudos de casos, a construção composta por painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, foi desenvolvido nos capítulos 4 e 5, sendo que, no capítulo 4 foram levantadas e organizadas em tópicos pontuais as características em estudo, e no capítulo 5 estas foram analisadas, também de maneira organizada através de tópicos pontuais.

O terceiro objetivo específico, que era o de propor recomendações arquitetônicas para a produção espacial de interesse social, adequadas aos processos construtivos em painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados foi desenvolvido também dentro do capítulo anterior, juntamente com as análises, e aparecerá neste capítulo também, juntamente com as conclusões.

De acordo com as análises morfológicas e construtivas que puderam ser obtidas com o desenvolvimento do estudo dos tipos arquitetônicos edificados com painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, chega-se a conclusão geral de que estes processos configuram-se realmente numa solução de grande valia para contribuição do enfrentamento de déficit habitacional brasileiro, pois demonstram um grande potencial de racionalização e industrialização, configurando-se também como uma solução tecnológica uniforme e produtiva, que apresenta bons índices de produtividade e qualidade para diversos níveis de estratificação social, podendo assim atingir bons

índices de economia e rapidez na construção, possibilitando também a configuração de tipologias satisfatórias quanto aos níveis de habitabilidade e flexibilidade.

O processo demonstrou a possibilidade de ser explorado dentro de uma síntese favorável entre estética e economia na composição de espaços diferenciados e atraentes, mas principalmente habitáveis.

Demonstra também uma síntese favorável entre uma proposta de industrialização com um processo tradicional, configurando um processo construtivo extremamente racionalizado, com bom nível de controle tecnológico e apropriado tanto para construção de grande porte, com utilização de equipamentos de transporte horizontal e vertical, como também para a construção por mutirão, que utiliza a mão-de-obra intensiva. Neste último caso, não se exige mão-de-obra especializada, uma vez que as dificuldades técnicas encontradas na construção tradicional (artesanal) são superadas através das facilidades tecnológicas e de execução que são advindas dos processos de pré-fabricação, podendo-se assim diminuir o tempo e os custos da construção.

Vale dizer novamente que o fator criativo é fundamental para a melhor exploração das potencialidades do processo construtivo em painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, adequando satisfatoriamente economia, qualidade e estética.

Mais do que simplesmente apresentar uma proposta de solução para o problema habitacional brasileiro, os painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados possibilitam a realização de uma boa arquitetura, totalmente diferenciada das soluções tradicionais desenvolvidas para as habitações populares, pois o processo fornece as condições necessárias para o desenvolvimento de soluções arquitetônicas adequadas ao contexto habitacional de interesse social, devendo-se para tal fim, existir uma boa exploração do potencial criativo do processo.

6.2. Conclusões específicas

Faz-se fundamental, na resolução das tipologias habitacionais de interesse social com painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, conceber o projeto arquitetônico vinculando forma estética e estrutura em uma única solução orgânica, que prevê de antemão a visualização do processo de construção com todos seus

problemas práticos de execução. As soluções estruturais satisfatórias para alvenaria estrutural com painéis cerâmicos analisadas anteriormente deverão ser sempre o ponto de partida para a resolução do partido arquitetônico.

A adoção da flexibilidade compositiva para os projetos habitacionais de interesse social a serem edificados com painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, através dos exemplos observados, configura-se como estratégia de grande valia para obtenção de economia e de uma estética favorável contra a monotonia formal e compositiva encontrada geralmente na produção habitacional de interesse social. Além das soluções de utilização de painéis removíveis e das soluções de plantas abertas e de marginalização das áreas molhadas em relação às secas, pode-se ainda alcançar outras soluções flexíveis com a utilização dos painéis. Uma delas seria o dimensionamento de painéis com estrutura perimetral que pudessem vir a ser recortados internamente para confecção de aberturas, sem que esta ação comprometa o desempenho estrutural do painel.

Ficou demonstrado que o fracionamento da construção em partes montáveis, inerente ao processo de pré-fabricação, possibilita uma maior diversidade formal devido à simplificação produtiva advinda desta ação, devendo ser melhor exploradas outras formas geométricas para composições estéticas diferenciadas para o setor habitacional de interesse social.

A compacidade, comprovadamente recomendada para redução de custos, deve ser melhor explorada, principalmente através das soluções formais de painéis que fundam mais de um subsistema em um único elemento construtivo.

A exploração das possibilidades tipológicas do processo construtivo em painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados está diretamente vinculada ao estudo da repetitividade do processo. Portanto, o alcance de uma grande variabilidade tipológica dentro de um mesmo processo deverá ser alcançada através de um estudo intensivo sobre a repetitividade deste.

A construção pré-fabricada em painéis cerâmicos estruturais demonstrou uma linguagem estética própria, que cria a exploração de desenhos geométricos nas fachadas. Ao invés de se mascarar a construção pré-fabricada, deve-se tirar partido de seus elementos na composição arquitetônica, principalmente das fachadas, configurando desenhos estéticos atraentes que evidenciam e contam como este tipo de construção é feita.

A coordenação modular, como pôde ser comprovado, é o princípio básico e inicial para qualquer empreendimento que venha a utilizar a tecnologia pré-fabricada.

As variações tipológicas dos painéis podem ser construtivas e dimensionais, sendo determinadas também pelo fracionamento da forma que se deseja realizar. Cada obra específica determinará quais formas e variações serão empregadas na confecção dos painéis, a fim de se obter produtividade e qualidade sem comprometimento do cronograma físico e financeiro. Ressalta-se novamente que não existe uma tipologia construtiva ideal de painel, devendo esta ser estudada para cada situação específica.

6.3. Recomendações para trabalhos futuros

- Estudo da flexibilidade do processo, objetivando obtenção de painéis mais flexíveis, que possibilitem recortes.
- Estudo de novas tipologias construtivas de painéis, empregando materiais e modulações diversificadas.
- Estudo do comportamento higrotérmico dos painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A.K.; FARACO, J.O. **Unidades habitacionais populares nos últimos 30 anos: evolução da área útil, custos de construção e renda exigida.** In: Anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, 1998.

AQUOTTI, N.C.F.; MARTINS, D. N. **Construções pré-fabricadas: estudo de caso.** In: Anais do II Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá. Maringá, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5731.** Coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1982.

ANDRADE, M. **A representação gráfica de projetos modulares.** In: Anais do XV Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico. Comunicação Gráfica no Século 21: Tecnologia, Educação e Arte. São Paulo, 2001.

BRAGA, Mário. **Mário Braga:** depoimento (mar. 2004). Entrevistador: Sergio Parizotto Filho. Campinas: residência do arquiteto, 2004. 1 cassete sonoro. Entrevista concedida por levantamento de informações referentes ao Processo construtivo de Joan Villà.

BRANDÃO, D.Q., HEINECK, L.F.M. **Classificação das formas de aplicação da flexibilidade arquitetônica planejada em projetos de edifícios residenciais.** In: Anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, 1998.

BRANDÃO, D.Q., HEINECK, L.F.M. **Participação do cliente através da flexibilização dos projetos de edificações: um projeto de pesquisa em desenvolvimento.** In: XVI Encontro Nacional de Engenharia da Produção. Piracicaba, 1996.

BRANDÃO, D.Q., HEINECK, L.F.M. **Variabilidade de “layouts” X Construtibilidade: algumas soluções para promoção da versatilidade espacial em apartamentos.** In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, 1998.

CASTELLS,E., HEINECK, L.F.M. **A aplicação dos conceitos de qualidade de projeto no processo de concepção arquitetônica : uma revisão crítica. Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios.** São Carlos, 2001.

COX, C.F.; FERNANDÉZ, A.T. **América Latina: nueva arquitectura una modernidad posracionalista.** Barcelona: Editora Gustavo Gilli, 1998.

MINTER/PNUD. **Dez Alternativas Tecnológicas para Habitação.** Brasília, 1989.

FERREIRA, I.C.G. **Qualidade no projeto e sistema modular na construção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 1999.

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

HABITAÇÃO ANOS 90. ArcoWeb. **Valorizar o desenho urbano.** Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura52.asp>>. Acesso em: 28 abr. 2003.

HABITAÇÃO ANOS 90. ArcoWeb. **Joan Villà e Sílvia Chile.** Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura370.asp>>. Acesso em: 12 fev. 2001.

HOBBS, B.; DAWOOD, N. **Standardisation of brickwork construction / Good practice guide through case studies.** Centre for construction innovation research / School of science and technology - University of Teeside, 2000.

LUCINI, H.C. **Requalificação Urbana e Novos Assentamentos de Interesse Social.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

MACHADO, S.L. **Sistemática de concepção e desenvolvimento de projetos arquitetônicos para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

MESQUITA, M.J.M.; MELHADO, S.B. **Relação entre a atividade de projeto e o desenvolvimento da tecnologia na construção de edifícios: inserção do valor tecnológico em sistemas de gestão da qualidade**. In: Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. São Carlos: 2001.

MITIDIERI FILHO, C.V.; CAVALHEIRO, W. **Desenvolvimento de sistemas construtivos em “painéis cerâmicos”**. A Construção São Paulo (1988): 17-20, 02/12/85 (Encarte Tecnologia de Edificações nº 68).

OLIVEIRA, L.A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, L.A.; MELHADO, L.B.; SABBATINT, F.H. **O papel estratégico do projeto para a qualidade dos painéis pré-fabricados de fachada**. In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído. Fortaleza, 2001.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano. **Déficit habitacional no Brasil 2000**. Disponível em: <<http://www.pbqp-h.gov.br/deficit2000/apresentacao.htm>>. Acesso em: 16 set. 2002.

PROJETO. **A condição criativa da construção**. São Paulo: Ed. Arco Ltda, nº 187, jul. 1995.

PROJETO/DESIGN. **Qualidade e diversidade da produção são destaques em concorrida edição**. São Paulo: Ed. Arco Ltda, nº 276, fev. 2003.

PROJETO/DESIGN. **Habitação anos 90: valorizar o desenho urbano**. São Paulo: Ed. Arco Ltda, nº 251, jan. 2001.

ROMAN, H.; MUTTI, C.N.; ARAÚJO, H.A. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

ROSSI, A. **A arquitetura da cidade**. São Paulo: Martins Fontes (coleção a), 1995.

ROSSI, A.M.G. **Exemplos de flexibilidade na tipologia habitacional**. In: Anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, 1998.

ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular**. São Paulo: Editora USP, 1976. Universidade de São Paulo / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Curso de pós-graduação / disciplina: Teoria e prática da coordenação modular.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SARRABLO, V. **Contribución a la viabilidade de cubiertas laminares de cerâmica armada mediante soluciones semiprefabricadas. Propuesta para láminas cilíndricas de pequena luz**. Tesis Doctoral (Doutorado em Arquitetura) - Universidade Politécnica de Catalunya. Barcelona, 2001.

SARRUF, G. **Planejamento participativo na definição de tipologias de unidades habitacionais**. In: Anais do IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, 2002.

SOUZA, A.L.R.; BARROS, M.M.S.B.; MELHADO, S.B. **Qualidade, projeto e inovação na construção civil**. In: Anais do V Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Rio de Janeiro, 1995.

SZÜCS, C.P. **Flexibilidade aplicada ao projeto da habitação social**. In: Anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Qualidade no Processo Construtivo. Florianópolis: 1998.

TANIGUTI, E., MASSETTO, L., BARROS, M.M.B. **A indústria de materiais, componentes e equipamentos e a inovação tecnológica no processo de produção de edifícios**. In: Anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Qualidade no Processo Construtivo. Florianópolis: 1998.

ULRICH, H., SACOMANO, J.B. **O processo de projeto na busca da qualidade e produtividade**. In: 1º Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho. Recife, 1999.