

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**HABITAÇÕES POPULARES CONSTRUÍDAS COM
PLACAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÕES DE
BORRACHA DE PNEUS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ana Lúcia Köhler

Santa Maria, RS, Brasil

2010

HABITAÇÕES POPULARES CONSTRUÍDAS COM PLACAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÕES DE BORRACHA DE PNEUS

Ana Lúcia Köhler

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. José Mario Doleys Soares

Santa Maria, RS, Brasil

2010

K79h Köhler, Ana Lúcia
Habitações populares construídas com placas cimentícias com adições de
borracha de pneus / por Ana Lúcia Köhler. – 2010.
135 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: José Mario Doleys Soares
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2010

1 .Engenharia civil 2. Casas pré-moldadas 3. Unidades habitacionais
4. Material reciclado I. Soares, José Mario Doleys II. Título.

CDU 624

Ficha catalográfica elaborada por Denise Barbosa dos Santos – CRB 10/1756
Biblioteca Central UFSM

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil


A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**HABITAÇÕES POPULARES CONSTRUÍDAS COM PLACAS
CIMENTÍCIAS COM ADIÇÕES DE BORRACHA DE PNEUS**

elaborada por
Ana Lúcia Köhler

Como requisito parcial de obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:


Prof. Dr. José Mario Doleys Soares
(Presidente/Orientador)


Prof.ª Dr.ª Nirce Saffer Medvedovski - UFPel


Prof. Dr. Caryl Eduardo Jovanovich Lopes - UFSM

Santa Maria, 20 de Dezembro de 2010

AGRADECIMENTO

Esta dissertação faz parte de um projeto desenvolvido com apoio de várias entidades como a Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul, Penitenciária de Santa Cruz do Sul, FINEP, UFSM e UNISC.

Agradeço especialmente do meu marido e companheiro de todas as horas, pelo apoio e paciência para agüentar o estresse durante as viagens e a grande ajuda para montar os ensaios.

A minha mãe pela colaboração de cuidar com tanto carinho o meu filho. Ao meu filho e companheiro de todas as viagens, durante os 2 anos de estudo.

Ao meu orientador, Prof^o. Dr. José Mario D. Soares, pela aceitação de orientação e paciência ao longo dos anos do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço o Eng^o. Marcus Daniel F. dos Santos, pelo esforço e paciência pela orientação e a contribuição com valiosas informações no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Eng^o Eletricista Prof^o. Dr. Henrique Stangarlin, pela atenção e disponibilidade de tempo. Aos meus colegas da graduação na UNISC agradeço o desempenho e parceria no desenvolvimento do projeto.

Ao Laboratório de Materiais da Construção Civil (UFSM), agradeço especialmente a ajuda e atenção dos funcionários e dos bolsistas que me ajudaram a realizar os ensaios.

A todos que colaboraram mesmo que indiretamente para a elaboração desta dissertação.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade de Santa Maria

HABITAÇÕES POPULARES CONSTRUÍDAS COM PLACAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÕES DE BORRACHA DE PNEUS

AUTORA: ANA LÚCIA KÖHLER

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ MARIO DOLEYS SOARES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de dezembro de 2010

Uma habitação popular deve ser entendida não somente como uma simples unidade habitacional, mas também como um espaço confortável, seguro e salubre; sendo assim é necessário estudo sobre a utilização de materiais alternativos, bem como as tipologias mais indicadas. Resíduos de borracha de pneu estão sendo utilizados em diversas áreas da construção civil, sendo como um agregado fino no concreto, painéis de revestimento ou no isolamento acústico. A aplicação do sistema de placas pré-moldadas, construídas com material reciclável (resíduo de borracha) é empregada em edificações populares, há quase duas décadas, na cidade de Santa Cruz do Sul - RS. O sistema construtivo é executado em parte com a utilização de mão de obra carcerária, com as placas sendo produzidas na Penitenciária e pela autoconstrução de residências com áreas de 40 e 60 m² no sistema de mutirão. No entanto ainda faltaram dados científicos sobre as características construtivas destas casas, bem como uma avaliação pós-ocupacional. Assim, o presente Trabalho apresenta dados referentes aos ensaios de corpo mole e duro, estanqueidade à água, conforto térmico e resistência ao fogo, bem como apresenta a base da avaliação pós-ocupacional das casas já existentes, com novas propostas arquitetônicas. Os ensaios mostraram que não todos os parâmetros analisados estão dentro do previsto pelas normas técnicas (NBRs). Para atender às necessidades dos usuários e de futuras unidades habitacionais, novas propostas arquitetônicas para casas com 29,13m², 29,28m², 44,32m² e 59,60m² são apresentadas utilizando o sistema construtivo com placas pré-moldadas com adição de resíduo de borracha.

Palavra-chave: casas pré-moldadas; unidades habitacionais; material reciclado

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade de Santa Maria

HABITAÇÕES POPULARES CONSTRUÍDAS COM PLACAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÕES DE BORRACHA DE PNEUS

AUTORA: ANA LÚCIA KÖHLER

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ MARIO DOLEYS SOARES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de dezembro de 2010

A popular habitation must be understood not only as a simple habitation unit but also as a comfortable, safe and salubrious space. Therefore it is necessary a study regarding the use of alternative materials, as well as the more indicated architectonic typologies. Rubber residuals of tires are being used in different areas of civil construction, as a thin aggregate of concrete, revetment panels or in acoustics isolation. The application of the system of pre-molded plates, constructed with recyclable material has been used in popular buildings for most two decades in the city of Santa Cruz do Sul, RS. The construction system is executed in parte by prisoner workers, with the concrete plates being produced in the penitentiary, and through the self-construction of residencies with areas of 40 e 60m² by self-participation. However are still lacking scientific data on the constructive characteristics of these houses, as well as a after-occupational evaluation. Thus, the present Work presents data referring to the assays of soft and hard body, water resistant, thermal comfort and resistance to fire, as well as presents the base of the after-occupational evaluation of already existing houses for with new architectural proposals. The assays had shown that not all the analyzed parameters are inside the technical norms scales (NBRs). To take care of the necessities of the users of future habitation units, new architectural proposals for houses with 29,13m², 29,28m², 44,32m² and 59,60m² are presented using the constructive system with molded panels with addition of rubber residue.

Key-words: pre-molded houses; habitation units; recycled material

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Energias e altura de queda.....	49
TABELA 02 – Indicações de impacto	51
TABELA 03 – Indicações de impacto	51
TABELA 04 – Características construtivas das residências analisadas.....	54
TABELA 05 – Período de registros da temperatura com HOBOS.....	55
TABELA 06 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão; $T_{i,Max}$ (Valor máximo diário de temperatura do ar no interior da casa, em °C), $T_{e,Max}$ (Valor máximo diário de temperatura do ar no exterior à casa, em °C). 75	75
TABELA 07 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno; $T_{i,Min}$ (Valor mínimo diário de temperatura do ar no interior da casa, em °C), $T_{e,Min}$ (Valor mínimo diário de temperatura do ar no exterior à casa, em °C)... 75	75
TABELA 08 – Dados da temperatura Mínima Interna (Int.) e Externa (Ext.) da casa com placas de 5 cm de espessura dos meses de Inverno, junto a diferença (Dif.) diária entre as duas; em negrito dias com mínima abaixo de 15°C.....	75
TABELA 09 – Dados da temperatura Mínima Interna (Int.) e Externa (Ext.) da casa com placas de 3 cm de espessura dos meses de Inverno, junto a diferença (Dif.) diária entre as duas; em negrito dias com mínima abaixo de 15°C.....	76
TABELA 10 – Dados da temperatura Máxima Interna (Int.) e Externa (Ext.) da casa com placas de 3 cm de espessura dos meses de verão, junto a diferença (Dif.) diária entre as duas; em negrito dias com máxima acima de 30°C	76
TABELA 11 – Dados da temperatura Máxima Interna (Int.) e Externa (Ext.) da casa com placas de 5 cm de espessura dos meses de verão, junto a diferença (Dif.) diária entre as duas; em negrito dias com máxima acima de 30°C	77
TABELA 12 – Valores máximos dos ensaios de resistência ao fogo das placas de 3 cm	79
TABELA 13 – Valores máximos dos ensaios de resistência ao fogo das placas de 5 cm	79
TABELA 14 – Tempo em minutos até atingir as temperaturas limites exigidos pela ABNT NBR 5628	87
TABELA 15 – Tipologia das casas e número de placas e pilares utilizados	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Localização das áreas de estudo: protótipo no bairro Vila Nazaré II (marcação vermelha), conjuntos habitacionais para APO (marcação verde), Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.....	45
FIGURA 02 – Fachada da casa de 40,0m ² , bairro Santuário.....	47
FIGURA 03 – Fachada da casa de 60,0m ² , bairro Santuário.....	47
FIGURA 04 – Preparação das placas para os ensaios de impacto realizado no laboratório.....	49
FIGURA 05 – Ensaio de corpo mole realizado no laboratório.....	49
FIGURA 06 – Ensaio de corpo mole realizado no protótipo.....	49
FIGURA 07 – Ensaio de corpo mole realizado no protótipo.....	49
FIGURA 08 – Saco cilíndrico de couro preenchido com areia, 40kg frente a estrutura para realização dos ensaios no laboratório.....	50
FIGURA 09 – Marcador do deslocamento residual.....	50
FIGURA 10 – Esfera maciça de aço utilizada no ensaio.....	50
FIGURA 11 – Impacto de corpo duro.....	51
FIGURA 12 – Parede montada para ensaio.....	52
FIGURA 13 – Aparelho para ensaio de estanqueidade.....	52
FIGURA 14 – Datalogger (HOBO) utilizado nos ensaios.....	54
FIGURA 15 – Vista frontal do forno com pórtico para o ensaio.....	56
FIGURA 16 – Captação dos dados online via Datalogger conectado ao computador.....	56
FIGURA 17 – Montagem final da placa no pórtico, junto os termopares e captação dos dados para realização do ensaio.....	57
FIGURA 18 – Agrupamento dos Termopares: 2 na face interna, 2 na externa e 2 no meio da placa.....	57
FIGURA 19 – Faixa etária das pessoas que habitam nas casas.....	60
FIGURA 20 – Faixa de renda (R\$) familiar das famílias pesquisadas.....	61
FIGURA 21 – Vista de um dos loteamentos sem pavimentação na rua.....	62

FIGURA 22 – Umidade nas placas do banheiro.....	63
FIGURA 23 – Umidade ao redor de todo o piso do banheiro	63
FIGURA 24 – Material utilizado para as alterações dos sanitários.....	64
FIGURA 25 – Porta em ferro com ferrugem e solta na dobradiça.....	64
FIGURA 26 – Instalação hidrossanitária aparente	65
FIGURA 27 – Instalação hidráulica aparente	65
FIGURA 28 – Materiais utilizados para a divisão dos ambientes nas habitações de peça única.....	66
FIGURA 29 – Ampliação da casa, uso da vegetação no entorno	67
FIGURA 30 – Plantio de horta e árvores frutíferas no terreno.....	67
FIGURA 31 – Opinião dos moradores quanto ao conforto higrotérmico (inverno e verão)	68
FIGURA 32 – Dados dos ensaios de impacto de corpo mole	69
FIGURA 33 – Dados dos ensaios de impacto de corpo mole	69
FIGURA 34 – Detalhes das placas sob ensaio de impacto de corpo mole	70
FIGURA 35 – Impacto de corpo duro	70
FIGURA 36 – Impacto de corpo duro	71
FIGURA 37 – Placas montadas para o teste, visível as juntas horizontais entre os painéis de 5 cm, com vedação de argamassa colante (AC2).....	72
FIGURA 38 – Placas montadas para o teste, visível microfissuras horizontais causadas pelo ajuste do aparelho.....	72
FIGURA 39 – Pilar entre as placas de 5 cm, visível microfissuras horizontais causadas pelo ajuste do aparelho.....	73
FIGURA 40 – Exemplo das temperaturas levantadas com HOBOS na casa com placas de 3cm	74
FIGURA 41 – Exemplo das temperaturas levantadas com HOBOS na casa com placas de 5cm	74
FIGURA 42 – Médias da diferença das temperaturas mínimas (inverno) e máximas (verão) para as casa com placas de 3 cm e 5 cm.....	78

FIGURAS 43 e 44 – Testes de transmissão de calor com placa de 3 cm, mostrando o desenvolvimento das temperaturas ao longo dos ensaios; linhas de cores iguais mostram as repetições de medida na face interna, externa e metade da espessura da placa	80
FIGURAS 45 e 46 – Testes de transmissão de calor com placa de 5 cm, mostrando o desenvolvimento das temperaturas ao longo dos ensaios; linhas de cores iguais mostram as repetições simultâneos de medida na face interna, externa e metade da espessura da placa	81
FIGURA 47 – Vista superior mostrando a formação de fissuras na terra refrataria entre a placa e o forno; forno (azul, á direita), pórtico (marrom, a esquerda) e placa de 3cm no meio	82
FIGURA 48 – Vista lateral superior mostrando parte superior da placa de 3 cm e formação da fresta entre a placa e o forno; a cor vermelho indica o processo de incêndios dentro do forno	82
FIGURA 49 – Vista externa da placa de 5cm do segundo ensaio (aquecimento até 800 °C): apresenta manchas fracas no centro da placa.....	83
FIGURA 50 – Vista externa da placa de 3cm do segundo ensaio (aquecimento até 682,3 °C): apresenta manchas forte de marrom na área central da placa	84
FIGURA 51 – Vista interna da placa de 5cm, após o ensaio: visível as marcas escuras nas bordas da placa provocadas pela saída dos gases e a cor acinzentada no centro	85
FIGURA 52 – Vista interna da placa de 3 cm, após o ensaio: visível as marcas marrom escuras, principalmente na parte superior da placa	85
FIGURA 53 – Detalhe da vista externa da placa de 3 cm do segundo ensaio (aquecimento até 682,3 °C): mostrando a modificação das partículas superficiais....	86
FIGURA 54 – Fachada do projeto da residência de 29,13m ²	90
FIGURA 55 – Planta baixa mobiliada do projeto da residência de 29,13m ²	91
FIGURA 56 – Planta baixa humanizada do projeto da residência de 29,13m ²	91
FIGURA 57 – Planta baixa de locação dos pilares do projeto da residência de 29,13m ²	92
FIGURA 58 – Planta baixa das vigas de fundação do projeto da residência de 29,13m ²	92
FIGURA 59 – Corte AA' do projeto da residência de 29,13m ²	93
FIGURA 60 – Corte BB' do projeto da residência de 29,13m ²	93
FIGURA 61 – Planta Elétrica do projeto da residência de 29,13m ²	94

FIGURA 62 – Planta Hidrosanitária do projeto da residência de 29,13m ²	95
FIGURA 63 – Fachada do projeto da residência de 29,28m ²	96
FIGURA 64 – Planta baixa mobiliada do projeto da residência de 29,28m ²	97
FIGURA 65 – Planta baixa humanizada do projeto da residência de 29,28m ²	97
FIGURA 66 – Planta baixa de locação dos pilares do projeto da residência de 29,28m ²	98
FIGURA 67 – Planta baixa das vigas de fundação do projeto da residência de 29,28m ²	98
FIGURA 68 – Corte AA' do projeto da residência de 29,28m ²	99
FIGURA 69 – Corte BB' do projeto da residência de 29,28m ²	99
FIGURA 70 – Planta Elétrica do projeto da residência de 29,28m ²	100
FIGURA 71 – Planta Hidrosanitária do projeto da residência de 29,28m ²	101
FIGURA 72 – Fachada do projeto da residência de 44,32m ²	102
FIGURA 73 – Planta baixa mobiliada do projeto da residência de 44,32m ²	103
FIGURA 74 – Planta baixa humanizada do projeto da residência de 44,32m ²	103
FIGURA 75 – Planta baixa de locação dos pilares do projeto da residência de 44,32m ²	104
FIGURA 76 – Planta baixa vigas de fundação do projeto da residência de 44,32m ²	104
FIGURA 77 – Corte AA do projeto da residência de 44,32m ²	105
FIGURA 78 – Corte BB' do projeto da residência de 44,32m ²	105
FIGURA 79 – Planta Elétrica do projeto da residência de 44,32m ²	106
FIGURA 80 – Planta Hidrosanitária.....	107
FIGURA 81 – Fachada do projeto da residência de 59,60m ²	108
FIGURA 82 – Planta baixa mobiliada do projeto da residência de 59,60m ²	109
FIGURA 83 – Planta baixa humanizada do projeto da residência de 59,60m ²	109
FIGURA 84 – Corte AA' do projeto da residência de 59,60m ²	110
FIGURA 85 – Corte BB' do projeto da residência de 59,60m ²	110

FIGURA 86 – Planta baixa de locação dos pilares do projeto da residência de 59,60m ²	111
FIGURA 87 – Planta baixa vigas de fundação do projeto da residência de 59,60m ²	111
FIGURA 88 – Planta elétrica do projeto da residência de 59,60m ²	112
FIGURA 89 – Planta hidrossanitária do projeto da residência de 59,60m ²	113

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Habitações de interesse social e pós-ocupação	20
2.2 Casas de placas pré-moldadas e habitações sociais	26
2.2.1 Mutirão	29
2.3 Desempenho a altas temperaturas	30
2.3.1 Códigos e Normas diante Incêndios.....	32
2.3.2 Resistência e exigências técnicas ao fogo	33
2.3.3 Concreto e Temperaturas altas	35
2.4 Conforto térmico das edificações	39
2.5 Propriedades de concreto com partículas de borracha	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 Local do estudo	44
3.2 Metodologia da avaliação pós-ocupação	46
3.3 Ensaios de impacto	48
3.3.1 Ensaio de corpo mole.....	48
3.3.2 Ensaio de corpo duro	50
3.4 Ensaios de estanqueidade á água	51
3.5 Conforto térmico das edificações	53
3.6 Desempenho a altas temperaturas	55
4 RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO	60
4.1 Avaliação pós-ocupação	60
4.2 Ensaios de impacto	68

4.2.1 Ensaio de corpo mole.....	68
4.2.2 Ensaio de corpo duro	70
4.3 Ensaio de estanqueidade á água	71
4.4 Conforto térmico das edificações	73
4.5 Desempenho a altas temperaturas	78
4.5.1 Teste do “chumaço de algodão”	87
4.6 Sistemas e Propostas arquitetônicas	88
4.6.1 Residência de 29,13m ²	90
4.6.2 Residência de 29,28m ²	96
4.6.3 Residência de 44,32m ²	102
4.6.4 Residência de 59,60m ²	108
5 CONCLUSÃO	114
REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXOS	126

1 INTRODUÇÃO

O déficit habitacional é uma questão preocupante e de grande amplitude em nosso país. Conforme Soares et al. (2003), uma grande parcela da população vive em submoradias. A pequena capacidade de atendimento à demanda, por parte de programas habitacionais, especialmente para faixa salarial até três salários mínimos, tende a agravar essa situação, já calamitosa. Garcia e Dias (2007) citam que a Fundação Getúlio Vargas divulgou que o déficit habitacional em 2006 era de 7,96 milhões de moradias. A habitação de interesse social pressupõe a fixação de padrões mínimos e de padrões máximos de habitabilidade, mas sem dúvida nenhuma a primeira dificuldade está precisamente em definir esses padrões. O conceito de habitação de interesse social é dependente das condições de espaço e de tempo em que é formulado, mas está relacionado com o atendimento das necessidades de habitação da população de baixa renda. Numa certa década de 1960, ocorreu um desenvolvimento acelerado da indústria brasileira de materiais de construção civil, em decorrência de políticas habitacionais (criação do Banco Nacional de Habitação – BNH), que atraiu investimento privado. Disso resultou na introdução de uma série de novos materiais, componentes e sistemas construtivos, no mercado (ZENHA, 1998). Entretanto, fatores de qualidade e produtividade foram negligenciados.

Cardoso e Ribeiro (2001) mencionam que embora a ação do BNH fosse falha em muitos pontos, com sua extinção a moradia popular ficou órfã, passando por vários ministérios e secretarias, sem que se conseguisse definir com clareza um padrão de política a ser implementado.

Um novo modelo de financiamento, de inspiração clientelista, se estabeleceu desde o final dos anos 80, baseado no apoio a projetos desenvolvidos sob iniciativa local, de governos municipais progressistas, comprometidos com políticas sociais e com a democratização da gestão local. Os governos municipais ao assumirem o vácuo deixado pela não-política federal vieram gerando um novo padrão descentralizado de política pública, com alto grau de inovação, que vem se firmando como uma alternativa válida e desejável (CARDOSO e RIBEIRO, 2001).

Na década de 1980, na busca do atendimento da demanda e redução de custos, foi consolidada a industrialização da construção com a introdução massiva

de novos sistemas construtivos (pré-fabricação, mecanização e produção em escala). Os principais entraves foram a falta de tecnologia nacional e importação dos sistemas que gerou problemas relacionados a projeto, produção em escala e conseqüente retorno ao processo tradicional de produção.

Nos últimos anos, lançou-se no mercado uma série de inovações tecnológicas que pretendem trazer soluções para as expectativas de mercado. Entretanto, em alguns casos, por se tratarem de inovações que nunca foram utilizadas, não há comprovação das vantagens alegadas pelos fabricantes (SABADINI e SABBATINI, 2004).

Órgãos financiadores do seguimento habitacional, como a Caixa Econômica Federal – CEF tem adotado um conjunto de critérios rigorosos para aprovação dos sistemas construtivos inovadores. A inovação, segundo Bonin e Amorin (2006), está diretamente relacionada com uma transformação do ambiente de produção, seja pela introdução de um novo produto ou serviço ou pela mudança de processos ou técnicas de gestão.

A inovação tecnológica, no processo de produção de uma unidade habitacional, pode ser considerada como um aperfeiçoamento resultante de atividades de pesquisa e de desenvolvimento, internas ou externas à empresa, aplicado ao processo de produção, objetivando a melhoria do desempenho, da qualidade da unidade ou de parte dela (BARROS, 1996).

Soares (2007) e Sayegh (2002) fazem revisões bibliográficas sobre inovações tecnológicas em habitações de interesse social em que mencionam diversas pesquisas e experiências nacionais (SZUCS, 2006; CÉSAR & ROMAN, 2006; SOARES *et al.*, 2006; SATLER, 2003, entre outros).

Segundo Soares *et al.* (2006) o Estado, na busca de rentabilidade do Sistema Financeiro de Habitação, foi privilegiando os segmentos solventes da população e abandonando gradativamente a prioridade à habitação de interesse social. Como conseqüência, no início da década de 80, o movimento dos sem-teto saiu às ruas exigindo soluções imediatas.

Segundo Pereira *et al.* (2003), ações qualificadas para o setor habitacional requerem aprofundamento metodológico no trato das questões que estão envolvidas no problema: o uso e gestão da terra, o envolvimento do usuário com o processo produtivo, o treinamento de pessoal especializado e a qualificação dos projetos das unidades e espaços abertos de uso coletivo.

A Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul – RS desenvolveu, na década de 1990, um sistema construtivo constituído de pilares e placas pré-moldadas de concreto utilizando resíduo de borracha proveniente de recauchutagem de pneus na mistura para a confecção das placas. A ênfase está na produção de unidades habitacionais de custo reduzido, voltado a atender às famílias menos favorecidas que ocupam lugares inadequados para habitação.

Associado à questão habitacional, contempla também a preservação ambiental, pois a utilização do resíduo de borracha colabora na preservação do meio-ambiente, através da destinação de um rejeito que é depositado em lixões. Além disso, há a redução no custo, pois o resíduo não tem valor comercial.

O caráter social do projeto é outra característica marcante sob dois aspectos: a) para a fabricação das placas e pilares da habitação, é utilizada mão-de-obra carcerária, que é importante para a ressocialização do apenado, além de baratear a mão-de-obra na fabricação dos pré-moldados; b) o envolvimento da família contemplada, baseada na filosofia de mutirão. A participação do proprietário na construção da habitação é uma forma de vínculo e valorização que se institui entre o bem adquirido e o proprietário. Pessoas com moradias melhores estruturadas começam a reestruturar sua auto-estima e imagem, provocando, com isso, um despertar da cidadania.

Este projeto teve como objetivo analisar e contribuir para o aprimoramento do sistema construtivo desenvolvido pela Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, que já tinha construído 241 unidades habitacionais isoladas, com idades de 1 a 7 anos de uso.

1.1 Justificativa

A carência de habitação no Brasil tem sido um dos grandes problemas que afetam a maioria da população brasileira sendo, certamente, uma importante questão a ser discutida. Uma das alternativas encontradas, por esta população, vem sendo a construção de suas casas com recursos financeiros e mão de obra própria, como acontece na forma de mutirão. Essas famílias se agregam em comunidades, para juntas procurarem soluções. A possibilidade de ter uma casa é das poucas oportunidades que os trabalhadores de baixa renda tiveram para garantir uma

segurança pessoal e familiar mínima, já que os mecanismos de poupança monetária implicavam perdas em valor real e em que não havia estabilidade habitacional.

O pressuposto de que os materiais tradicionais de construção encarecem as moradias, impedindo as famílias que possuem uma renda mínima, de obterem um lote com uma moradia digna, foi motivação para proposta deste estudo. Fundamenta-se uma visão global da questão habitacional, buscando desenvolver unidades habitacionais, de custo reduzido, voltadas a atender famílias menos favorecidas que ocupam lugares inadequados. Além da questão habitacional, contempla também a preservação ambiental, o trabalho coletivo e o despertar da cidadania.

As políticas habitacionais seguem critérios de distribuição dos recursos para aquisição da casa própria que não contemplam, de forma alguma, a grande parcela da população que possui renda inferior a 6 salários mínimos. O perfil de renda de grande parte da população brasileira não se enquadra nas políticas habitacionais vigentes. Somente a menor parte da população que recebe maiores salários, pode destinar uma parcela de seu ganho para adquirir outros bens e serviços como a casa própria (GOMES, 1993). Ainda conforme Gomes (1993), o resultado destas disparidades de concentração de renda e a falta de infra-estrutura que garanta aos cidadãos necessidades básicas, como moradia, saneamentos, luz, assistência médica, transporte, educação, cultura, podendo gerar um alto índice de criminalidade e de violência urbana.

Pode-se considerar que uma tecnologia alternativa é apropriada para determinada situação quando contribui para melhorar as condições de vida da população e assegurar maior justiça social. Deve também ser emancipadora no sentido de possibilitar ao ser humano, individualmente ou em comunidade, maior controle sobre seu próprio cotidiano, não poluir o meio ambiente e nem esgotar os recursos naturais não renováveis, ser eficiente do ponto de vista econômico, valorizar o saber popular e procurar o saber técnico ou erudito.

Consciente da importância de se usar tecnologias alternativas que reduzam o custo final da obra, e de se trabalhar de forma global as questões sociais, de cidadania e a preservação do meio ambiente, que buscou-se atender de forma econômica e criativa o problema da habitação nas camadas de baixa renda, utilizando resíduo de borracha como matéria prima na confecção das placas.

O sistema construtivo baseia-se na metodologia da pré-fabricação, explorando tecnologias alternativas de baixo custo. A diferença básica da habitação proposta das demais que seguem o mesmo sistema é a utilização de pneus triturados, com agregado leve, na composição da placa que forma a parede. Este material confere leveza ao elemento, proporcionando manejo mais adequado, montagem mais rápida e segura, e ao mesmo tempo, colabora na preservação do meio ambiente, pois oferece um destino útil aos pneus usados que são depositados nos lixões. Além disso, há uma redução no custo, pois o pneu velho é um resíduo descartável, sem valor, e que pode ser doado pela comunidade servindo de matéria prima gratuitamente.

Também, a resolução do CONAMA nº 258 de 28 de agosto de 1999, no uso da atribuição que a ela é conferida pela lei nº 6938/81, regulamentada pelo decreto nº 99.274/90, determina que os próprios fabricantes e importadores de pneus dêem uma destinação ambientalmente adequada e segura aos pneumáticos inservíveis. Assim, tanto para empresas fabricantes de pneus, como para órgãos públicos como prefeituras, a utilização de pneus na construção civil serve para dar um destino a estes resíduos ainda pouco explorados.

A presente dissertação faz parte do projeto intitulado “APRIMORAMENTO TECNOLÓGICO DE HABITAÇÕES POPULARES CONSTRUÍDAS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS” desenvolvido com participação da UFSM e UNISC, com apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Pesquisas (FINEP) e Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul. No contexto da proposta do projeto referido, a presente dissertação de mestrado dá foco e maior atenção aos ensaios térmicos, resistência ao fogo, estanqueidade à água e impacto de corpo mole e duro. Também dá destaque à avaliação pós-ocupação e elaboração de novas tipologias arquitetônicas, adequando esta nova tecnologia às necessidades dos usuários.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o sistema construtivo constituído de placas cimentícias confeccionadas com adição de resíduos de borracha proveniente de recauchutagem de pneus.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da presente dissertação visam realizar:

- a avaliação pós-ocupação das diferentes habitações já existentes construídas neste sistema construtivo em Santa Cruz do Sul sob aspectos tecnológicos e arquitetônicos;
- a elaboração de novos projetos arquitetônicos aproximando esta nova tecnologia às necessidades dos usuários;
- testes de resistência de impacto de corpo mole e de corpo duro das placas utilizadas;
- a avaliação da estanqueidade à água das paredes montadas com placas de 3 e 5 cm;
- medidas do conforto térmico das edificações já existentes e do protótipo, utilizando medidas contínuas de temperatura externa e interna em épocas diferentes do ano;
- a execução de ensaios de desempenho a altas temperaturas de placas de 3 e 5 cm, utilizando-se os equipamentos de ensaio de resistência ao fogo implantados com este trabalho na UFSM.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Habitações de interesse social e pós-ocupação

O termo Habitação de Interesse Social define uma série de soluções de moradia voltada à população de baixa renda. O termo inclui as formas diferentes de habitações com interesse social, como a Habitação de Baixo Custo (*low-cost housing*), Habitação para População de Baixa Renda (*housing for low-income people*) e Habitação Popular (ABIKO, 1995). Mas a solução do problema da habitação de interesse social passa bem além da simples construção, sendo ligado a fatores como a estrutura de renda das classes sociais mais pobres, dificuldades de acesso aos financiamentos e da vontade coletiva de toda comunidade (BRANDÃO, 1984; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2004).

Segundo Abiko (1995), uma habitação popular não deve ser entendida como uma simples unidade habitacional, mas como um espaço confortável, seguro e salubre; é necessário que seja considerada de forma mais abrangente. Além disso, Bonduki *et al.* (2003) separam a “habitação de interesse social” da “habitação de mercado popular”, ou seja, nesta última há produção e consumo de habitações populares (pequenas construções, autoconstrução, iniciativas próprias), mas com mesmos critérios de planejamento e implementação que os programas produzidos pelo poder público.

Na década de 1940, em consequência da crise habitacional, da desestruturação do mercado rentista e da incapacidade do estado em financiar ou promover a produção de moradia em grande escala, consolidou-se uma série de experiências de construção de casas às margens do mercado formal e do estado, que, de modo sintético chama-se de auto-emprego da moradia popular, baseado no trinômio loteamento periférico, casa própria e autoconstrução (OLIVEIRA, 2002). Esse processo acabou predominando em São Paulo e em grande parte das cidades brasileiras, tornando-se a forma mais comum de moradia dos setores populares. Muitos são os nomes usados para designar esta forma de construção: casas domingueiras, casas de periferia, casa própria auto construídas, casa de mutirão. A característica básica, porém, é de serem edificadas sobre gerência direta de seu proprietário e morador que adquire e ocupa o terreno; constrói sem apoio técnico, um esquema de construção; viabiliza a obtenção dos

materiais; agencia a mão-de-obra, gratuita e/ou remunerada que informalmente, em seguida construa a casa.

O sistema hoje largamente difundido e bem conhecido na década 1940 como auto-emprego e autoconstrução não eram novidades, apesar da surpresa que causavam na imprensa e na opinião pública. Porém, ainda que tenham existido práticas similares desde o início do século, elas nunca constituíram uma alternativa para o conjunto dos trabalhadores. A grande expansão do auto-emprego deu-se na década de 1940, no marco das novas condições urbanas, econômicas, imobiliárias e de reprodução de força de trabalho.

É difícil quantificar a expansão desse processo, pois ele ocorreu à margem das estatísticas oficiais. No entanto, a análise da evolução do número de domicílios próprios revela o enorme incremento da propriedade na cidade de São Paulo no período pós-40. Como a casa própria, para a maioria da população, significava auto-emprego em loteamentos periféricos, esses dados expressam, ainda que de maneira indireta, o grau de crescimento dessa alternativa habitacional (OLIVEIRA, 2002).

Kowarick (1980) afirma, que desde o início do século, existem relatos de trabalhadores que promoviam e construíam eles próprios suas moradias nos arredores da cidade, sobretudo na zona rural. No entanto, pelo menos até a década de 1920, esta prática não era significativa e estava longe de constituir alternativa viável de moradia popular para o conjunto dos trabalhadores.

Os estudos sobre a obtenção da casa própria por meio da chamada autoconstrução, enfatizaram, de maneira geral, além de seu papel nas altas taxas de acumulação, o imenso sacrifício que exigiu das famílias de baixa renda. Baseadas na argumentação de Oliveira (2002) no começo do século 19, segundo o qual a auto-instrução contribuiu para aumentar a exploração do trabalho, e em uma crítica ao modelo econômico brasileiro pós-30, essas análises também utilizaram o tema como excelente exemplo da chamada “espoliação urbana” (KOWARICK, 1980).

Não há dúvida de que o processo de auto-emprego é bastante dilapidador. A ênfase neste aspecto obscurece o fato de que a obtenção da casa própria representava para os trabalhadores uma melhoria efetiva das suas perspectivas de vida, proporcionando-lhes condições mais favoráveis para sobreviver numa sociedade em que os direitos sociais inexistem ou são pouco respeitados (OLIVEIRA, 2002).

Ao contrário de todas as outras condições de ocupação (aluguel, cessão), apenas a casa própria auto-empresarial permite que a família possa incorporar trabalho e recursos para remodelar e melhorar permanentemente o espaço físico, de modo que este reflita e expresse o cotidiano familiar. Numa casa alugada ou cedida, é a própria família que se adapta (seus hábitos, costumes, e modo de morar) a cada moradia que consegue obter. Isso implica porque parte significativa da população de baixa renda prefere a casa auto-empresarial a casa padronizada nos conjuntos habitacionais construídos por órgãos governamentais. Por isso, projetos de habitação social em grande escala somente terão sucesso, quando os futuros moradores são envolvidos no processo construtivo, além de utilizar experiências de projetos já desenvolvidos para prevenir falhas na construção e futura ocupação.

Conforme Abiko e Ornstein (2002) a observação de uma dada realidade para realizar intervenções habitacionais deve ser feita através da Avaliação pós-ocupação (APO), contemplando tanto o produto como o processo habitacional. Neste sentido a APO é definida como um conjunto de métodos e técnicas de avaliação de desempenho aplicado no decorrer do uso de qualquer tipo de ambiente construído visando aferir e estabelecer diagnósticos que levem em consideração o parecer dos especialistas e os níveis de satisfação dos usuários nestes ambientes. Assim, a APO avalia não somente os fatores físicos, mas também as relações entre comportamento humano e ambiente construído no decorrer do uso. Através dos dados obtidos, ou seja, pela descoberta dos erros e acertos, pode-se subsidiar não somente intervenções e melhorias necessárias, mas também ajudar no desenvolvimento de futuros projetos de habitação social, sendo assim um instrumento de controle de qualidade do processo de produção e de seu uso.

A APO não pode ser vista como uma técnica “rígida”, mas sim como um procedimento metodológico ou um conjunto de métodos. As variáveis utilizadas como referencial para a avaliação de ambientes construídos, podem ser complementadas, reduzidas e/ou alteradas, se necessário, em função da tipologia edificada, características e objetivos de cada APO (FERRARA *et al.*, 1990).

A avaliação técnico-construtiva e de conforto ambiental, visa o reconhecimento especializado do ambiente, o qual fornecerá subsídios para a interpretação comportamental da avaliação do ponto de vista dos usuários. Incluem-se nesta avaliação observações de materiais e técnicas construtivas, tais como, cobertura, forros, pinturas, aberturas, e também variáveis do conforto ambiental,

como aspectos térmicos, de ventilação, iluminação, entre outros (ROMERO, 1990; ORNSTEIN, 1991).

Além disso, através da avaliação técnico-funcional e técnico-estética, consegue-se distinguir a viabilidade do projeto arquitetônico proposto originalmente frente ao desempenho funcional dos espaços construídos, de circulação e de lazer, bem como o estilo e percepção estética do ambiente. Evidentemente, avaliação do “prazer estético” não ocorre descolada das demais áreas técnicas; como um aspecto fundamentalmente cultural é de difícil avaliação, tendo em vista que a percepção entre o profissional e o leigo, como também entre os profissionais é distinto devido ao repertório cultural e social de cada um (ORNSTEIN, 1991).

Utilizando os dados de mais de 1.300 estudos de APO realizados nos EUA definiu-se um eixo central no aprofundamento da metodologia científica da APO, visando soluções e recomendações mais específicas (SERRA, 1989). Um dos resultados dos estudos foi a classificação em dois tipos de pesquisa: a pesquisa seccional, comparando estudos de casos semelhantes, e a pesquisa longitudinal, realizando um único estudo de longo prazo. Esta metodologia objetiva diagnosticar aspectos negativos e positivos através da avaliação de fatores técnicos, funcionais, econômicos, estéticos e comportamentais do ambiente em uso, envolvendo técnicos, projetistas, clientes e usuários. Assim, conforme Serra (1989) será possível minimizar e corrigir problemas detectados e estabelecer programas de conscientização do público usuário, em edificações privadas e públicas, possibilitando a tomada de decisões futuras.

Nos países desenvolvidos a APO está vinculada à forte organização das normas técnicas, aliada a conscientização e a responsabilidade dos envolvidos, tornando possível projetar a vida útil de ambientes construídos e seus materiais. Para isso, utiliza-se parâmetros e especificações pré-estabelecidas, a partir de metodologias e ensaios padronizados e altamente científicos.

Segundo Jacques (2008), no Brasil, o termo avaliação está associado à repressão, ao controle, fazendo travar as iniciativas nesta área de estudo, em consequência a situação de vinte anos de ditadura no país. Assim criou-se uma cultura obscura que dificultou o avanço da pesquisa de APO, deixando atrasos na construção do conhecimento e dos métodos. Del Carmo e Ornstein (1990) afirmam que uma avaliação permanente representa uma parte integrante do processo democrático.

O Centre Scientifique e Technique Du Bâtiment (CSTB de Paris) desenvolveu em 1979 como uma das primeiras instituições critérios para avaliação de pós-ocupação, induzindo mundialmente a elaboração de listas de aspectos a serem avaliadas (CSTC, 1979). A base de CSTC (1979), segue uma lista dos 14 itens mais utilizados em trabalhos recentes para uma avaliação do desempenho de edifícios e seus materiais:

- *Segurança estrutural*: sobre resistência mecânica ou fadiga de materiais;
- *Segurança ao fogo*: riscos e difusão, proteção e tempo de resistência ao fogo;
- *Segurança de uso*: sobre agressividades de materiais perigosos, mal colocados ou de intrusos.
- *Estanqueidade*: características da água e gases, ar e poeira e suas mobilidades.
- *Conforto higrotérmico*: controle da temperatura do ar, radiação térmica, velocidade, limites de variação, condensação.
- *Pureza do ar*: ventilação, controle de odores.
- *Conforto Acústico*: controle do ruído, inteligibilidade do som;
- *Conforto Visual*: aspectos de espaços e iluminação e ofuscamento – controles; texturas, orientações, interno-externo, distorções, limitações- barreiras, contrastes.
- *Conforto tátil*: sobre superfície – rugosidade, pegajosidade, temperatura de contato, flexibilidade, estática elétrica.
- *Conforto Antropodinâmico*: relacionado com as pessoas, rampas, ventos, portas janelas e equipamentos - sobre manuseios.
- *Higiene*: instalações para cuidados corporais, suprimento de água, limpeza e evacuação de resíduos.
- *Adaptação ao uso*: geometria dos espaços, número, inter-relação; previsão de serviços e equipamentos; mobiliário e flexibilidade.
- *Durabilidade*: conservação do desempenho por tempo adequado.
- *Economia*: Custo global adequado: custo de projeto e construção (produção) e custo de manutenção, bem como custos de operação.

Serra (1989) sugeriu a base das experiências nacionais à criação de seis níveis da avaliação, condizentes com a realidade brasileira, em que os três primeiros são avaliações físicas e os demais são APOs propriamente ditas, considerando o ambiente, tanto do ponto de vista técnico, como dos usuários:

1. *Diagnóstico*: aspectos construtivos, funcionais e de conforto ambiental;

2. *Diagnósticos e Recomendações*: aspectos construtivos, funcionais e de conforto ambiental;
3. *Diagnóstico, Recomendações e Especificações técnicas para realização dos serviços propostos*: aspectos construtivos, funcionais e de conforto ambiental;
4. *Avaliação física (nível 2) e aspectos comportamentais*: diagnósticos e recomendações;
5. *Avaliação física (nível 3) e aspectos comportamentais*: diagnóstico, recomendações e especificações técnicas;
6. *APO (nível 2) e Acompanhamento das intervenções e Diretrizes para projeto*: construção, uso, operação e manutenção.

Na construção civil, a APO é um instrumento valioso para determinar estas características, verificar se elas são atendidas e, assim, garantir a qualidade da concepção do produto (a edificação) oferecido. Assim, a APO possibilita a adoção de modificações para futuros projetos, bem como de melhorias a curto, médio e longo prazo para os empreendimentos já existentes (PREISER *et. al.*, 1988a, 1988b):

- Melhorias de curto prazo: a possibilidade de identificar e solucionar problemas nos diversos sistemas/serviços, otimizar o uso do espaço interno e feedback de desempenho do edifício, otimizar as atitudes dos ocupantes do edifício, através do seu envolvimento efetivo no processo de avaliação, conhecer a influência das modificações ditadas pela redução dos custos na performance do edifício, informar decisões tomadas e melhorar a compreensão das conseqüências das decisões projetuais na performance do edifício.
- Melhorias de médio prazo: flexibilidade e facilidade de adaptação às modificações organizacionais e crescimento contínuo, incluindo reciclagem de serviços/sistemas para novos usos; redução significativa nos custos de construção e de manutenção do ciclo vital do edifício; acompanhamento permanente da performance do edifício, por profissionais e usuários;
- Melhorias em longo prazo: aperfeiçoamentos no desempenho a longo prazo do edifício; otimizar dados de projeto, padrões, critérios, e produção de literatura técnica; otimizar e quantificar as medições de performance do edifício.

A APO busca melhorar a qualidade das habitações sociais, sendo em aspectos habitacionais, estéticos ou sociais, visando chegar a uma eficácia arquitetônica, da engenharia e social. Os investimentos em políticas sociais destinados a moradores de baixa renda, tais como habitação social ou urbanização,

utilizam vultosos recursos econômicos, públicos, privados ou mistos, assim como recursos humanos dos órgãos governamentais, de ONGs ou dos próprios usuários.

Além dos resultados quantitativos e qualitativos, decorrentes da aplicação de métodos e técnicas de APO em relação às unidades habitacionais, ao núcleo habitacional ou a outros indicadores de caráter físico, a satisfação e a participação dos usuários no processo requerem o estabelecimento de critérios para a avaliação do impacto social desses empreendimentos junto aos indivíduos e aos grupos sociais.

Os empreendimentos e as organizações econômicas convencionais utilizam critérios como rentabilidade, relação entre custo e benefício, e resultados esperados, de acordo com objetivos e metas preestabelecidas, conforme padrões do ramo de atividade. Geralmente, os termos eficácia, eficiência e efetividade avaliam resultados técnico-econômicos tanto de empreendimentos públicos quanto de privados, na ótica de retorno de capital para a organização (WERNA, 2001).

Tenório (1997) refere, a partir de experiência em ONGs, que *eficácia* de um empreendimento ou organização pode ser entendida como o cumprimento do objetivo determinado; como *eficiência*, a melhor forma de fazer algo com os recursos disponíveis; como *efetividade*, a capacidade de atender às expectativas da sociedade. Serra (1987) entende eficácia como o atendimento de objetivos, embora estes nem sempre estejam explicitados. Sobre eficiência, afirma que a cooperação aumenta a eficiência do trabalho, sendo a força do trabalho coletiva maior do que a soma das capacidades de trabalho individuais, implicando, também, a concentração dos meios de produção.

Werna (2001) afirma, ao analisar especificamente organizações provedoras de habitações sociais, que por um lado eficácia é a capacidade de fazer, de cumprir um objetivo, por outro lado eficiência é a capacidade de fazer “bem feito”. É uma questão de eficácia a provisão do maior número possível de unidades, até o atendimento total da demanda (WERNA, 2001).

2.2 Casas de placas pré-moldadas e habitações sociais

De acordo com parâmetros legais, o elemento pré-moldado é considerado aquele que é confeccionado no canteiro de obras, não sendo um produto necessariamente industrial. A NBR 9062 (ABNT, 1985) define o pré-moldado como

um elemento executado fora do local definitivo de utilização, em condições menos rigorosas de controle de qualidade que o pré-fabricado (SABBATINI E BARROS, 1998). Segundo os mesmos autores, existem diversas vantagens dependendo da utilização e local e implantação, como a alta produtividade potencial, execução simultânea da estrutura e da vedação, bem como limitações como a baixa flexibilidade arquitetônica ou risco da ocorrência de patologias generalizadas, caso o processo que impõe grande domínio tecnológico, for mal conduzido.

A evolução histórica da construção pré-fabricada aconteceu em momentos diferentes em cada país, dependendo das situações e momentos históricos como guerras ou acelerado crescimento populacional. No Brasil, ao final da década de 50, a falta de edificações em grande escala levou à racionalização e industrialização dos processos construtivos. Nos últimos anos, a busca por estratégias de modernização que possam ser implementadas na construção civil tem tido um papel fundamental, procurando cada vez mais sistemas total ou parcialmente pré-fabricados, capazes de maximizar o potencial de racionalização embutido nos processos construtivos. No Brasil, a construção civil apresenta ainda uma estagnação no que se refere ao emprego de sistemas racionalizados e vedação, enquanto que painéis pré-fabricados são freqüentemente utilizados na construção civil na Europa e América do Norte (OLIVEIRA, 2002).

Os painéis de concreto foram introduzidos no mercado internacional nos anos 50, sob impulso da necessidade da recuperação pós-guerra e do movimento modernista na arquitetura. Após o auge de utilização dos anos 60, notou-se um declínio no emprego desses painéis devido à limitação estética resultante do rigor imposto pela padronização dos componentes. Nos últimos anos, os painéis de concreto armado foram revitalizados na forma de painéis de concreto arquitetônico, com revestimento incorporado. Este revestimento elimina custos diretos e indiretos decorrentes ao revestimento em local e permite maior variedade de soluções arquitetônicas (SILVEIRA, PEREIRE e LANA, 2001 apud SILVA e SILVA, 2002).

Segundo os mesmos autores, dentre as principais vantagens e limitações que podem ser enumeradas relativas à utilização de pré-moldados estão à alta produtividade potencial, o custo global competitivo, a execução simultânea da estrutura e da vedação, entre outros. As limitações estão na baixa flexibilidade arquitetônica, riscos de ocorrência de problemas patológicos e falta de normatização do processo altamente tecnológico.

As modificações que aconteceram nos anos noventa relacionadas à tecnologia, impulsionaram o desenvolvimento de vários setores da economia, obrigando as empresas construtoras a buscar diminuir seus custos e aumentar a eficiência de seus processos de produção e a qualidade do seu produto final (OLIVEIRA, 2002).

Na última década do século XX, a falta de habitação de interesse social tornou-se uma preocupação de âmbito mundial, posto que o fenômeno da mudança de paradigma, de provisão convencional, pública ou privada, para alternativas com diferentes níveis de participação das instâncias públicas, privadas e populares nos processos de apropriação da moradia é um fato tanto, nos países centrais de urbanização mais consolidada, quanto nos demais países com urbanização caótica (GELPI, KALIL, MASCARÓ, 2003).

Sendo assim, existiu um grande empenho em se redefinir uma política habitacional para a população de baixa renda durante a última década, com diversas pesquisas tratando da avaliação de sistemas construtivos para a habitação de interesse social no Brasil. De fato, em diversas publicações e congressos nesta área, a avaliação de programas de habitação de baixo custo, além das considerações técnicas e construtivas, estão sendo incluídos outros aspectos referentes à melhoria dos padrões de qualidade (QUALHARINI, 1993); fatores sociais e culturais também são considerados (KRÜGER, 1998) além dos relacionados à melhoria das condições de conforto térmico no ambiente construído (MASCARÓ & MASCARÓ, 1992; BARBOSA, 1997).

E ainda recentemente existe a necessidade de redefinição, considerando um déficit habitacional de aproximadamente 8 milhões de domicílios e observando que cerca de 14 milhões de brasileiros vivem em habitações sem condições mínimas de habitabilidade (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2001).

Em resposta aos movimentos pela moradia, foram implantados no Brasil vários programas habitacionais voltados às camadas menos favorecidas do estrato social, priorizando o aspecto quantitativo na busca de fazer mais em menor tempo. Disso decorreu oferta de unidades mínimas em locais inadequados e, na maioria das vezes, não adaptadas às necessidades dos usuários (SOARES *et al.*, 2006).

Abiko (1996) menciona os fatores que dificultam o acesso das famílias de baixa renda à habitação: crises econômicas, ausência de políticas públicas para o setor, indisponibilidade física e financeira de terrenos adequados e custos, e a

qualidade dos materiais de construção. Esses fatores contribuem para o aumento do número de favelas, cortiços e casas precárias verificado nas grandes cidades brasileiras. Na busca de soluções para seus problemas habitacionais, as famílias individualmente se organizam (recursos e mão-de-obra) para a construção de sua moradia (autoconstrução) ou se agrupam para a construção de várias unidades em mutirão (SOARES *et al.*, 2006).

Junto com a fase inicial de implantação da prática do mutirão no Brasil como política pública data de meados dos anos 70, por meio de programas federais de financiamento e os mutirões habitacionais entre 1982 e 1989, marcados por sucessivas crises econômicas, que agravaram o problema habitacional das famílias mais carentes, casas de placas pré-moldadas ofereceram uma das opções mais baratas na construção de habitações sociais. A fim de contornar a falta de recursos para a construção de novas unidades habitacionais pela maneira tradicional e pela pressão dos movimentos populares, foram implantados diversos projetos em todo território brasileiro com o apoio do Poder Público.

2.2.1 Mutirão

O sistema de ajuda mútua, também conhecido como “mutirão”, é uma alternativa habitacional baseada no esforço coletivo e organização da comunidade para a construção de suas próprias moradias. Dessa forma, a participação do mutirante na construção de suas moradias visa, em primeiro lugar, diminuir os custos do empreendimento. Outros benefícios também são obtidos, tais como a melhoria da qualidade do conjunto habitacional e das unidades habitacionais e a identificação do usuário com o produto de seu trabalho, o que propicia a manutenção e seu uso adequados (ABIKO, 1996; VALLADARES, 1985).

Os mutirões habitacionais são uma "forma de organização coletiva em que grupos de pessoas se dispõem a construir e/ou urbanizar suas futuras casas" (FELIPE, 1996). O mutirão torna-se prevalente como alternativa das classes sociais abaixo da faixa de poder aquisitivo do mercado privado, ou mesmo dos programas públicos convencionais. Segundo Bisilliat-Gardet (1995) o mutirão é uma forma de produção de unidades habitacionais, normalmente associada a uma demanda que está fora do mercado, mas nem por isso vai estar fora de algumas necessidades básicas que estão presentes também no mercado formal de produção de habitação.

As formas alternativas de apropriação da habitação implementadas em diversas regiões brasileiras ainda demandam estudos sobre os resultados de sua utilização. A produção científica que aborda as modalidades com participação do usuário tem focado, predominantemente, na descrição do processo ou dos resultados físicos, sem se deter à avaliação objetiva de indicadores ou critérios sobre a participação, a organização e a satisfação dos usuários-construtores nesses procedimentos (ABIKO, 1996; BONDUKI, 1992, 1996, 1998; RONCONI, 1996).

2.3 Desempenho a altas temperaturas

Incêndios são incidências relativamente raras, mas extremamente importantes na vida das edificações e das comunidades humanas, visto que as possíveis conseqüências de um sinistro envolvem, entre outros fatores, perdas humanas e materiais.

As pessoas esperam que suas residências ou locais de trabalho sejam seguros ao fogo, já que os incêndios constituem uma força destrutiva que pode ocorrer em diferentes estruturas, colocando em risco a sua integridade e a segurança de seus ocupantes. Felizmente, tais ocorrências são pouco freqüentes e a taxa de mortalidade é reduzida (BUCHMANN, 2002).

Apesar do baixo risco de mortalidade, é dever dos profissionais ligados à construção civil zelar pela proteção à vida, através de adição de medidas de prevenção e controle dos sinistros, bem como de práticas de projetos que permitam uma rápida evacuação do ambiente em chamas, levando em consideração as condições específicas da obra (SILVA, 2008). A segurança das pessoas que ocupam as edificações depende, em especial, do conhecimento sobre o comportamento dos materiais atingidos pelo fogo. Por esta razão, é fundamental entender como a estrutura das edificações irá responder ao aquecimento.

Conforme Khoury (2003a), os incêndios ocasionam a exposição ao calor dos elementos estruturais e, conseqüentemente, provocam o aumento da sua temperatura, causando expansões térmicas dos seus materiais constituintes, evaporação da sua umidade, aumento da sua poro-pressão interna e degradação das suas propriedades mecânicas.

O fogo é o resultado de um processo químico de transformação, denominado combustão, onde uma reação em cadeia transforma os materiais combustíveis e

inflamáveis, na forma sólida ou líquida, em gases, a partir da combinação com um comburente. A reação é normalmente ativada por uma fonte de calor (Khoury (2003a).

O conhecimento básico dos mecanismos de transformações de calor é essencial para o entendimento dos incêndios. O calor pode ser transferido por condução, convecção e/ou radiação, mecanismos que atuam separadamente ou em conjunto, dependendo da situação. Segundo Gouveia (2000b) e Fakury *et al.* (2003) a condução consiste na transferência de calor entre materiais sólidos, a convecção a transferência de calor pela movimentação de fluídos ou gases e radiação a transferência de energia por ondas eletromagnéticas; a última é o principal mecanismo durante o incêndio, atuando entre as chamas e as superfícies combustíveis.

Em situações normais, à temperatura ambiente, os esforços atuantes numa estrutura são, principalmente, derivados da ação da gravidade e eólica. Entretanto, em situações de incêndio, toma-se necessário considerar também as ações térmicas, pois o fluxo de calor que atinge a estrutura acarreta o aumento da temperatura nos elementos estruturais, provocando deformações, causando reduções na capacidade resistente e aparecimento de esforços adicionais.

Os incêndios naturais podem variar consideravelmente em termos de duração, taxa de aquecimento e pico de temperatura, dependendo de fatores como tamanho e geometria do compartimento, distribuição e geometria dos materiais combustíveis, condições de ventilação e propriedades térmicas dos materiais. Ademais, a temperatura dos gases quentes irá variar através do compartimento em chamas, sendo que as chamas atingem altas temperaturas (ANDERBERG, 2003).

Conforme Fakury, Silva e Lavall (2002), a temperatura máxima nos incêndios em edificações oscila entre 500°C e 1200°C, sendo o tempo de aquecimentos de 10 a 40 minutos, dependendo da área de ventilação, geometria do compartimento incendiado e quantidade de material combustível. Quanto à duração do fogo, a mesma pode variar de minutos para poucas horas. Conseqüentemente, as seções mais internas dos elementos de concreto, não serão submetidas a uma temperatura superior a 500°C.

Cada parte da estrutura terá funções durante um incêndio, de acordo com seu tipo e posição. As paredes não-portantes servirão para conter o alastramento do incêndio, oferecendo resistência ao fogo, as vigas e os pilares atuarão na

manutenção da capacidade de suporte, e as lajes poderão atuar nas duas funções (KHOURY, 2003a).

A taxa de aquecimento influencia diretamente o desenvolvimento de tensões térmicas, o aumento da poro-pressão e a possibilidade de ocorrência de deslocamentos explosivos. A temperatura máxima influencia o nível de deterioração das propriedades mecânicas do concreto e da armadura. Uma vez que as taxas de aquecimento são elevadas, o concreto desenvolve gradientes de temperatura na secção transversal, onde apenas as regiões superficiais, que ficam em contato direto com o fogo ou com a fonte de calor, estarão submetidas a temperatura máxima. No entanto, a temperatura da secção transversal, além de depender da temperatura máxima, é influenciada pela duração do incêndio, das condições de aquecimento, da geometria da peça exposta e do tipo de concreto (KHOURY, 2003a)

2.3.1 Códigos e normas diante Incêndios

Os primeiros regulamentos relacionados à segurança de edificações diante incêndios foram adaptadas a partir de legislações estrangeiras e realizadas frente à necessidade de contratação de seguros contra efeitos de incêndios. A criação de “Regulamentos para prevenção de incêndios em edificações”, estipuladas pelas corporações de bombeiros e pelos códigos de obras municipais, provocou a disseminação das regulamentações para o meio profissional (GOUVEIA, 2000a).

Em relação às normas, a NBR 5628: Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo [ABNT, 2001b] determina como averiguar a resistência ao fogo de um elemento estrutural. Segundo esta norma, o incremento de temperatura na face do elemento que não está exposta ao fogo deve ser inferior a 140°C, em média, ou 180°C em pontos isolados. Além disso, durante o ensaio, deve ser controlada a manifestação de fissuras ou trincas no corpo-de-prova que inutilize a sua estanqueidade aos gases quentes, bem como o aparecimento de deformações transversais devidas aos efeitos térmicos. A determinação da estanqueidade do corpo-de-prova, caso ele apresente fissuras ou trincas, se dá através de um chumaço de algodão colocado a uma distância de 25mm na fissura ou trinca, sendo o chumaço aplicado durante intervalos de 10s, para verificar se os gases quentes o inflamam.

A NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimentos [ABNT, 2001] é válida para edificações de qualquer material e tem por objetivo estabelecer as condições a serem atendidas pelos elementos construtivos, estruturais ou de compartimentação, que integram os edifícios para que em situação de incêndio seja evitado o colapso estrutural e atendidos requisitos de estanquidade e isolamento por um tempo suficiente a possibilitar a fuga dos ocupantes da edificação e as operações de combate ao incêndio, bem como minimizar os danos a edificações adjacentes e à infra-estrutura pública.

Em 2004 foi aprovada a NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio [ABNT, 2004], primeira norma brasileira relacionada às propriedades do concreto em elevadas temperaturas. Esta norma está baseada na correlação entre o comportamento dos materiais e da estrutura em situação de incêndio, tendo por finalidade estabelecer critérios para o projeto das estruturas de concreto nesta situação específica e a forma de demonstrar o seu atendimento. Além disso, esta norma apresenta fatores de redução para a resistência ao escoamento e para o módulo de elasticidade do aço, e alguns métodos que permitem a verificação de estruturas de concreto em situação de incêndio, suficientes para garantir o bom desempenho das mesmas frente à ação do fogo.

2.3.2 Resistência e exigências técnicas ao fogo

A maioria das legislações vigentes na área de incêndios está fundamentalmente em requerimentos fixados para aprovar ou não um elemento e garantir a sua estabilidade funcional durante aquecimento por um determinado período de tempo, escolhido de forma mais ou menos arbitrária, de acordo com o tipo de ocupação, que permita a desocupação da edificação em segurança.

De acordo com a NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimentos [ABNT, 2001], resistência ao fogo é a propriedade de um elemento de construção de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo a sua segurança estrutural, estanquidade e isolamento, onde aplicável.

As exigências de resistência ao fogo são estabelecidas com base temporal. Normalmente se empregam os conceitos de *Tempo Requerido de Resistência ao*

Fogo ou do *Tempo Equivalente de Resistência ao fogo*. Estes módulos são estabelecidos em módulos de 30 minutos, no intervalo de 30 à 120 minutos, e são definidos de acordo com a altura da edificação, da área do pavimento, do tipo de ocupação e das medidas de proteção ativas disponíveis [ABNT, 2001].

A resistência ao fogo tem muita importância nos primeiros estágios do incêndio, mas torna-se fundamental quando o fogo estiver fora de controle e o ambiente estiver completamente em chamas (Buchanan, 2002). A resistência ao fogo é medida, em minutos, até o momento da falha para a curva de incêndio-padrão especificada, sendo a capacidade portante limitada pelo colapso durante a aplicação de carga. Mas a resistência não deve ser atribuída a um elemento isolado, visto que o adequado comportamento ao fogo deve contemplar robustez, continuidade da armadura, níveis reduzidos de tensão e alternativas para capacidade de suporte (GOUVEIA, 2000a).

Os ensaios de resistência ao fogo não tem por objetivo simular os incêndios de forma real, mas sim permitir que o desempenho dos elementos seja avaliado através de métodos tidos como padrão e que permitam a comparação de diferentes elementos. As simulações tendo como base os incêndios naturais devem ser realizadas em compartimentos padronizados. A severidade dos ensaios realizados em laboratório depende das características intrínsecas do forno utilizado, pois mesmo que diferentes fornos estejam operando segundo a mesma curva de incêndio-padrão, eles irão impactar o elemento ensaiado com intensidades diferentes, tais como a distribuição não-uniforme de temperatura no interior do forno (BUCHANAN, 2002).

O padrão mais utilizado para simular incêndios e avaliar a resistência ao fogo de estruturas é definido pela ISO 834: *Fire resistance test – elements of building construction* [ISO, 1994], prescrevendo a temperatura dos gases em função do tempo, caracterizando as curvas nominais de incêndios (ANDERBERG, 2003). Outra curva utilizada é descrita pela ASTM E119: *Standart test methods for fire testo of building construction and material* [ASTM, 2000], sendo definida por valores correspondentes de temperatura pela ISO 834 [ISO, 1994]. Atualmente, no Brasil mais utilizado é a curva de incêndio-padrão descrita na ISO 834, sendo citado na NBR 5628: *Componentes estruturais – determinação da resistência ao fogo* [ABNT, 2001b].

2.3.3 Concreto e temperaturas altas

Segundo Metha e Monteiro (1994), o concreto é um material de estrutura heterogênea e complexa, o que dificulta o estabelecimento de modelos exatos que permitem estimar com segurança seu comportamento em diferentes situações. No entanto, pode-se ter uma boa noção do comportamento esperado através da análise das características da estrutura de um concreto em particular e das propriedades dos seus materiais constituintes.

Em termos macroscópicos, uma amostra de concreto é composta por partículas de agregados com formas e tamanhos variados, bem como pelo meio ligante constituído de uma massa contínua de pasta endurecida. Já em nível microscópico, a estrutura do concreto é mais complexa, visto que as duas fases macroscópicas da estrutura não estão distribuídas homoganeamente, uma em relação à outra, nem são em si mesmas homogêneas. A presença de agregado graúdo acarreta ainda diferenças significativas na estrutura da pasta circundante. Inúmeros aspectos do comportamento do concreto sob carregamento somente podem ser entendidos e explicados quando esta superfície de pasta de cimento-agregado é tratada como uma terceira fase na estrutura do concreto (zona de transição) (METHA & MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997; PAULON, 2005).

Metha e Monteiro (1994) advertem que o comportamento do concreto exposto a altas temperaturas é influenciado por uma série de fatores que interagem, sendo muito difícil realizar uma análise perfeita do mesmo. A composição do concreto é um dos fatores que deve ser levado em consideração, uma vez que tanto a pasta de cimento quanto o agregado são constituídos de componentes que se decompõem em maior ou menor grau, com exposição ao calor, a permeabilidade do concreto, o tamanho da peça, e a taxa de crescimento das pressões internas dos produtos em decomposição.

De forma geral, os componentes da pasta de cimento se mostram extremamente vulneráveis a temperaturas elevadas. Sob ação de um processo de aquecimento, os mesmos ficam sujeitos a transformações químicas, ocorre o aparecimento de microfissuras e o surgimento de movimentações térmicas diferenciais, as quais acabam por reduzir a capacidade, portanto da estrutura (CASTELLOTE *et al.*, 2003).

O comportamento do concreto em altas temperaturas é influenciado não somente pelas condições existentes durante o aquecimento, tais como o regime térmico na superfície, o nível de carregamento e isolamento térmico, mas também pelo histórico do material antes do aquecimento.

Visto que o concreto é um material não-homogêneo, que duas amostras jamais terão exatamente as mesmas características e que as condições de ensaios, embora normalizadas, jamais serão as mesmas, torna-se vital a realização de inúmeros estudos, quer para detectar erros, quer para confirmar os resultados obtidos anteriormente, a fim de formular uma base de dados consistente e representativa do material estudado (MAJORANA *et al.*, 2003a e b).

Sob o ponto de vista microestrutural, devem ser analisadas as alterações que ocorrem nas fases cimentícias, efeitos dos agregados e armaduras, adições fibrosas, aplicação ou não de carga durante o ensaio, pois durante o processo de aquecimento, as partículas hidratadas sofrem transformações químicas que originam novos compostos. O aquecimento de pasta de cimento a temperaturas superiores a 110°C produz novas formas de silicato de cálcio, que geralmente apresentam uma estrutura cristalina fragilizada (CASTELLOTE *et al.*, 2003).

Além das transformações dos cristais e da alteração da porosidade do concreto, o desenvolvimento de micro-fissuras é outra consequência do aquecimento do concreto a altas temperaturas. A micro-fissuração é provocada pela perda da água derivada das transformações sofridas pelos produtos hidratados do cimento e pelas variações volumétricas sofridas pelos agregados e pela matriz cimentícia. Este fenômeno começa a ser detectável principalmente em temperaturas superiores de 300°C (GEORGALI e TSAKIRIDIS, 2005).

Os agregados não são considerados elementos chaves para garantir a estabilidade térmica do concreto. No entanto, eles ocupam de 60-80% do volume do material, e a variação de suas propriedades durante o aquecimento pode influenciar significativamente o coeficiente de dilatação térmica, a condutividade térmica e as demais propriedades do concreto (GRATTAN-BELLEW, 1996; ROBERTS, 2003). Durante o aquecimento, as partículas de agregado começam a expandir e gerar tensões diferenciais no interior do concreto, que pode levar ao aparecimento de micro-fissuras na pasta e, eventualmente, à desintegração do material (CHANA e PRICE, 2003).

Ainda, a aderência entre a pasta e o agregado pode ser altamente comprometida durante aquecimento. A reatividade do agregado pode ser benéfica ou não para a aderência, dependendo da natureza das transformações químicas que ocorrem, uma vez que o elemento formado pode produzir uma aderência mais elevada ou, ao contrário, transformar a zona de transição em um local repleto de micro-fissuras e vazios (CASTELLOTE *et al*, 2003). Por isso, a escolha do agregado pode ser considerada como um fator crítico para um bom desempenho frente a altas temperaturas.

Segundo Petrucci (1972) e Chijiwa *et al.* (1993) os aços tanto os utilizados como armadura tradicional quanto os utilizados como tendões de protensão, pode sofrer perda considerável de resistência quando aquecido. Embora o comportamento dependa do tipo de aço utilizado e das condições de aquecimento, a capacidade resistente poderá ser recuperada após o resfriamento, se a temperatura máxima atingida for menor que 450°C, para o aço laminado a frio, e de 600°C para o aço laminado quente. Quanto às temperaturas superam 700°C, as transformações sofridas pelo aço podem ser maiores.

Importante para o comportamento do concreto em altas temperaturas é que a superfície deve permanecer intacta, sem sofrer fissuração ou deslocamento explosivo, atuando como barreira térmica, protegendo as camadas mais internas e as armaduras.

O *spalling* (descascamento explosivo) possui os seus fatores causadores intrínsecos, que recebem diferentes influências, motivo pelo qual existe muita confusão sobre o tema. A extensão, severidade e natureza deste fenômeno podem ser insignificantes em importância e consequência, quando os resultados são sulcos na superfície e pode ter sérios efeitos na resistência ao fogo dos elementos estruturais, quando uma extensa parcela de concreto for removida, deixando as armaduras e o núcleo da seção transversal de concreto exposto, podendo levar ao colapso dos elementos estruturais aquecidos (KHOURY, 2003b).

Basicamente, o *spalling* pode ser subdividido e, categorias baseadas no local e na intensidade do fenômeno. Desta forma, o *spalling* pode acontecer de forma intensa nos agregados, de forma não-violenta nos cantos e quinas, de forma violenta na superfície do concreto, de forma explosiva em todo elemento e de forma não-violenta durante o resfriamento. Nos agregados, na superfície de vigas, pilares e lajes e em todo elemento, o fenômeno ocorre entre 7 e 30 minutos após o inícios da

exposição ao fogo, e vem acompanhando de estalos nos agregados e de explosões violentas na superfície (KHOURY, 2003b). Segundo alguns pesquisadores, outro fator que reduz a probabilidade de ocorrência de *spalling* completo do elemento é o aumento da idade, o que poderia ser justificado pelo fato de concretos mais antigos terem um teor de umidade menor.

Dentro as alternativas técnicas potencialmente viáveis para solucionar o problema, podem-se identificar duas categorias básicas:

- as proteções passivas ou reforços incorporados à matriz cimentícia do concreto; e
- as proteções passivas e/ou ativas que são sobrepostas aos elementos estruturais, não se integrando ao substrato, devido à aplicação posterior e independente.

Na primeira categoria destacam-se alternativas como a escolha de traços que contenham aditivos capazes de alterar a estrutura de poros, aumentando as reservas de espaço que podem ser ocupadas pelo vapor e a permeabilidade da matriz cimentícia. Dentre estes aditivos, os incorporadores de ar poderiam contribuir para a liberação do vapor gerado durante o aquecimento através dos vazios criados na matriz cimentícia (ANDERBERG, 1997; CASTELLOTE *et al.*, 2003). Também, o emprego de amadura de pele pode limitar a extensão dos danos, melhorando significativamente o desempenho de colunas; os benefícios se restringem a limitar os danos decorrentes do incêndio, e facilita o reparo da estrutura (KHOURY, 2003b). Além disso, a adição de filamentos fibrosos a matriz cimentícia do concreto pode aumentar a resistência, como por exemplo, fibras de aço e/ou de polipropileno.

No caso da adição de fibras de polipropileno, o embasamento teórico para evitar os deslocamentos está fundamentado no fato de que estas fibras derretem com a elevação da temperatura, criando poros adicionais no concreto que podem ser preenchidos pela água evaporada, permitindo assim a migração dos gases quentes para a superfície da matriz cimentícia, reduzindo a poro pressão e, assim, a tendência aos deslocamentos (BONOMI, 2001; KALIFA, CHENE & GALLE, 2001; TAKANO, ET AL. 2001; KÜTZING, 1999).

Na temperatura de 160°C as fibras de polipropileno começam a derreter, ficando inicialmente com o aspecto de um líquido viscoso. Este processo proporciona uma gradativa redução do volume ocupada por cada filamento individualmente e, à medida que a temperatura vai aumentando, estes filamentos vão se degradando. Os vazios criam rotas que permitem a fuga do vapor d'água com o aquecimento e, neste caso, há o relaxamento da poro-pressão, que acaba por

minimizar a probabilidade de acontecer deslocamentos explosivos (KITCHEN, 2001).

2.4 Conforto térmico das edificações

O conforto térmico é considerado uma das variáveis humanas mais importantes. Para a American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, o conforto térmico é “um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente que a envolve” (ASHRAE, 1993). A condição térmica do meio é outra variável que deve ser levada em consideração na definição das características da envolvente, onde o condicionamento térmico natural estuda as possibilidades para que o espaço habitado apresente as condições exigidas pelo ser humano, sendo estas obtidas através das trocas de calor entre o meio, o homem e a envolvente. Assim, é de extrema importância a preocupação com a adequação da envolvente ao meio, ou seja, a utilização racional dos materiais de construção adaptados às suas condições climáticas.

As expressões de satisfação em uma edificação são aquelas que oferecem condições favoráveis para os ocupantes nos dias mais críticos. De acordo com Nogueira e Nogueira (2003), para alcançar as condições térmicas de um ambiente são necessárias realizações de medições “in loco”, período de ocupação, número de ocupantes, atividades típicas dos ocupantes e caracterização dos materiais utilizados na edificação. As condições de conforto térmico são funções das atividades desenvolvidas pelos indivíduos, da vestimenta e das condições de clima do ambiente.

Os limites aceitáveis de indicadores do desempenho térmico adaptados do método de Mahoney (RORIZ *et al*, 1999) associam as estratégias de condicionamento passivo indicadas por Givoni (1992), estabelecendo requisitos mínimos de projeto, considerando os seguintes parâmetros:

- a) tamanho das aberturas para ventilação;
- b) proteção das aberturas;
- c) vedações externas (tipo de parede externa e cobertura, considerando-se transmitância térmica, atraso térmico e absorção da radiação solar); e
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo.

Frota e Schiffer (1995) afirmam que “à arquitetura cabe, tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, tais como os de excessivo calor, frio ou ventos, como também propiciar ambientes que sejam, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos.” Quando não existe adequado isolamento térmico e as paredes possuem baixa inércia, qualquer pavimento criado sob o telhado, não tem outra saída senão o uso de equipamentos para que os usuários possam suportar o frio, que pode chegar próximo de 1°C no inverno e mais de 36° C no verão (dados para Porto Alegre - RS).

Conhecer as propriedades térmicas das paredes permite estabelecer estratégias para que o edifício projetado responda de forma eficiente às variações do clima, oferecendo uma condição de conforto satisfatória aos usuários deste edifício (CORBELLA; YANNAS, 2003). O inverso da transmitância térmica é a resistência térmica total da parede. A capacidade térmica quantifica o calor necessário para variar em uma unidade a temperatura de um componente por unidade de área (GIVONI, 1976). O atraso térmico indica o tempo que transcorre entre a ocorrência de uma temperatura máxima no exterior e no interior da edificação. Através destas propriedades pode-se analisar e comparar as opções mais adequadas de paredes para cada situação (CORBELLA e YANNAS, 2003).

Uma edificação absorve energia térmica do meio externo através dos mecanismos de radiação e convecção. A temperatura e sua face externa elevam-se em relação à temperatura inicial e como a temperatura da face interna é menor, ocorrerá um fluxo de calor por condução na direção desta última. A intensidade desse fluxo dependerá, entre outros fatores, da espessura da parede (placa), da capacidade calorífica do material, de sua densidade e sua condutividade térmica. Em consequência da elevação da temperatura, haverá um fluxo de calor da face interna da parede para o ambiente interno, através dos mecanismos de radiação ou de convecção (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Para determinar a influência que cada tipo de material tem sobre a intensidade de fluxo da parede, utiliza-se a propriedade térmica, ou seja, que se trata de bons condutores ou não. Materiais que possuem baixa densidade têm baixa condutividade, principalmente devido à porosidade que apresentam. Neles, o ar confinado no interior dos poros dificulta a transferência de calor (LAMBERTS *et al.*, 1997).

Quanto às características térmicas de painéis pré-moldados, tanto a espessura como os materiais constituintes da camada de concreto influenciam nas características térmicas dos componentes. Classificam-se os componentes em bom, médio ou péssimo isolante térmico em função do seu coeficiente global de transmissão térmica (OLIVEIRA, 2002).

2.5 Propriedades de concreto com partículas de borracha

Uma série de trabalhos de avaliação da trabalhabilidade de compósitos com adição de borracha no concreto indica que ocorre no estado fresco uma redução da fluidez do concreto com o aumento do teor e do tamanho das partículas de borracha de pneu. Embora a mistura apresente um aspecto homogêneo e de fácil adensamento, o *slump test* mostra a redução da fluidez atribuída ao aumento da fração de agregados de densidade muito baixa (ELDIN e SENOUCI, 1993a,b; KHATIB e BAYOMY, 1999; ALBUQUERQUE et al., 2005; BIGNOZZI e SANDROLINI, 2006).

Os concretos de matriz cimentícia evoluem com o tempo e o avanço de hidratação, adquirindo características de rigidez e aumentando gradualmente sua capacidade de suporte de cargas. O valor da resistência à compressão é normalmente tido como índice geral da resistência do concreto (ELDIN e SENOUCI, 1992; Li et al., 2004; BIGNOZZI e SANDROLINI, 2006). Os diversos trabalhos já existentes mostram que a resistência à compressão diminuiu com o aumento da quantidade de borracha incorporada ao concreto. Quanto maior for o tamanho das partículas, mais significativa é essa redução (ALBUQUERQUE et al., 2005).

Alguns trabalhos foram feitos para testar a eficácia de tratamentos superficiais da borracha, a fim de melhorar a aderência da borracha com a matriz cimentícia e minimizar a redução da resistência decorrente da presença do agregado (ROSTAMI et al., 1993; LI et al., 1998; ALBUQUERQUE et al., 2005). Os tratamentos consistem no uso de substâncias que podem atuar como agentes de acoplamento entre a borracha e a matriz, ou em substâncias que ataca a superfície da borracha, aumentando sua rugosidade e favorecendo a reatividade.

O valor da resistência à tração de compósitos de matriz cimentícia avaliada por meio de testes de tração por compressão diametral, bem como a resistência à compressão, sofrem uma diminuição com a adição de borracha de pneu. Além disso,

como ocorre na resistência à compressão, a resistência à tração diminuí à medida que se aumenta o tamanho e a proporção das partículas de pneu no compósito (KHATIB e BAYOMY, 1999; BAUER, 2001, AKAZAKI et al., 2003).

O concreto com adição de borracha de pneu, em geral, apresenta maior capacidade de absorção de energia do que o concreto convencional, se constituindo em uma alternativa para aplicações onde o material estará sujeito a efeitos de impacto e que requerem grande resistência mecânica (TOPÇU, 1995; BAUER, 2001; HERNANDEZ-OLIVARES et al., 2002). A Introdução de um comportamento mais dúctil se baseia no fato de que, no concreto, o agregado é um dos principais elementos que restringem a deformação. A inclusão de borracha, em substituição parcial do agregado, atenua essa restrição, dando ao concreto uma maior deformabilidade.

O concreto é considerado um material frágil, que se rompe de maneira abrupta e suporta apenas pequenas deformações. A maior parte da energia absorvida até a ruptura é plástica, enquanto que, para um material frágil, a maior parte da energia total é elástica. Portanto, pode-se diminuir a fragilidade do concreto através do aumento de sua energia plástica, ou seja, elevando sua capacidade de absorver energia de ruptura através de uma maior deformação. Estudos indicam que 10% de borracha no concreto aumenta a tenacidade em 23%, comparada ao concreto de referência, apesar da redução de 65% na resistência à compressão. A redução observada na resistência é compensada por uma grande capacidade de deformação, de tal maneira que a energia necessária para levá-lo à ruptura torna-se maior do que a de um concreto convencional (ELDIM e SENOUCI, 1992; TOPÇU, 1997).

A estabilidade química da borracha de pneu, fundamental para um bom desempenho de uma estrutura de concreto, foi avaliada através de testes em ambiente alcalinos, como é o caso do concreto. Huyhn e Raghavan (1997) mostraram que não há nenhuma variação considerável das propriedades da borracha de pneu após a exposição a estes ambientes.

A durabilidade de compósitos com borracha foi avaliada por meio de testes de resistência ao fogo (HERNANDEZ-OLIVARES e BERLUENGA, 2004; MACEDO, 2005, entre outros). Placas de concreto simples e com resíduos de borracha foram submetidas a temperaturas na faixa de 800 – 1000° C. Observou-se que as placas de referência apresentaram um lascamento explosivo, enquanto as placas com

teores de borracha de até 8% apresentaram grande nível de fissuração, porém sem *spalling*. Atribuiu-se este comportamento à abertura de canais deixados pela queima das partículas de borracha, que permite a saída do vapor de água e reduz as tensões internas devido à pressão de vapor. Quanto à análise micro-estrutural, as amostras com até 15% de borracha não apresentaram perda da aderência tanto do agregado quanto das fibras de borracha (MACEDO, 2005).

Vários trabalhos apresentam dados referentes ao melhor isolamento térmico de materiais cimentícios com borracha de pneu do que as sem adição de partículas (LIMA e ROCHA, 2004; MACEDO et al., 2005). Características térmicas como a condutividade, difusividade, calor específico e coeficiente de dilatação são propriedades importantes quando se tem em vista o conforto térmico de habitações. Lima e Rocha (2004) e Macedo (2005b), realizaram estudos com argamassa e concreto com adição de partículas de pneu para verificar seus efeitos sobre estas propriedades. Mostrou-se que as amostras com partículas de pneu apresentam valores inferiores de condutividade, difusividade e coeficiente de dilatação térmica do que as amostras de controle, enquanto o calor específico resultou em valores superiores, sendo esse efeito acentuado com o aumento do teor da borracha. A redução da condutividade e da difusividade deve-se a características intrínsecas da borracha, quanto à baixa condução de calor, transferido parcialmente esta característica ao material compósito, além do maior teor de ar incorporado junto a borracha. Todos os autores resumem que os resultados são satisfatórios para fins de construção civil para habitações, uma vez que o compósito de matriz cimentícia com borracha de pneu proporciona melhor isolamento térmico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no Município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, localizado na encosta sul da Serra Geral, no Centro do Estado de Rio Grande do Sul (Figura 01). A prefeitura municipal tem construído há dez anos 241 casas em conjuntos habitacionais na periferia da cidade, utilizando o sistema construtivo pré-moldado de placas de concreto de 3 cm de espessura com resíduos de pneu na sua composição. Este sistema teve sua origem entre 1997 e 1998 no projeto intitulado “João de Barro Bom PLAC”, da Secretaria de Habitação do município, sob a liderança do Eng. Civil Leandro Kroth. O objetivo daquele projeto foi desenvolver um sistema construtivo barato e eficiente, que utilizasse pneus inservíveis e emprego de mão de obra carcerária com enfoque na ressocialização dos apenados. Nestes conjuntos habitacionais existem casas de 3 a 10 anos de idade, que são utilizadas para a aplicação de questionários aos seus usuários para avaliação pós-ocupação.

Para verificação do conforto térmico das casas, utilizou-se uma casa construída com placas de 3 cm e o protótipo com placas de 5 cm, ambas localizadas no bairro Vila Nazaré II em Santa Cruz do Sul (Figura 01).

Os estudos da aplicação do resíduo de borracha, incluindo a moldagem dos corpos de prova e a realização de testes de resistência à compressão dos traços, bem como os ensaios de impacto de corpo mole e duro foram realizados na Universidade de Santa Cruz do Sul no Laboratório de Tecnologia e no próprio protótipo. Os ensaios de conforto térmico foram feitos no protótipo e em duas residências localizadas no bairro Vila Nazaré II de Santa Cruz do Sul.

O desempenho a altas temperaturas foi analisado no Laboratório de Materiais de Construção civil da Universidade de Santa Maria, vinculado ao Centro Tecnológico, e o teste da estanquidade a água foi realizado na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) do Rio Grande do Sul em Porto Alegre.

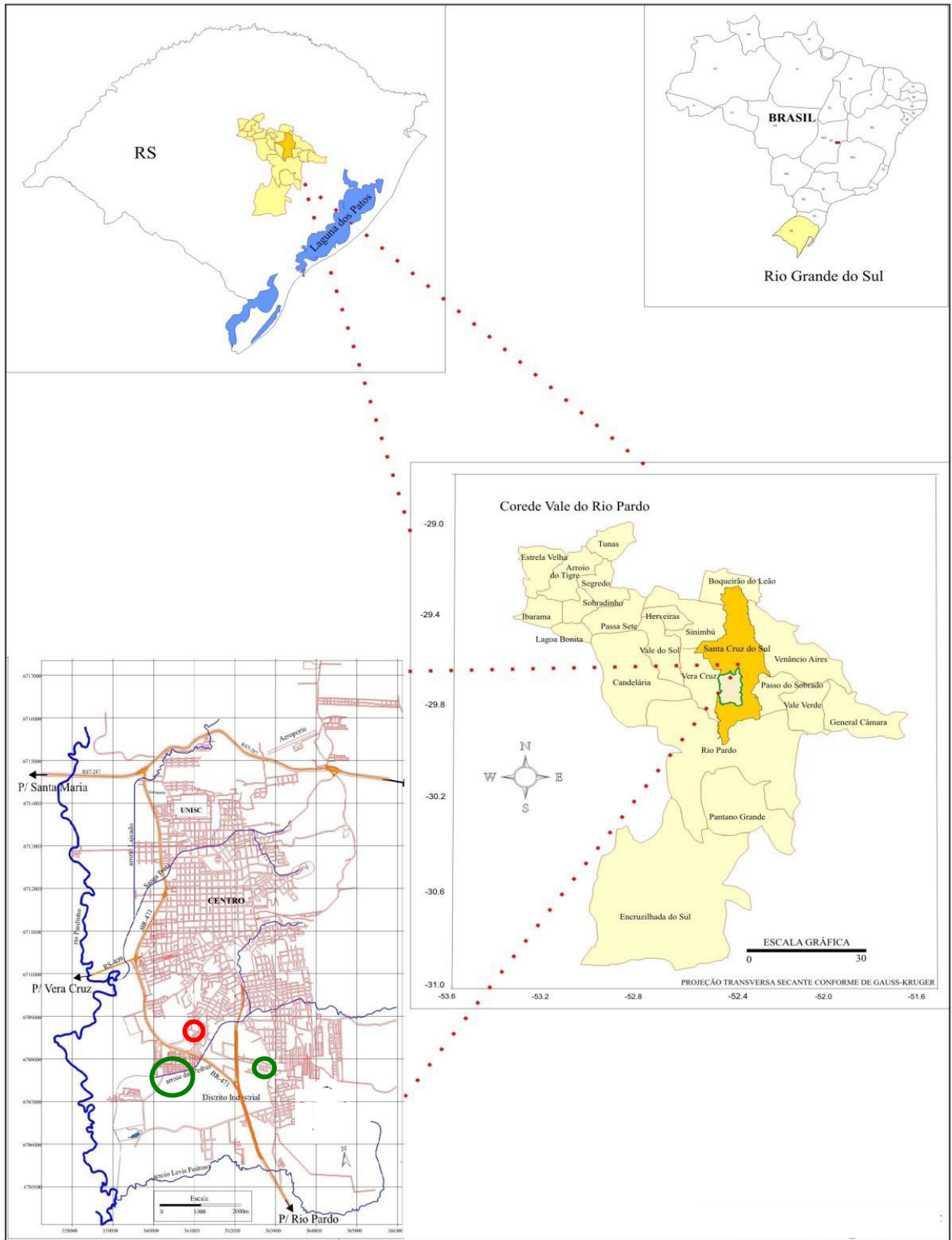


Figura 01 – Localização das áreas de estudo: protótipo no bairro Vila Nazaré II (marcação vermelha), conjuntos habitacionais para APO (marcação verde), Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

3.2 Metodologia da avaliação pós-ocupação

Para avaliar a eficácia do sistema construtivo utilizado foi realizada uma análise do sistema construtivo pré-moldado das casas já executadas pela Prefeitura Municipal da cidade de Santa Cruz do Sul. A partir de visitas às casas em conjuntos habitacionais nos bairros de Santa Cruz do Sul, foi elaborado um questionário de Avaliação Pós-Ocupação – APO, bem como estabelecido um roteiro para vistorias destas casas já habitadas há alguns anos.

Através da utilização de um questionário (Anexo 7), foram avaliadas 58 das 241 casas construídas no sistema pré-moldado de placas de concreto de 3 cm de espessura com adição de resíduo de borracha, proveniente de recauchutagem. Incluíram-se na avaliação os conjuntos “Berçário Habitacional Mãe de Deus”, “Cristal”, “Vale do Nazaré”, “Corredor Frey”, “Beckenkamp” e “Aliança II”.

A amostragem incluiu também habitações existentes há no mínimo 5 anos, das quais 60,34% tinham 60m² e 39,66% tinham 40m² no projeto original de habitações, excluindo anexos pós-construídos.

As casas de 40m² eram entregues com peça única, forro em isopor, piso em cimento bruto, sem revestimento interno das paredes, instalações elétricas e hidráulicas aparentes, cobertura metálica (zinco) e estrutura de telhado em metal, que, com o tempo, em função da redução de custos, optaram por madeira (Figura 02).

Já as de 60m² possuíam divisórias e forro em madeira, piso em cimento bruto, sem revestimento interno das paredes, instalações elétricas e hidráulicas aparentes, cobertura por vezes metálica e outras em fibrocimento, com estrutura do telhado em madeira (Figura 03).



Figura 02 – Fachada da casa de 40,0m², bairro Santuário.



Figura 03 – Fachada da casa de 60,0m², bairro Santuário.

No período em que foi realizada a avaliação, existiam conjuntos habitados já há sete anos e outros habitados há apenas um ano, sendo que a aplicação dos questionários iniciou no conjunto mais antigo.

Os principais itens analisados nesta APO compreendem: infra-estrutura urbana dos bairros; características dos lotes; características das unidades habitacionais; aspectos ambientais; desempenho estrutural; fechamento de janelas e portas; telhado e banheiro; instalações elétricas e hidráulicas; adequação dimensional, física e formal; ampliação, modificação interna e externa; durabilidade dos painéis; durabilidade das esquadrias e conforto higrotérmico; resistência ao fogo, conforto térmico, impacto corpo duro e mole, bem como estanquidade. O modelo do questionário da APO encontra-se no Anexo 01.

3.3 Ensaio de impacto

Foram executados em dois momentos e lugares distintos. Um dos ensaios foi realizado em laboratório, no qual se reproduziu as reais condições da parede, quatro placas empilhadas entre dois pilares com perfil transversal em “T” formando um painel de parede. As placas foram fixadas nos pilares de 265 cm de altura com uma peça de madeira que recobre a face interna do pilar e fixadas com parafusos sextavados. Em outra campanha de ensaios foram realizados ensaios no protótipo construído no Vale do Nazaré, em Santa Cruz do Sul.

3.3.1 Ensaio de corpo mole

Segundo os critérios de avaliação sob ação de impactos de corpo mole, elementos e componentes da edificação não devem (IPT, 1988):

- sofrer ruptura ou instabilidade, para as correspondentes energias de impactos;
- sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano (impactos de utilização), observando-se ainda os limites de deformações instantâneas e residuais;
- provocar nenhum dano a componentes, instalações e acabamentos acoplados ao componente ou elemento em análise, de acordo com as energias de impacto indicados nas tabelas.

Ensaio realizado para verificação de ações de impactos de corpo mole (ABNT NBR 15575-1: 2008). Os impactos são aplicados por meio de um saco cilíndrico de couro preenchido com areia seca com massa total de 40kg (Figuras 04 a 09). O

impacto deve ser aplicado no centro geométrico da placa em queda livre, de acordo com o procedimento da norma a partir dos seguintes alturas (Tabela 01).

Tabela 01 – Energias e altura de queda

ENERGIA DE IMPACTO (J)	120	180	240	360	480	720	960
Altura da queda (cm)	30	45	60	90	120	180	240



Figura 04 – Preparação das placas para os ensaios de impacto realizado no laboratório.



Figura 05 – Ensaio de corpo mole realizado no laboratório.



Figura 06 – Ensaio de corpo mole realizado no protótipo.



Figura 07 – Ensaio de corpo mole realizado no protótipo.



Figura 08 – Saco cilíndrico de couro preenchido com areia, 40kg frente a estrutura para realização dos ensaios no laboratório.



Figura 09 – Marcador do deslocamento residual.

3.3.2 Ensaio de corpo duro

Ensaio de impacto de corpo duro foram realizados conforme recomendações da norma MB-3256, da ABNT 11681 (1990). Critérios de avaliação sob ação de impactos de corpo duro, elementos e componentes da edificação não devem sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano sob ação dos impactos. Os impactos são aplicados por meio de uma esfera maciça de aço abandonada em movimento pendular, aplicando-se 10 impactos de cada modalidade regularmente distribuídos pela superfície do corpo de prova (Figuras 10 e 11).



Figura 10 – Esfera maciça de aço utilizada no ensaio.



Figura 11 – Impacto de corpo duro.

Os impactos devem ser aplicados de acordo com as seguintes indicações das Tabelas 02 e 03 (IPT, 1988):

Tabela 02 – Indicações de impacto

Componentes Impactos	Paredes externas		Paredes internas
	Face externa	Face interna	45
Impacto de utilização (J)	3,75	2,5	2,5
Impacto de segurança (J)	20	10	10

Tabela 03 – Indicações de impacto

Energia de impacto (J)	1	2,5	3,75	5	10	20	25
Massa da esfera (g)	50	500			1000		
Altura de queda (cm)	200	50	75	100	100	200	250

3.4 Ensaio de estanqueidade à água

Os ensaios de estanqueidade à água foram realizados na Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O equipamento simulador de chuva consiste de uma câmara de dimensões 1,56m de altura por 1,36 m de largura com abertura de 1m² de área (Figura 12 e 13).



Figura 12 – Parede montada para ensaio



Figura 13 – Aparelho para ensaio de estanquidade.

O ensaio consiste em submeter a superfície de $1,0\text{m}^2$ da amostra na face de exposição à ação da água e pressão do ar, através de uma câmara de ensaio provida de abertura em uma das faces. A área da abertura é de $1,0\text{m}^2$, sendo sua altura 1.120 mm e largura de 900mm .

O ensaio foi realizado em duas fases:

- fase I: aplicação de um filme de água sobre a superfície da amostra sem aplicação de pressão, por 150 minutos;
- fase II: aplicação de um filme de água de 3 litros/min, juntamente com uma pressão de 260 Pa ($2,6\text{cm}$ de coluna d'água), por 150 minutos.

A avaliação foi feita através da observação da face oposta à incidência de água e pressão, anotando-se o tempo de surgimento de Manchas e/ou a ocorrência de escorrimento. As manchas na face de observação são demarcadas sobre a superfície observada em tempo de leitura pré-determinados.

3.5 Conforto térmico das edificações

Objetivando avaliar o desempenho térmico da habitação com paredes de placas de 3 e de 5 cm de espessura, foram realizadas medições de temperatura do lado externo e interno às habitações. As medições foram feitas em unidades já construídas há mais de 3 anos e no protótipo, em períodos de inverno e verão, com sensores para aquisição e registro de temperatura "*Dataloggers*".

O monitoramento da temperatura externa e interna foi feito em duas residências localizadas no bairro Vila Nazaré II em Santa Cruz do Sul, com as seguintes características construtivas (Tabela 04).

Tabela 04 – Características construtivas das residências analisadas.

ESPECIFICAÇÃO	RESIDÊNCIA A (Placa de 3 cm)	RESIDÊNCIA B (Placa de 5 cm)
Padrão	Habitação de interesse social	Habitação de interesse social
Paredes Externas	Placas pré-fabricadas de concreto com resíduo de borracha	Placas pré-fabricadas de concreto com resíduo de borracha
Cobertura	Telhas de zinco	Telhas de fibrocimento (6mm)
Forro	Forro de madeira	Forro de madeira
Janelas	Duas folhas deslizantes com venezianas em ferro	Duas folhas deslizantes em madeira mista e vidro
Portas internas	Não há portas	Portas em madeira mista
Portas externas	Uma folha lisa em madeira mista (porta principal), uma folha em ferro com basculante (porta cozinha)	Uma folha lisa em madeira mista (porta principal), uma folha em ferro com basculante (porta cozinha)
Piso	Revestimento cerâmico	Revestimento cerâmico

Para o levantamento dos dados referentes ao monitoramento das temperaturas externas e internas das residências, utilizou-se equipamento eletrônico chamado de HOBO “*Temperature Datalogger*” da *Onset Computer Corporation* (Figura 14). Para isso, fixou-se os HOBOS na parte externa da placa de cada residência na altura de aproximadamente 3 metros, direcionando para o lado Sul e na parte interna da mesma placa de aproximadamente 2,60m de altura.



Figura 14 – Datalogger (HOBO) utilizado nos ensaios.

Os HOBOS foram programados para armazenar as medidas durante 13 dias, medindo em intervalos de 5 minutos, medindo a temperatura e umidade relativa do

ar. Para analisar as mudanças térmicas nas estações diferentes, instalaram-se os HOBOS em meses diferentes durante o ano 2007 e 2008 (Tabela 05).

Tabela 05 – Período de registros da temperatura com HOBOS

Residência A (placa 3 cm)	Residência B (placa 5 cm)
06/04/2007 a 19/04/2007	06/04/2007 a 19/04/2007
30/05/2007 a 12/06/2007	30/05/2007 a 12/06/2007
02/07/2007 a 16/07/2007	02/07/2007 a 16/07/2007
22/12/2007 a 02/01/2008	26/07/2007 a 09/08/2007
03/01/2008 a 16/01/2008	21/08/2007 a 04/09/2007
XXXXX	22/12/2007 a 02/01/2008
XXXXX	03/01/2008 a 16/01/2008

Após monitoramento quinzenal, os dados foram baixados dos HOBOS através do Programa Boxcar Pro 4.3, salvos em formato “txt” e posteriormente analisados com Windows Excel, para comparação dos dados com os critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social.

A ABNT NBR 15575 (2008) estabelece uma divisão do território nacional em oito zonas climáticas a partir de uma adaptação da Carta Bioclimática de Givoni (1992), para definir o Zoneamento Climático Brasileiro. Essa carta aponta os problemas climáticos dominantes em cada região, permitindo, assim, a recomendação de estratégias técnicas no momento de elaboração do projeto.

Para a comparação dos dados utilizou-se médias aritméticas simples, bem como máximos e mínimos diários. Para a análise estatística utilizou-se o programa PAST.

3.6 Desempenho a altas temperaturas

A avaliação da exposição de painéis a altas temperaturas visa analisar o comportamento frente a fortes fluxos de calor provenientes de incêndios em edificações. A capacidade dos elementos construtivos resistirem a ação de altas temperaturas é denominada de resistência ao fogo.

Os ensaios foram realizados submetendo-se as placas à aplicação de calor através de forno elétrico com controle automático da temperatura em que a placa é colocada fazendo o fechamento da abertura do forno. A medição das temperaturas na face interna e externa da placa e do centro da placa é feita através de termopares acoplados a um sistema de aquisição de dados (Figuras 15 a 18).



Figura 15 – Vista frontal do forno com pórtico para o ensaio.



Figura 16 – Captação dos dados online via Datalogger conectado ao computador.



Figura 17 – Montagem final da placa no pórtico, junto os termopares e captação dos dados para realização do ensaio.



Figura 18 – Agrupamento dos Termopares: 2 na face interna, 2 na externa e 2 no meio da placa

Foram realizados os ensaios de desempenho térmico das placas com 3 e 5 cm. Para isso, duas placas de cada espessura foram moldadas no tamanho da abertura do forno utilizado (75 x 85 cm). Para fixar as placas, a porta do forno foi retirada, e para atingir as temperaturas elevadas a resistência da porta foi posicionada no interior do forno. A colocação das placas aconteceu junto a um pórtico de metal acoplado em frente da abertura do forno, utilizado escoras de madeira e terra refratária para fechamento completo da abertura; para saída dos gases foi aberta uma pequena fresta entre forno e a placa.

Para a realização dos ensaios utilizou-se a metodologia conforme NBR-5628, de 30.01.2002, tendo em vista que a ABNT NBR 15575-4 define a NBR 15575-1 como referencial para a “Segurança de incêndio”, sendo nesta o atendimento às normas de projeto estrutural relacionado a ABNT NBR 15.200 para estruturas de concreto. Conforme o item 7.5 da ABNT 15.200 (2004) os métodos experimentais para avaliação do projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio em casos de peças pré-moldadas deve seguir a ABNT NBR 5628.

Analisando o desempenho térmico das placas de 3 e 5 cm com resíduo de borracha na sua composição, avaliou-se o isolamento térmico, a resistência mecânica (observação direta de fissuras etc.) e ao fogo (chumaço de algodão).

Conforme a NBR-5628 e ISO834 realizou-se a avaliação do isolamento térmico como a seguir:

- a moldagem das placas de 3 e 5 cm com resíduo de borracha;
- a cura dos corpos de prova superior a 28 dias;
- a localização dos pontos de medida das temperaturas das faces externas e internas, bem como do interior da placa (metade da espessura), executando furos com broca 3 mm;
- a colocação da placa junto ao forno, com área de exposição de 75 x 60 cm;
- a instalação dos termopares em diferentes pontos de medida, distribuído na região central da placa de forma circular com distância entre os pontos de medição de 5 cm;
- a ligação dos termopares ao *Datalogger* e este ao microcomputador;
- o acionamento do forno para aquecimento anteriormente programado conforme NBR, atingindo a temperatura de 800°C constante conforme ISO;
- quando na face externa a temperatura atinja em média 140°C acima da temperatura ambiente ou em algum ponto isolado 180°C, o forno será desligado;

- a observação durante o ensaio o aparecimento de fissuras ou trincas na placa e deformações transversais de flexão ocasionados pelas levadas temperaturas;
- a interrupção do ensaio em caso de ruína da placa ou quando a temperatura media na face não exposta atingir 140°C ou num ponto isolado 180°C.

Conforme a NBR-5628 realizou-se a avaliação da permeabilidade ás chamas e gases quentes pelo teste do “chumaço de algodão” verificando o efeito do calor sobre a passagem de gases quentes e chamas da face exposta para a não exposta. Para isso, um chumaço de algodão de fibras naturais novas, macias e não tingidas de 3-4g, secas em estufa a 100°C, fixado a um haste de arame de aço, foi exposto no lado externo (não exposto) em cerca de 3 cm de distância da placa ensaiada. Observou-se qualquer modificação do algodão: cor, consistência e formação de fumaça. Para obter dados confiáveis, durante os ensaios de fogo, os testes de “chumaço de algodão” foram realizados a cada 5 minutos, em pontos diferentes na face externa.

4 RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

4.1 Avaliação pós-ocupação

A APO foi realizado por aplicação de questionário e avaliação técnica *in loco*. Conforme questionário em anexo, as perguntas relacionam-se com 4 principais tópicos:

- informações sobre os moradores e sua estrutura familiar e financeira;
- as características do conjunto habitacional (localização e inserção das casas com conjunto urbanístico de Santa Cruz do Sul);
- as características do lote e da unidade habitacional e do desempenho estrutural (janelas, portas, etc.); e
- as modificações internas realizadas pelos moradores durante a utilização (mudanças arquitetônicas do projeto original).

Observou-se que 49% dos moradores estão na faixa etária entre 18 à 60 anos e 33% são crianças entre 0 à 12 anos de idade, padrão típico para famílias jovens com média de duas crianças (Figura 19). Nestas famílias, 45% recebem até 1,5 salários mínimos e somente 16% recebem acima de 2,5 salários mínimos (Figura 20). Dos moradores dos loteamentos visitados, 9% vieram de áreas de risco, 46% de aluguel e 45% de residências multifamiliares.

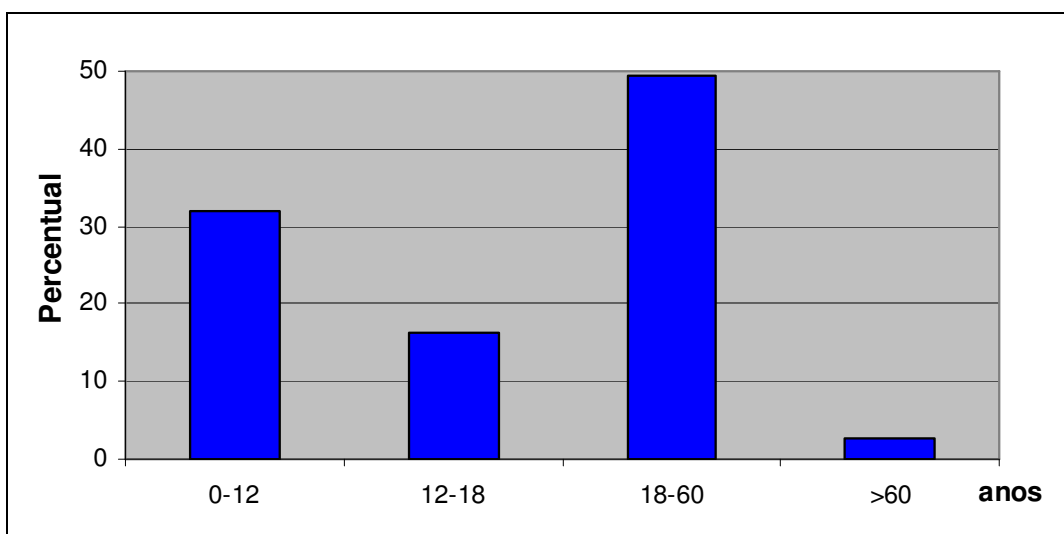


Figura 19 – Faixa etária das pessoas que habitam nas casas.

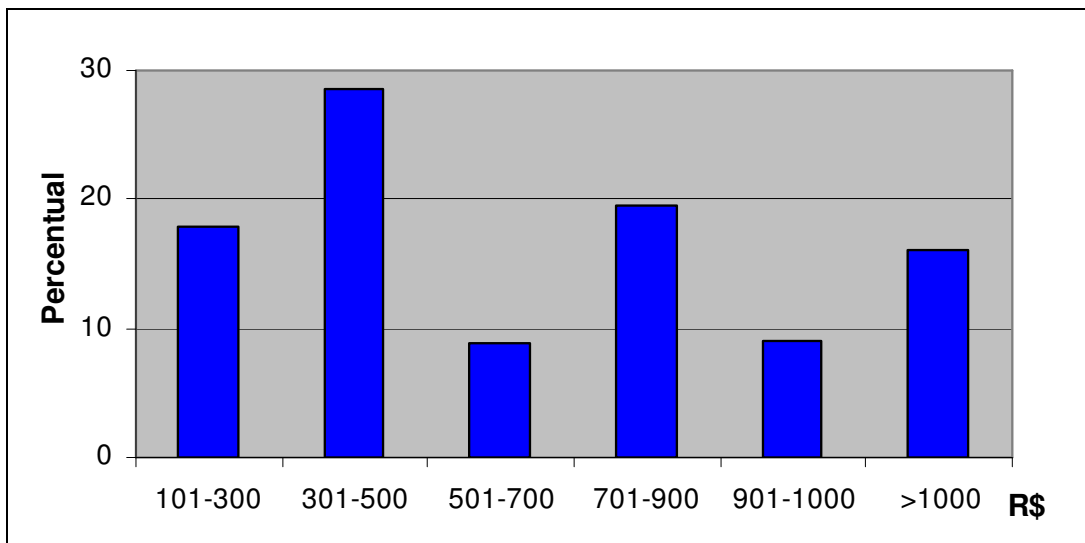


Figura 20 – Faixa de renda (R\$) familiar das famílias pesquisadas; entrevista realizada em 2007, com valor de Salário Mínimo de R\$ 380,00.

Com relação à infra-estrutura dos bairros visitados, 80% dos entrevistados avaliaram como “precária”, citando como pontos negativos a distância de suas casas ao centro da cidade, às creches e escolas, a falta de pavimentação e de áreas de lazer, e também a falta de postos policiais e postos de saúde na maioria dos bairros. Em 40% dos bairros analisados, o lixo é descartado em locais próximos a entrada dos bairros, conferindo um problema de saúde pública.

Também mencionados pelos moradores quanto à infra-estrutura dos bairros, o transporte coletivo é considerado insuficiente, principalmente em relação aos horários, o que dificulta o acesso e locomoção. Um fator comprovado através das entrevistas foi a observação quanto à disponibilização e acesso aos equipamentos públicos, sendo que 35% dos moradores reclamavam que não tinham esse acesso. Em 40% dos bairros há um mini-mercado ou armazém, também sendo insuficiente para fornecimento de produtos.

Aspectos citados como positivos pelos moradores foram a existência da iluminação pública, abastecimento de água e, em alguns casos, coleta de lixo adequado, já que em mais de 60% dos bairros há coleta de lixo (Figura 21).



Figura 21 – Vista de um dos loteamentos sem pavimentação na rua.

Tendo em vista que a presente dissertação foca em melhorias nos projetos arquitetônicos, enfatizou-se a avaliação dos dados da APO no que se refere às necessidades e melhorias na parte construtiva das casas, bem como dos materiais empregados nas edificações.

As dimensões dos lotes variam de 8,0 a 13,0 m de testada e 10,0 m a 30,0 m de profundidade. Ao ser questionado sobre a aparência da casa, a maioria dos entrevistados considerava como “boa”. Também, devido ao fato de ser uma casa própria e sem custo de aluguel, os moradores estavam satisfeitos em morar neste tipo de habitação.

Quanto ao desempenho estrutural, segundo avaliação feita pelos moradores, as placas e pilares são bons, uma vez que não sofreram maiores danos durante o período de utilização.

Observou-se também que não existem reclamações quanto à passagem de água de chuva pelos encaixes das placas. No entanto, 100% dos moradores não estavam satisfeitos com a localização do banheiro, a qual era fora da casa e os montantes de madeira apodreciam com facilidade e apresentavam um aspecto “sujo” (Figuras 22 e 23). Por isso, 56% realizaram alterações junto aos sanitários, sendo que 48% colocaram revestimento cerâmico e 8% aplicaram alvenaria (Figura 24).



Figura 22 – Umidade nas placas do banheiro.



Figura 23 – Umidade ao redor de todo o piso do banheiro.

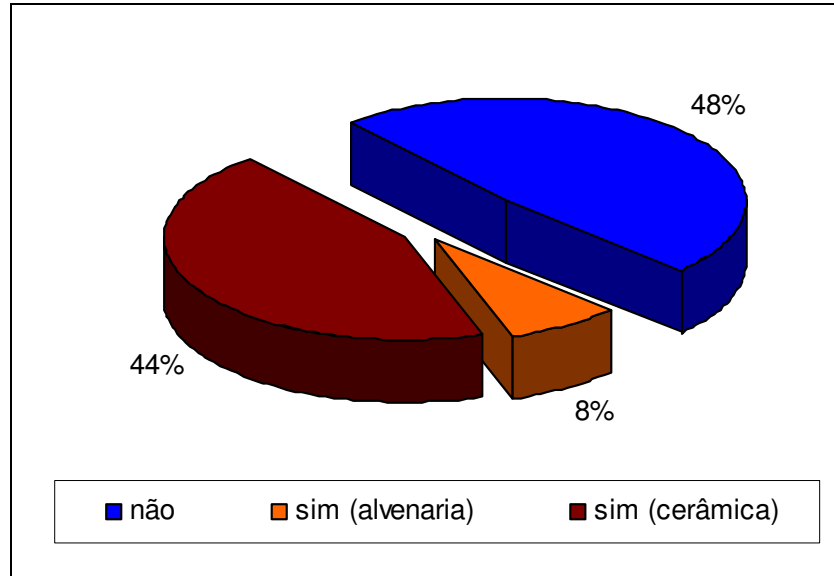


Figura 24 – Material utilizado para as alterações dos sanitários

Nas aberturas, todas em ferro observou-se a má qualidade dos materiais empregados, acarretando problemas de ferrugem, quebra de ferragens e mau fechamento das mesmas, trazendo insegurança aos moradores. Exemplo disto pode ser observado na figura 25 onde, em função da ferrugem e desgaste da porta pela ação do intemperismo, a mesma se soltou do marco.



Figura 25 – Porta em ferro com ferrugem e solta na dobradiça.

As instalações hidráulicas, apesar de serem aparentes, não apresentaram problemas quanto ao seu funcionamento e quantidade de pontos em 100% das casas avaliadas (Figuras 26 e 27). Em relação à parte elétrica, 100% dos moradores consideram um perigo a rede elétrica ser aparente e não ter uma caixa de distribuição dentro das casas. Em caso de emergência, o desligamento da energia elétrica deve ser feito diretamente no contador, o que é considerado ruim pelos moradores.



Figura 26 – Instalação hidrossanitária aparente.



Figura 27 – Instalação hidráulica aparente.

Em 71% das casas houve alterações no espaço físico interno, através de divisórias, criando com isso áreas separadas para quartos. Referente ao tipo de material utilizado nas casas de 40m² para a divisão dos ambientes, 52% *utilizaram madeira*, 17% *alvenaria* e 2% *as próprias placas pré-fabricadas* (Figura 28). Já as casas de 60m² foram entregues com divisórias em madeira e não ocorreu alteração nas peças internas.

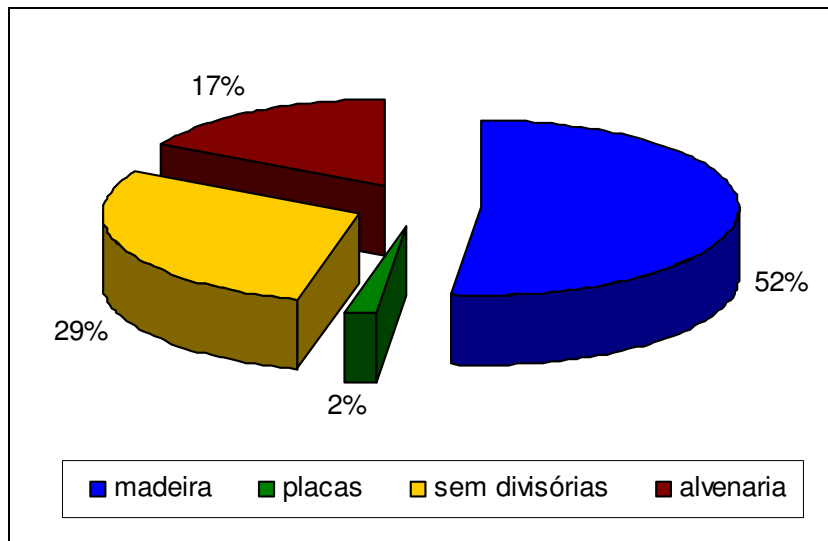


Figura 28 – Materiais utilizados para a divisão dos ambientes nas habitações de peça única.

Em relação às alterações construtivas externas nas casas de 40m² e 60m², 70% e 60% dos moradores, respectivamente, adicionaram área construída, seja para ampliar a cozinha ou para criar um novo quarto.

Com relação à aparência da casa, 17% dos moradores consideram “muito boa”, 69% “boa” e 14% “ruim”. Alguns moradores utilizam o espaço do terreno para plantio de horta e árvores frutíferas, melhorando a condição de vida e conforto, bem como a aparência da casa no loteamento (Figuras 29 e 30).



Figura 29 – Ampliação da casa, uso da vegetação no entorno.



Figura 30 – Plantio de horta e árvores frutíferas no terreno.

Quanto ao conforto higrotérmico, 52% dos moradores consideram que no verão a temperatura de suas casas é “boa”; 10% “muito boa” e 38% “ruim”, ressaltando que existe grande diferença em relação a paisagismo externo, onde a vegetação impacta diretamente sobre as sensações de temperatura. Em relação à temperatura no inverno, 50% declaram como “boa”, 13% “muito boa” e 35% “ruim” (Figura 31).

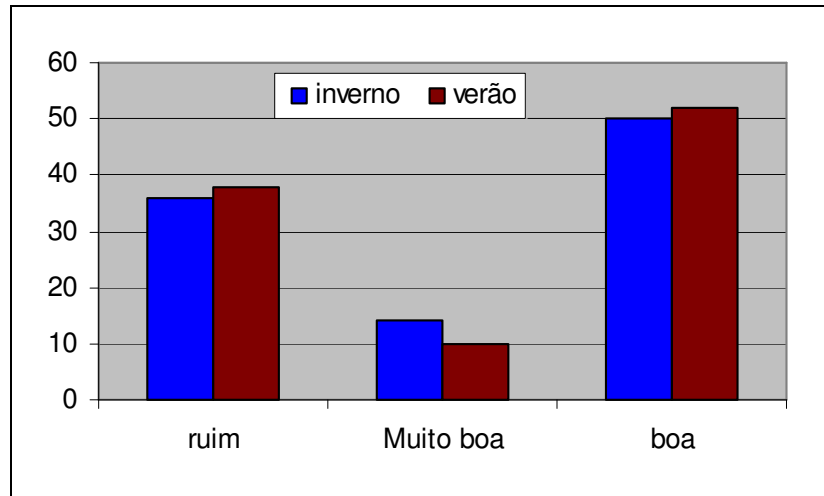


Figura 31 – Opinião dos moradores quanto ao conforto higrotérmico (inverno e verão).

4.2 Ensaios de impacto

4.2.1 Ensaio de corpo mole

No ensaio de impacto de corpo mole, para a placa de dimensões 53 (altura) x 90 (largura) x 3,0 (espessura) cm, obteve-se resultado satisfatório até a altura de queda de 120 cm, já com a altura de 180 cm, percebeu-se que a madeira do montante (*Pinus* sp.) a qual foi fixada a placa, não resistiu à carga e rompeu. Foi substituído o montante por outro de madeira de cedrinho, de melhor qualidade, e foi dado um melhor aprimoramento à fixação das placas nos montantes, através de arruelas que evitavam a concentração de tensões na região do furo/parafuso.

As Figuras 32 e 33 mostram resultados de ensaios de impacto do corpo mole para placas de 5 cm de espessura. A figura 34 mostra detalhes da parte interna do painel durante o ensaio. Observou-se nas tabelas que as placas não sofreram ruptura ou danos que comprometessem a parede.

IMPACTO CORPO MOLE								DATA: 30/11/2006
Descrição: Placa de 5 cm								
Cimento: CPV					Traço: 1 : 2 : 2 : 0,5			
Altura [cm]	Deslocamento Máx. [mm]			Residual	LE	CT	LD	Considerações
					Guia 15,6 [cm]	Guia 16,2 [cm]	Guia 16,4 [cm]	
15	3	6	8	0,2	16,4	15,7	16,2	sem fissura Deformou a arruela no 3º impacto Deformou o montante no 2º Impacto e aparecimento de fissuras no mesmo
30	8	9	9	0,1	16,3	15,6	16,3	
45	9	9	10	0	16,3	15,7	16,2	
60	10	40	10	0	16,3	15,7	16,2	
90	13	15	18	0	16,3	15,7	16,2	
120	16	25	29	0	16,4	15,7	16,1	

LE = Lado esquerdo; CT = Centro; LD = Lado direito

Figura 32 – Dados dos ensaios de impacto de corpo mole

IMPACTO CORPO MOLE								DATA: 02/02/2007
Descrição: Placa de 5 cm								
Cimento: CPV					Traço: 1 : 2 : 2 : 0,5			
Altura [cm]	Deslocamento Máx. [mm]			Residual	LE	CT	LD	Considerações
					Guia 15,6 [cm]	Guia 16,2 [cm]	Guia 16,4 [cm]	
15				0	20,7	20,5	20,5	Chapa sem deformação, trinca na faixa abaixo, deformação na chapa do montante microfissura
30	2	2	2	0	20,6	20,6	20,5	
45	5	5	5	0	20,6	20,6	20,5	
60	6	6	6	1	20,5	20,5	20,5	
90	7	8	10	1	20,5	20,5	20,4	
120	11	12	12	2	20,6	20,6	20,4	
150	14	14	17	2,2	20,3	20,3	20,2	
180	16	18	22	4,2	20,7	20,7	20,5	

LE = Lado esquerdo; CT = Centro; LD = Lado direito

Figura 33 – Dados dos ensaios de impacto de corpo mole



Figura 34 – Detalhes das placas sob ensaio de impacto de corpo mole

4.2.2 Ensaio de corpo duro

Os resultados de ensaios de corpo duro são apresentados nas Figuras 35 e 36. Observa-se nessas figuras que as placas não sofreram fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano sob ação dos impactos de utilização e de segurança, atendendo às exigências da ABNT.

IMPACTO CORPO DURO		DATA: 30/11/2006
DESCRIÇÃO: PLACA DE 5 CM		
CIMENTO: CPV		TRAÇO: 1 : 2 : 2 : 0,5
Altura [cm]	Considerações	
75	Marcas superficiais quase imperceptíveis	
500	0,1 de deformidade na placa	

Figura 35 – Impacto de corpo duro

IMPACTO CORPO DURO		DATA: 02/02/2007
DESCRIÇÃO: PLACA DE 5 CM		
CIMENTO: CPV		TRAÇO: 1 : 2 : 2 : 0,5
Altura [cm]	Considerações	
75	Afundamento desprezível, sem escamação	
500	Sofreu pequena escamação, afundamento máximo de 1mm	

Figura 36 – Impacto de corpo duro.

4.3 Ensaios de estanqueidade à água

No dia 21 de julho de 1999, um módulo externo do sistema construtivo com placas de 3 cm foi submetido a testes de estanqueidade na CIENTEC, “não atendendo às exigências dos métodos adotados para os ensaios de estanqueidade à água”. Estes resultados indicaram a necessidade de adequações a serem implementadas no sistema construtivo, como previsto ao atendimento dos critérios mínimos de desempenho adotados para habitações de interesse social.

Alguns minutos após o começo da segunda fase dos testes de estanqueidade, foi observada abundante passagem de água através das juntas horizontais entre os painéis. Conforme relatório do ensaio da CIENTEC, a água estava escorrendo livremente através da junta horizontal, provocando a interrupção do teste.

O teste de estanqueidade da parede com placas de 5 cm, foi realizado em Junho de 2008 na CIENTEC (Figura 37) e o laudo técnico relata, que “no primeiro teste, a face interna do corpo-de-prova permaneceu seca; entretanto, durante o segundo teste, a água atravessou o corpo-de-prova molhando a face interna do mesmo. Portanto conclui-se que a amostra formada por apenas um único corpo-de-prova apresentou desempenho insatisfatório no ensaio executado”.

Observações feitas durante o teste pela equipe da UNISC mostraram que no segundo ensaio, na CIENTEC, o aparelho medidor foi ajustado de forma inadequada, provocando a torção do corpo-de-prova e assim a formação de microfissuras na vedação (Figura 38 e 39). Devido a esta interferência, o segundo teste deve ser desconsiderado para a avaliação do desempenho na estanqueidade para o sistema construtivo analisado.



Figura 37 – Placas montadas para o teste, visível as juntas horizontais entre os painéis de 5 cm, com vedação de argamassa colante (AC2).

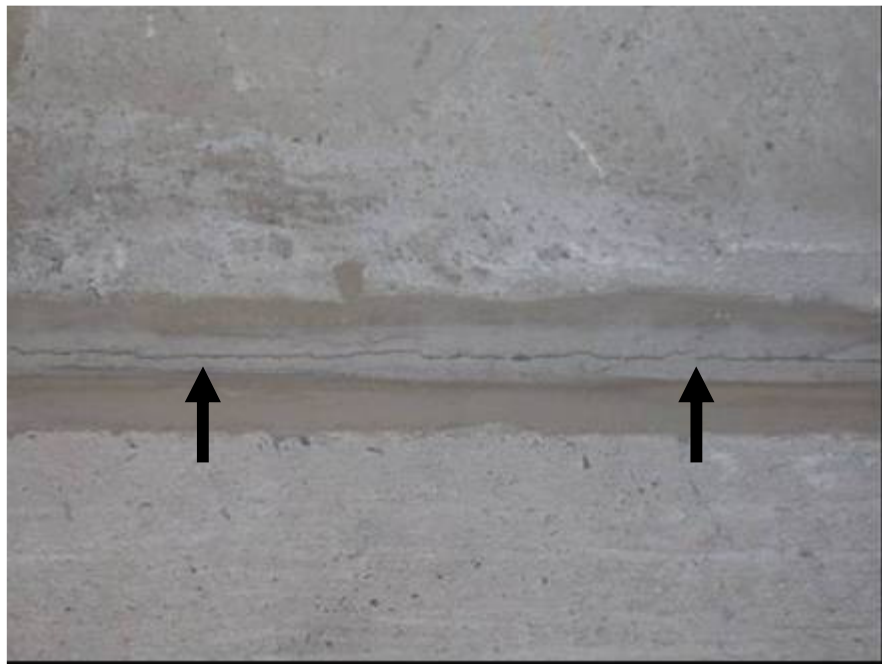


Figura 38 – Placas montadas para o teste, visível microfissuras horizontais causadas pelo ajuste do aparelho.



Figura 39 – Pilar entre as placas de 5 cm, visível microfissuras horizontais causadas pelo ajuste do aparelho.

4.4 Conforto térmico das edificações

As medidas realizadas com HOBOS na face externa e interna das casas estudadas possibilitaram uma avaliação detalhada da situação ao longo dos meses (Figura 40 e 41). Para a análise utilizou-se somente as semanas típicas de cada estação, ou seja, os meses de extremo calor no inverno do ano 2007 não foram utilizados para análise. Conforme a ABNT NBR 15575-1 (2008) devem-se utilizar somente períodos com dados meteorológicos típicos para cada estação. Já que não é possível prever os dias ou semanas com clima típico, deve-se realizar medidas de longa duração para ter certeza na escolha dos intervalos de temperaturas típicas (LAMBERTS *et al.*, 1997).

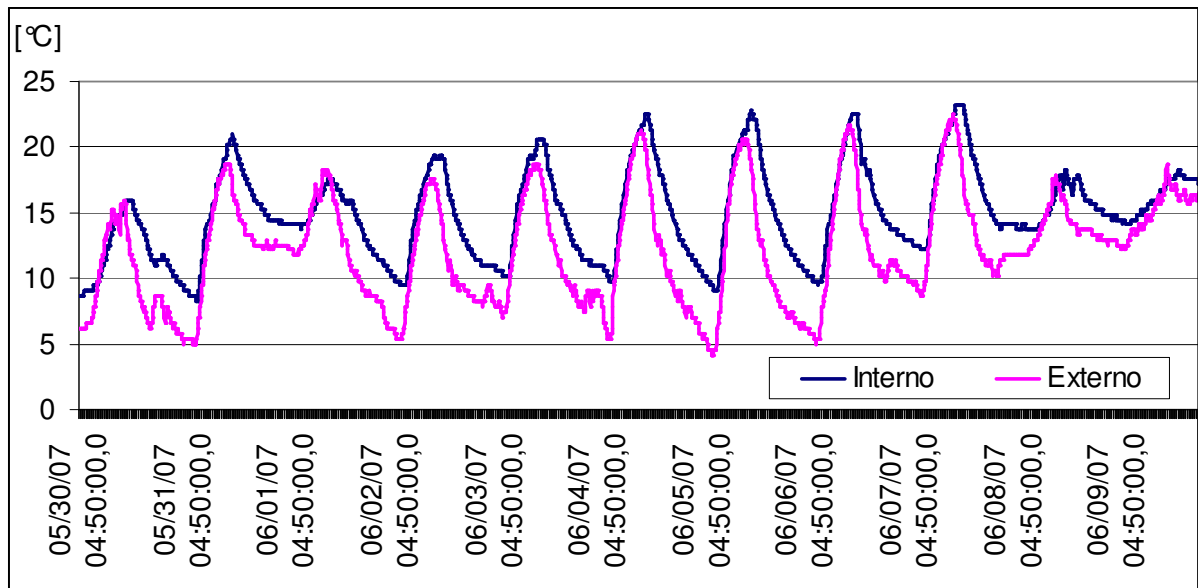


Figura 40 – Exemplo das temperaturas levantadas com HOBOS na casa com placas de 3 cm.

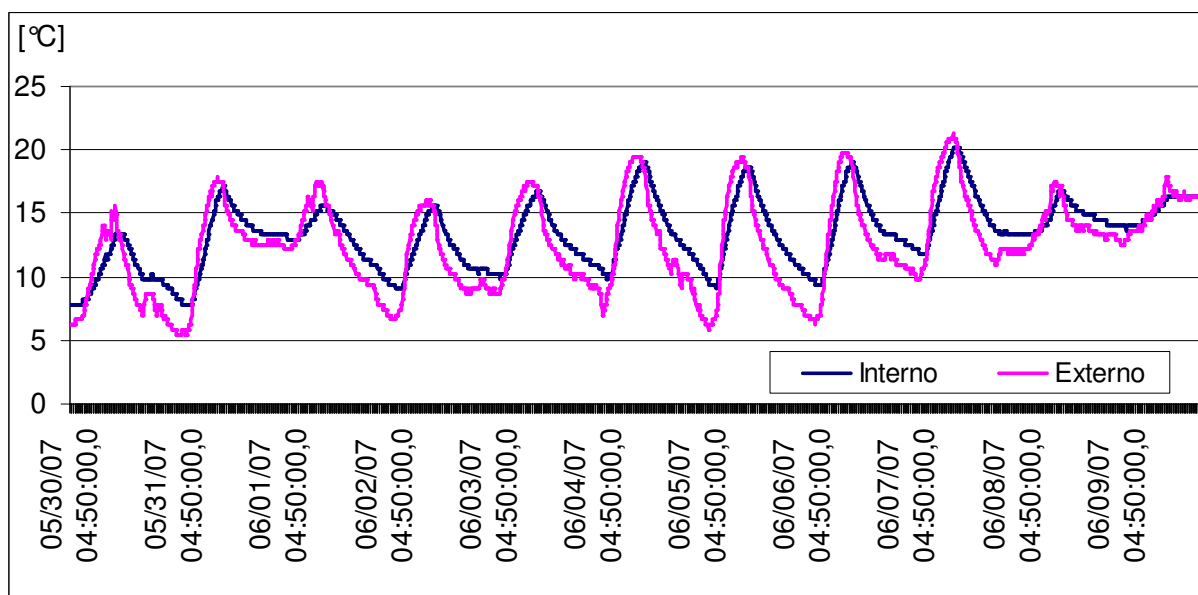


Figura 41 – Exemplo das temperaturas levantadas com HOBOS na casa com placas de 5 cm.

Conforme o Anexo E da ABNT NBR 15575-1 (2008), para o maior conforto dos usuários, recomenda-se para o desempenho térmico no verão e inverno nos níveis mínimo (M), intermediário (I) e superior (S):

Tabela 06 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão; $T_{i,Max}$ (Valor máximo diário de temperatura do ar no interior da casa, em °C), $T_{e,Max}$ (Valor máximo diário de temperatura do ar no exterior à casa, em °C)

Nível de desempenho	Critério (Zonas 1-7)
Mínimo	$T_{i,Max} \leq T_{e,Max}$
Intermediário	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 2^{\circ}C)$
Superior	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 4^{\circ}C)$

Tabela 07 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno; $T_{i,Min}$ (Valor mínimo diário de temperatura do ar no interior da casa, em °C), $T_{e,Min}$ (Valor mínimo diário de temperatura do ar no exterior à casa, em °C)

Nível de desempenho	Critério (Zonas 1-7)
Mínimo	$T_{i,Min} \leq (T_{e,min} + 3^{\circ}C)$
Intermediário	$T_{i,Min} \leq (T_{e,min} + 5^{\circ}C)$
Superior	$T_{i,Min} \leq (T_{e,min} + 7^{\circ}C)$

Para verificar o enquadramento utilizou-se os meses de verão / inverno com temperaturas típicas, ou seja, dias de inverno com temperaturas diárias externas mínimas abaixo de 15°C e dias de verão com temperaturas diárias externas máximas acima de 30°C (Tabelas 08 a 11).

Tabela 08 – Dados da temperatura Mínima Interna (Int.) e Externa (Ext.) da casa com placas de 5 cm de espessura dos meses de Inverno, junto a diferença (Dif.) diária entre as duas; em negrito dias com mínima abaixo de 15°C.

Data	Casa com Placa de 5 cm		Dif. [°C]
	Mínima Int. [°C]	Mínima Ext. [°C]	
3/7/2007	8,63	6,22	2,41
4/7/2007	12,16	10,21	1,95
5/7/2007	17,90	17,90	0,00
6/7/2007	21,95	21,72	0,23
7/7/2007	15,62	12,93	2,69
8/7/2007	12,93	10,21	2,72
9/7/2007	12,55	10,99	1,56
10/7/2007	9,03	6,22	2,81
11/7/2007	5,40	1,17	4,23
12/7/2007	2,46	-1,97	4,43
27/7/2007	9,03	5,40	3,63
28/7/2007	6,62	1,17	5,45
29/7/2007	3,74	-0,61	4,35
30/7/2007	8,63	6,62	2,01
31/7/2007	8,23	5,40	2,83
1/8/2007	9,82	7,03	2,79
2/8/2007	12,16	10,38	1,78
3/8/2007	12,55	11,77	0,78

Continuação

Data	Casa com Placa de 5 cm		Dif. [°C]
	Mínima Int. [°C]	Mínima Ext. [°C]	
4/8/2007	9,03	7,03	2,00
5/8/2007	5,81	2,03	3,78
6/8/2007	8,23	6,22	2,01
7/8/2007	9,30	5,40	3,90
8/8/2007	6,22	2,46	3,76
Média	(dias típicos)		2,95

Tabela 09 – Dados da temperatura Mínima Interna (Int.) e Externa (Ext.) da casa com placas de 3 cm de espessura dos meses de Inverno, junto a diferença (Dif.) diária entre as duas; em negrito dias com mínima abaixo de 15°C.

Data	Casa com Placa de 3 cm		Dif. [°C]
	Mínima Int. [°C]	Mínima Ext. [°C]	
3/7/2007	9,42	6,22	3,20
4/7/2007	12,16	9,83	2,33
5/7/2007	18,28	17,09	1,19
6/7/2007	22,09	20,57	1,52
7/7/2007	15,62	12,55	3,07
8/7/2007	12,93	9,82	3,11
9/7/2007	12,55	10,06	2,49
10/7/2007	9,82	6,22	3,60
11/7/2007	6,22	0,76	5,46
12/7/2007	2,89	-1,51	4,40
Média	(dias típicos)		3,46

Tabela 10 – Dados da temperatura Máxima Interna (Int.) e Externa (Ext.) da casa com placas de 3 cm de espessura dos meses de verão, junto a diferença (Dif.) diária entre as duas; em negrito dias com máxima acima de 30°C.

Data	Casa com Placa de 3 cm		Dif. [°C]
	Máxima Int. [°C]	Máxima Ext. [°C]	
3/1/2008	34,01	37,44	3,43
4/1/2008	32,76	34,01	1,25
5/1/2008	31,52	34,01	2,49
6/1/2008	31,93	32,34	0,41
7/1/2008	32,76	34,43	1,67
8/1/2008	35,27	36,15	0,88
9/1/2008	37,00	39,22	2,22
10/1/2008	37,44	39,60	2,16
11/1/2008	28,31	30,71	2,40
12/1/2008	27,52	30,31	2,79
13/1/2008	31,12	31,52	0,40
14/1/2008	34,43	34,59	0,16
15/1/2008	35,50	35,70	0,20
16/1/2008	32,34	35,27	2,93
Média	(dias típicos)		1,67

Tabela 11 – Dados da temperatura Máxima Interna (Int.) e Externa (Ext.) da casa com placas de 5 cm de espessura dos meses de verão, junto a diferença (Dif.) diária entre as duas; em negrito dias com máxima acima de 30°C.

Data	Casa com Placa de 5 cm		Dif. [°C]
	Máxima Int. [°C]	Máxima Ext. [°C]	
3/1/2008	34,01	37,44	3,43
4/1/2008	32,76	37,00	4,24
5/1/2008	31,52	35,27	3,75
6/1/2008	32,34	36,57	4,23
7/1/2008	32,76	38,22	5,46
8/1/2008	35,27	39,67	4,40
9/1/2008	37,00	41,94	4,94
10/1/2008	37,44	41,91	4,47
11/1/2008	28,31	31,12	2,81
12/1/2008	27,91	30,71	2,80
13/1/2008	31,12	34,01	2,89
14/1/2008	34,43	39,22	4,79
15/1/2008	35,34	40,52	5,18
16/1/2008	32,34	37,32	4,98
Média	(dias típicos)		4,17

Nos dados de inverno, ambas as casas atendem às exigências da ABNT; mesmo com média abaixo de 3°C a casa com placas de 5 cm, atende às necessidades, tendo em vista que entre os 21 dias típicos 8 atendem a ABNT com valores superiores a 3°C.

Observa-se a inversão dos dados de inverno e verão, onde a casa de 3 cm apresenta dados melhores frente a isolação contra frio e a casa de 5 cm contra o calor. Isso se deve ao fato, que a placa de 3 cm ter um maior teor de resíduos de borracha e somente a placa de 5 cm ter brita 1, além de apresentar na face externa pintura com tinta plástica de cor clara (Figura 42). Lima e Rocha (2004), Macedo (2005) e Macedo e Tubino (2005) comentam, que em argamassa e concreto com adição de partículas de pneu verifica se valores inferiores de condutividade, difusividade e coeficiente de dilatação térmica, sendo esse efeito acentuado com o aumento do teor da borracha. A redução da condutividade e da difusividade deve-se à características intrínsecas da borracha e do maior teor de ar incorporado junto à borracha. A diferença significativa do verão deve-se a espessura da placa, ou seja, em observações em campo (colocando a mão contra a face interna da placa) verificou-se que a placa de 3 cm apresentava temperaturas elevadas na face interna devido à grande transferência de energia solar; ao contrário, nunca se encontrou nas placas de 5 cm temperaturas tão elevadas.

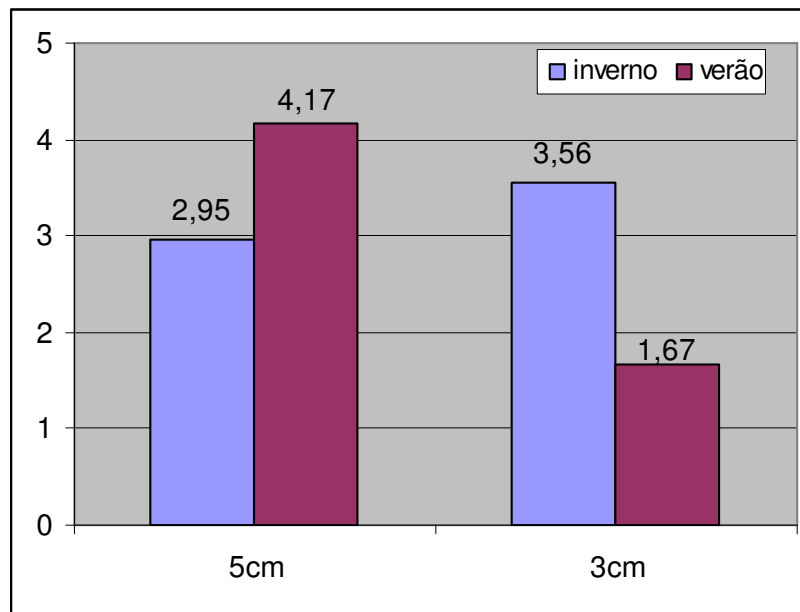


Figura 42 – Médias da diferença das temperaturas mínimas (inverno) e máximas (verão) para as casa com placas de 3 cm e 5 cm, conforme critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de cada estação (ABNT NBR 15575-1)

4.5 Desempenho a altas temperaturas

Conforme os procedimentos da ABNT NBR 15575 (2008) apresentado na metodologia, nos primeiros ensaios ambas as placas (3 cm e 5 cm), atingiram na média valores superiores de 140°C na face externa antes que a temperatura do forno chegasse a 800° C e por isso o forno foi desligado após 100 minutos na placa com 3 cm e 160 minutos na placa com 5 cm. Após desligar o forno, a face externa ainda aumentou a temperatura chegando a 171°C e 192°C, respectivamente, devido ao fogo no interior no forno provocado pela queima da borracha superficial (Tabelas 12 e 13).

Nas repetições dos ensaios com placas de 3 cm e 5 cm, deixou-se o forno ligado, mesmo atingido valores superiores ao solicitado pela ABNT, para verificar a ocorrência de fissuras e deformações nas placas em temperaturas até 800°C conforme programa no forno (Figura 43a 46).

Tabela 12 – Valores máximos dos ensaios de resistência ao fogo das placas de 3 cm.

Placa de 3 cm	Temp. Máxima [°C]	Tempo [min.]	Temp. Máxima [°C]	Tempo [min.]
Face Interna 1	400,1	105	420,2	160
Face Interna 2	397,7	110	423,1	155
Metade 1	286,3	125	309,0	175
Metade 2	303,6	125	293,8	175
Face Externo 1	161,0	125	192,0	185
Face Externo 2	171,0	125	178,0	185
Interno termopar	523,5	100	682,3	160

Tabela 13 – Valores máximos dos ensaios de resistência ao fogo das placas de 5 cm.

Placa de 5 cm	Temp. Máxima [°C]	Tempo [min.]	Temp. Máxima [°C]	Tempo [min.]
Face Interna 1	421,0	165	647,9	185
Face Interna 2	423,5	155	626,4	195
Metade 1	309,0	175	435,3	205
Metade 2	293,1	175	450,7	205
Face Externo 1	192,0	185	230,0	200
Face Externo 2	178,0	185	22,0	200
Interno termopar	682,3	160	740,8	195
Interno Forno*	729,0	155	800,0	185

* Termostato do Forno

Após o ensaio de submissão ao fogo, realizou-se a análise visual das placas para encontrar macro-modificações. As placas não apresentaram fissuras, trincas ou *spalling*, bem como não apresentaram deformações transversais permanentes provocadas pelas temperaturas elevadas. Somente a terra refrataria ressecou durante o ensaio, deixando assim sair os gases produzidos na face interna.

Ao contrário do que descrito por Hernández-Olivares e Barluenga (2004) e Macedo (2005), não ocorreu lascamento ou *spalling* nas placas, já que a cura das placas foi superior a 30 dias em ambiente quente e seco (verão) e as placas formadas por relativamente pouco resíduo de borracha e brita nº 1 (traço 1:2:2:0,5). Outro fator de não encontrar macro-modificações, deve-se ao fato que a abertura de canais deixados pela queima das partículas de borracha, que permitissem a saída do vapor de água e assim reduzindo as tensões internas devido à pressão de vapor.

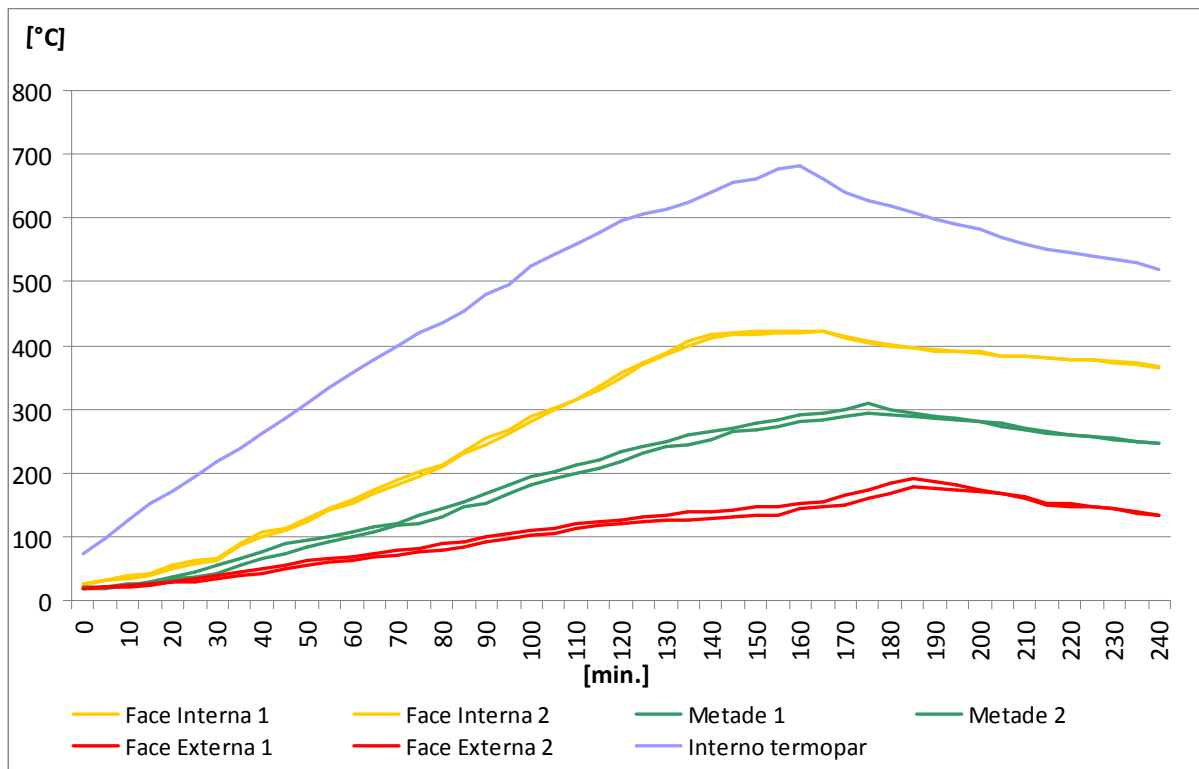
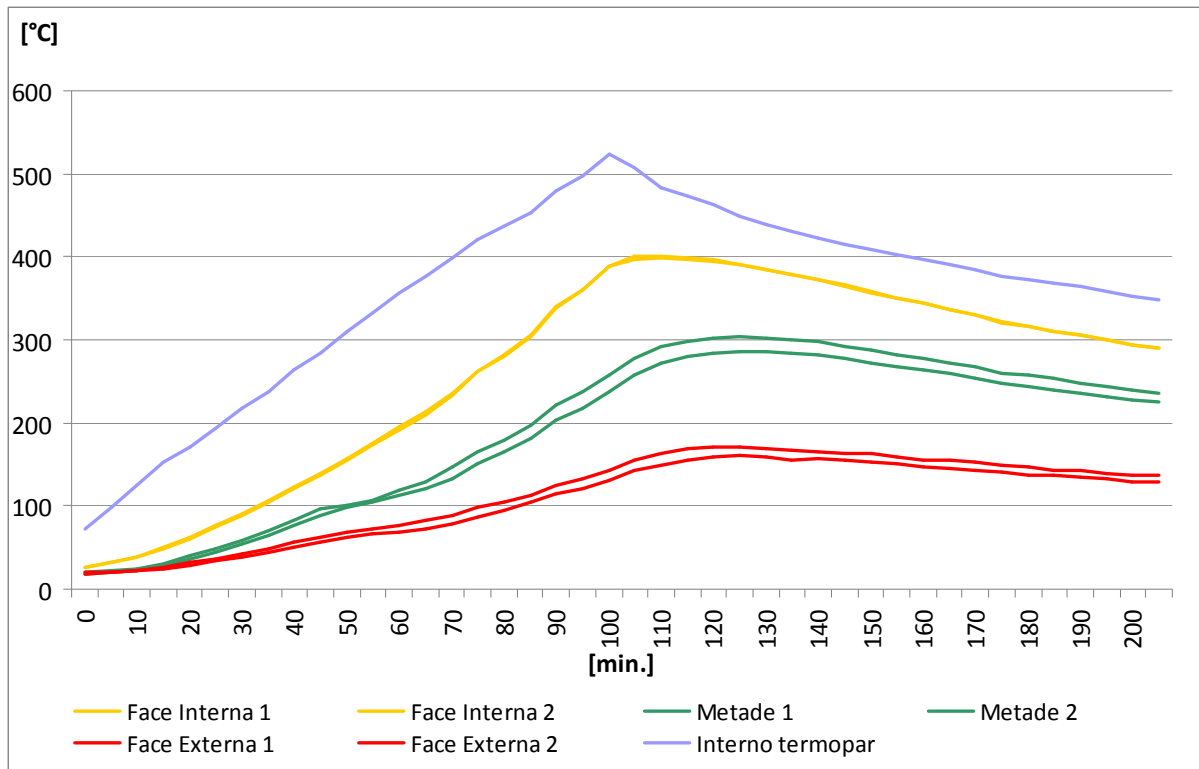


Figura 43 e 44 – Testes de transmissão de calor com placa de 3 cm, mostrando o desenvolvimento das temperaturas ao longo dos ensaios; linhas de cores iguais mostram as repetições de medida na face interna, externa e metade da espessura da placa.

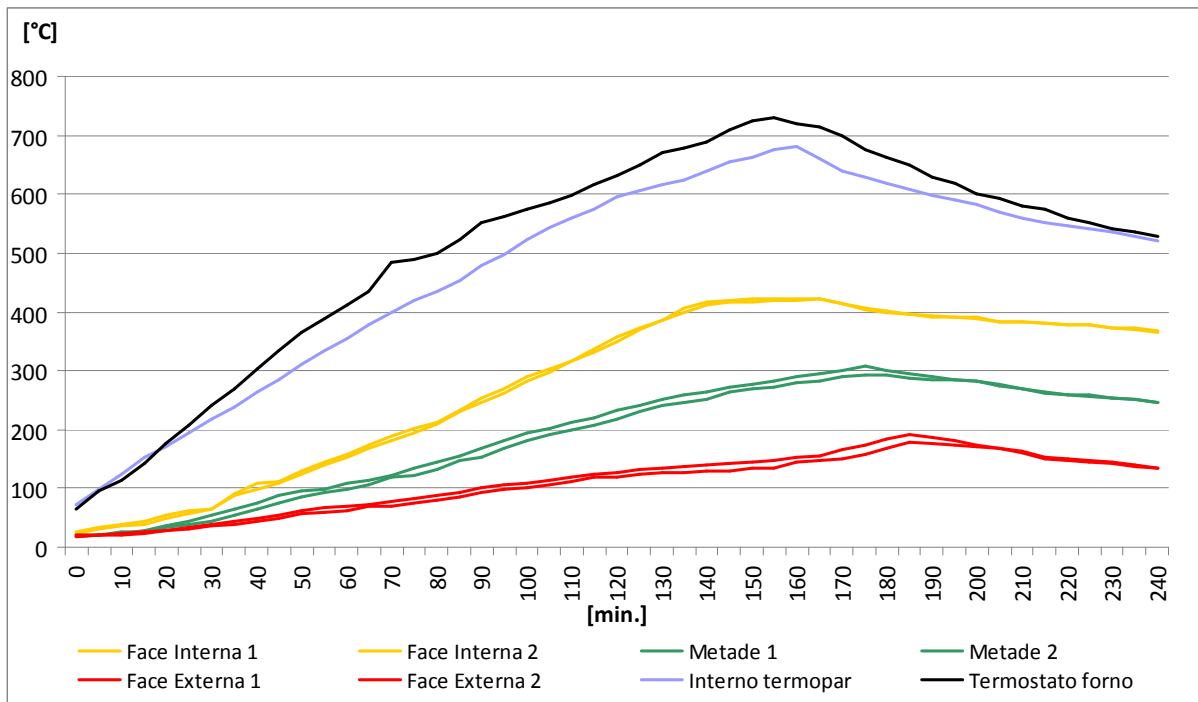
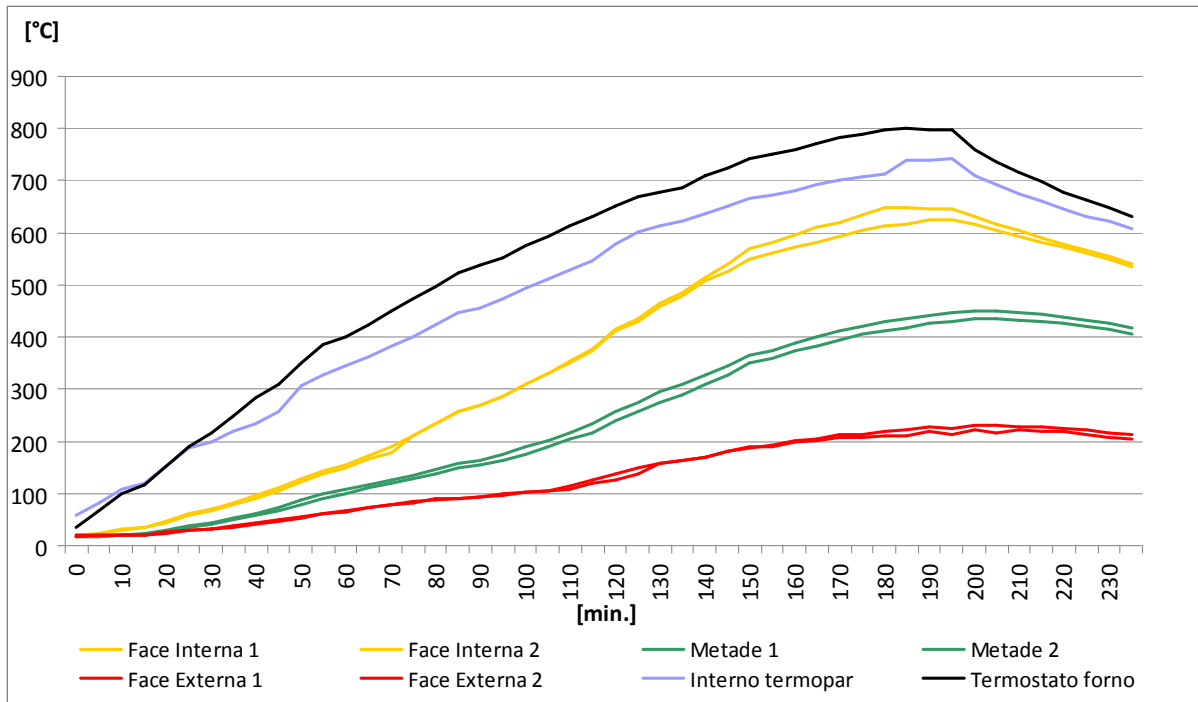


Figura 45 e 46 – Testes de transmissão de calor com placa de 5 cm, mostrando o desenvolvimento das temperaturas ao longo dos ensaios; linhas de cores iguais mostram as repetições simultâneas de medida na face interna, externa e metade da espessura da placa.

Na placa de 3 cm observou-se uma leve deformação transversal durante o ensaio, ou seja, a parte superior da placa se distanciou aproximadamente 3 mm do forno, o que junto o ressecamento da terra refratária resultou numa abertura entre a

placa e o forno de até 5 mm em alguns pontos, possibilitando a saída de gases e formação do fogo na parte interna do forno, provocando escurecimento da borda da placa (Figura 47 e 48). Após a placa resfriar, a mesma foi medida e não foi possível verificar uma deformação permanente da placa.



Figura 47 – Vista superior mostrando a formação de fissuras na terra refratária entre a placa e o forno; forno (azul, a esquerda), pórtico (marrom, a direita) e a placa de 3 cm no meio.



Figura 48 – Vista lateral superior mostrando parte superior da placa de 3 cm e formação da fresta entre placa e o forno; a cor vermelho indica o processo de incêndios dentro do forno.

Conforme Eldim e Seneouci (1993) e TOPÇU (1997) a presença de partículas de borracha em concretos, aumenta a tenacidade e assim a redução da resistência é compensada por uma grande capacidade de deformação, sendo que a energia necessária para levá-lo à ruptura torna-se maior do que a de um concreto convencional. Por isso, na placa de 3 cm não ocorreu fissuração ou *spalling*, mesmo com uma deformação transversal devido às altas temperaturas.

Em função ao calor, a cor das placas mudou na face externa, apresentando leve coloração marrom no centro da placa; a face interna não apresentou mudança de cor, somente manchas provocadas pela saída dos gases nas margens das mesmas (Figura 49). As manchas individuais marrons fortes na face interior da placa de 3 cm deve-se ao fato que neste ocorreu a transmissão de gases entre a face externa e interna (Figura 50 e 51).



Figura 49 – Vista externa da placa de 5 cm do segundo ensaio (aquecimento até 800°C): apresenta manchas fracas no centro da placa.



Figura 50 – Vista externa da placa de 3 cm do segundo ensaio (aquecimento até 682,3°C): apresenta manchas forte de marrom na área central da placa.

Referente às mudanças de cor, Cánovas (1988) e Lima (2004) citam que agregados podem sofrer mudanças de coloração devido às temperaturas altas. As colorações marrons, encontradas nas placas se referem a efeitos de queima da borracha superficial e assim formações de gases que, saindo lateralmente na placa provocaram as machas marrons apresentadas nas Figuras 49 e 50.

A mudança de coloração do concreto sendo mais acinzentada na face interna deve se ao fato que na temperatura próxima de 200°C ocorrem mudanças no agregado (LIN *et al.*, 1996), sem que ocorram mudanças significativas em termos de redução da resistência.

Este fenômeno foi observado na placa de 5 cm, onde a coloração nas partes centrais da face interna mudou visivelmente de cinza para cinza claro (Figura 51). Já a placa de 3 cm não apresentou uma mudança de coloração na face interna, somente apresentando as manchas provocadas pelo derretimento da borracha (Figura 52).



Figura 51 – Vista interna da placa de 5 cm, após o ensaio: visível as marcas escuras nas bordas da placa provocadas pela saída dos gases e a cor acinzentada no centro.



Figura 52 – Vista interna da placa de 3 cm, após o ensaio: visível as marcas marrom escuras, principalmente na parte superior da placa.

As machas individuais marrons fortes na face interior da placa de 3 cm atribuiu-se ao comportamento à abertura de canais deixados pela queima das partículas de borracha, onde o vapor de água e os gases podem sair ou ultrapassar a placa pelas modificações micro-estruturais (MACEDO, 2005).

Além disso, observou-se manchas nas placas de 3 cm manchas escuras ao redor de partículas superficiais na face externa, quando a esta face atingiu temperaturas acima de 120°C; a partir de 140°C nos mesmos lugares das partículas, observou-se uma leve liberação de fumaça (gases). Conforme citado por Lima (2004) e Macedo (2005), em temperatura elevadas a borracha começa a derreter e liberar componentes gasosas. Num primeiro momento é liberada a água da borracha e, posteriormente, a mesma passa para fase líquida sob liberação de substâncias gasosas. As manchas escuras ao redor das partículas resultam deste processo, já que as fases gasosas estão diretamente liberadas para o meio externo (partículas superficiais), provocando a formação de machas (Figura 53).



Figura 53 – Detalhe da vista externa da placa de 3 cm do segundo ensaio (aquecimento até 682,3°C): mostrando a modificação das partículas superficiais.

Conforme ABNT NBR 5628, peças de estrutura pré-moldadas são consideradas “satisfatórias como isolantes térmicos se não sofrer um aumento de temperatura, na face não exposta, acima da temperatura inicial, superior em média a 140°C e em qualquer ponto a 180°C”.

Tabela 14 – Tempo em minutos até atingir as temperaturas limites exigidos pela ABNT NBR 5628.

Placas	3 cm			5 cm		
	1º teste	2º teste	média	1º teste	2º teste	média
Tempo médio até atingir 140°C na face externa [min]	102	150	126	125	150	137
Tempo médio até atingir 140°C acima temp. inicial na face externa [min] *	112	170	141	130	170	150
Tempo até atingir 180°C em um ponto na face externa [min]	130	180	150	145	180	162
Tempo até atingir 180°C em um ponto acima temp. inicial na face externa [min] *	--	--	--	160	185	172

* Critérios da ABNT NBR 5628

4.5.1 Teste do “chumaço de algodão”

Conforme a NBR-5628 realizou-se a avaliação da estanqueidade pelo teste do “chumaço de algodão”. Para obter dados confiáveis, durante os ensaios de fogo, os testes de “chumaço de algodão” foram realizados a cada 5 min., em pontos diferentes na face externa. Observou-se em nenhum momento durante todos os testes a formação de fumaça ou fogo junto o chumaço de algodão, exposta 3 cm distante a superfície externa da placa testada. Observou-se somente junto a placa de 3 cm, quando a temperatura na face externa da placa chegou perto de 200°C uma leve mudança na coloração do algodão, mas não mostrando vestígios de uma carbonização.

4.6 Sistemas e propostas arquitetônicas

Com base nos estudos das Avaliações Pós-Ocupação (APO), novas propostas arquitetônicas foram elaboradas com a finalidade de melhorar a distribuição da área em espaços diferentes.

A partir dos resultados obtidos na avaliação pós-ocupação, foram propostos novos projetos de habitações considerando as mudanças sugeridas e necessárias para o melhor conforto e satisfação dos moradores, bem como o cumprimento da legislação vigente nos quesitos iluminação, ventilação e demais itens que se destinam a regularizar as edificações.

Para a elaboração dos projetos propostos para as edificações foram considerados, entre outros itens,

- *Banheiro interno, próximo à cozinha, e utilização de cantoneiras metálicas nas áreas molhadas:* nos banheiros serão utilizados somente montantes de concreto, tendo em vista que os de madeira nas casas já construídas apresentam, em tempo curto, problemas de umidade e apodrecimento. Além disso, os banheiros serão localizados junto à área construída, facilitando o acesso e minimizando desconfortos térmicos na utilização dos mesmos. A localização deve ser próxima à cozinha para diminuir os custos com instalações hidrossanitárias.

- *Colocação de forro:* para diminuir os impactos térmico e acústico nos novos projetos arquitetônicos, prevê-se a colocação de forro de madeira (*Pinus* sp.), uma vez que a maioria das casas já construídas apresenta a colocação de forro como uma das modificações do projeto original, realizado pelos moradores destas casas e avaliado como essencial para uma melhora no conforto habitacional.

- *Substituição das aberturas metálicas por aberturas de madeira:* uma das maiores reclamações dos moradores das casas foi a qualidade inferior das aberturas e os problemas enfrentados na manutenção, sendo assim planejadas aberturas de madeira, mais fáceis e baratas de serem consertadas.

- *Aumento dos beirais de 30 cm para 50 cm:* devido ao beiral ser estreito, as paredes e principalmente as aberturas mostraram sinais de deterioração. Assim optou-se em aumentar os beirais para 50 cm, diminuindo o impacto climático (chuva) sobre as aberturas.

- *Cobertura de fibrocimento em duas águas com orientação frente-fundo:* a cobertura das casas deve ser feita com telhas de fibrocimento sobre madeiramento,

para melhorar o conforto térmico e acústico, com beirais maiores para diminuir o impacto sobre as aberturas, e com orientação frente–fundo para possibilitar a construção isolada ou em fita.

- *Divisórias internas de placas de concreto*: conforme APO, em todas as casas foram instaladas divisórias para melhorar o convívio e utilização do espaço interno, sendo as mesmas já previstas nos novos projetos arquitetônicos.

- *Sistema elétrico aparente*: para fins de segurança e estética, a parte elétrica será embutida nos montantes em tubos de PVC flexíveis, tendo em vista que um dos problemas encontrados na avaliação pós-ocupação foi o estado inadequado da fiação aparente em diversas casas.

Foram elaborados projetos completos para edificações de 29,13m², 29,28m², 44,32m² e 59,60m² considerando a possibilidade de construção das edificações em fita e/ou geminadas. Nestes projetos incluíram-se as necessidades dos moradores, levantadas na avaliação pós-ocupação, prevendo espaços específicos para famílias pequenas, intermediárias e maiores (Tabela 15).

Tabela 15 – Tipologia das casas e número de placas e pilares utilizados.

Casa	Nº de dormitório	Nº de placas utilizadas	Nº de pilares utilizados
29,13m²	Ambientes integrados	115	28
29,28m²	Ambientes integrados	130	28
44,32m²	2	205	44
59,60m²	3	265	55

Conforme os dados levantados na avaliação pós-ocupação, os projetos arquitetônicos estão prevendo, além da reorganização dos espaços construídos, mudanças na forma construtiva dos espaços, bem como na utilização de materiais.

A seguir são apresentadas as plantas baixas (planta baixa, elétrica, hidráulica), cortes, fachadas de todas as tipologias propostas. Os tamanhos sugeridos para as unidades habitacionais dependem dos tamanhos das placas utilizadas em todas as casas, tendo em vista a possibilidade de utilizar as mesmas placas em tipologias diferentes.

4.6.1 Residência de 29,13m²

Conforme avaliação pós-ocupação existe uma demanda grande para casas de até 30m², para famílias formadas por duas pessoas, podendo ser casais novos, ainda sem crianças, ou casais idosos. Para estas famílias optou-se por casas com um único ambiente, que podem ser construídas na forma geminada para diminuir o custo e a área ocupada. Sendo assim, o projeto pode ser executado com abertura lateral na parte da cozinha na forma não-geminada, ou sem esta abertura no conjunto geminado.

Para as famílias, principalmente os jovens que pretendem ter filhos, existe a possibilidade de aumentar a área construída em conjuntos não-geminados, tendo em vista que podem ser anexados quartos lateralmente ao projeto inicial.

As Figuras 54 a 62 são referentes ao projeto da residência de 29,13m².



Figura 54 – Fachada do projeto da residência de 29,13m²

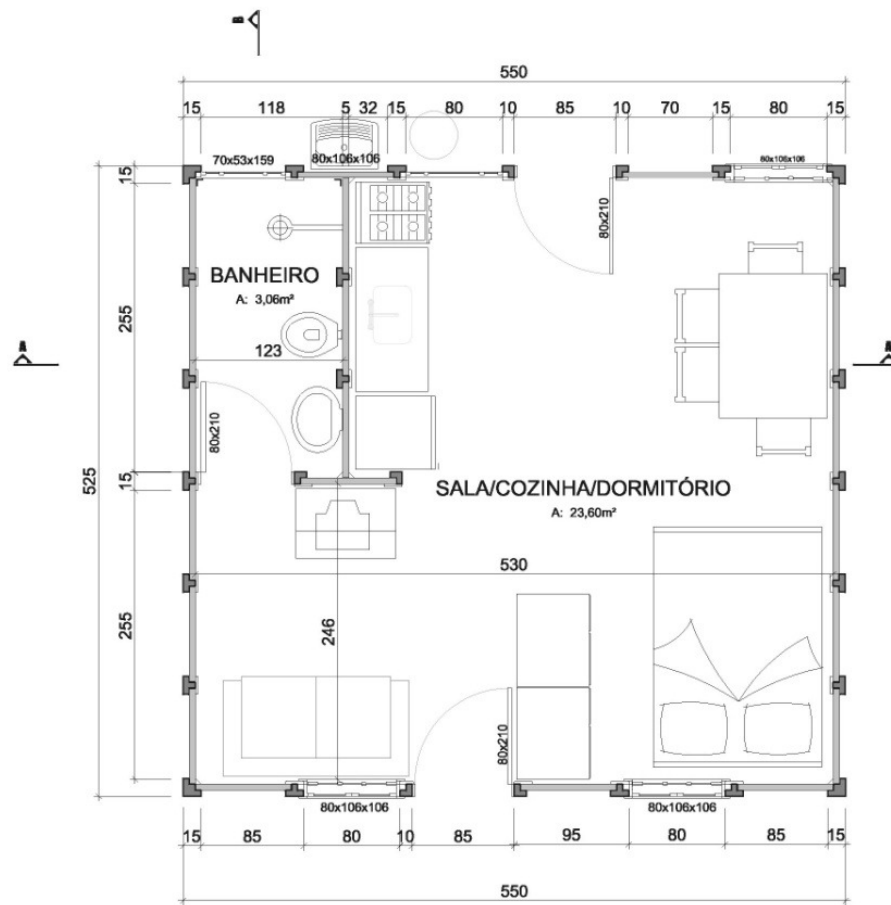


Figura 55 – Planta baixa mobiliada do projeto da residência de 29,13m²

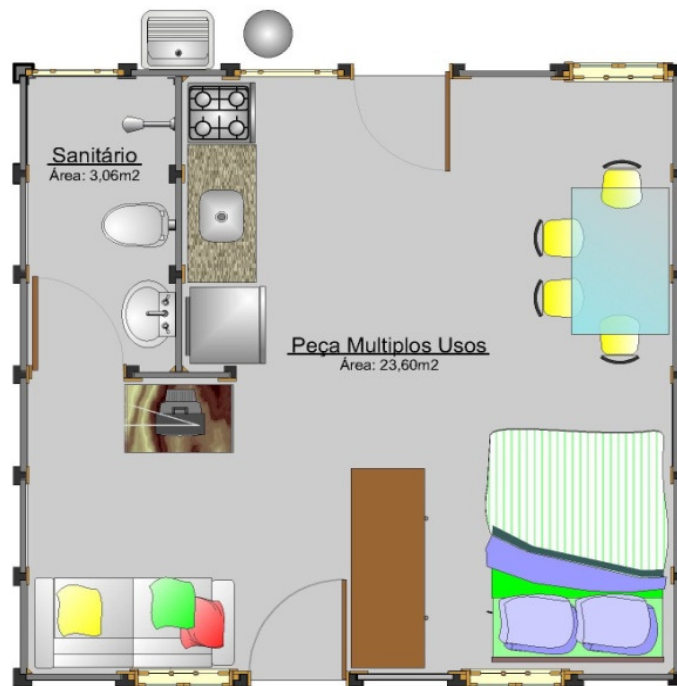


Figura 56 – Planta baixa humanizada do projeto da residência de 29,13m²

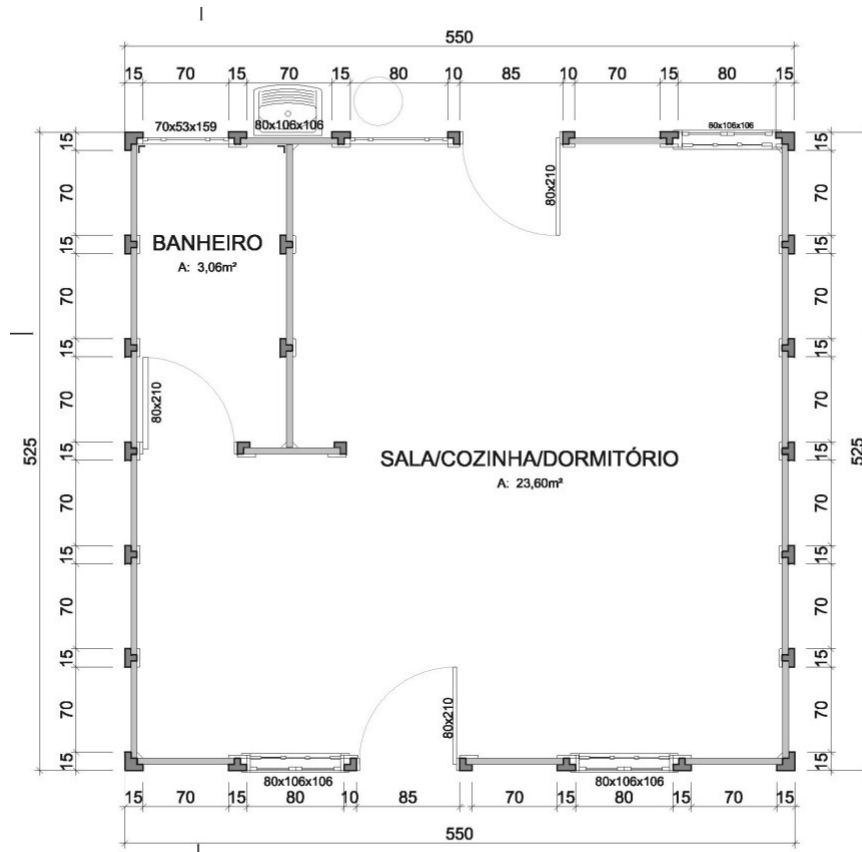


Figura 57 – Planta baixa de locação dos pilares do projeto da residência de 29,13m².

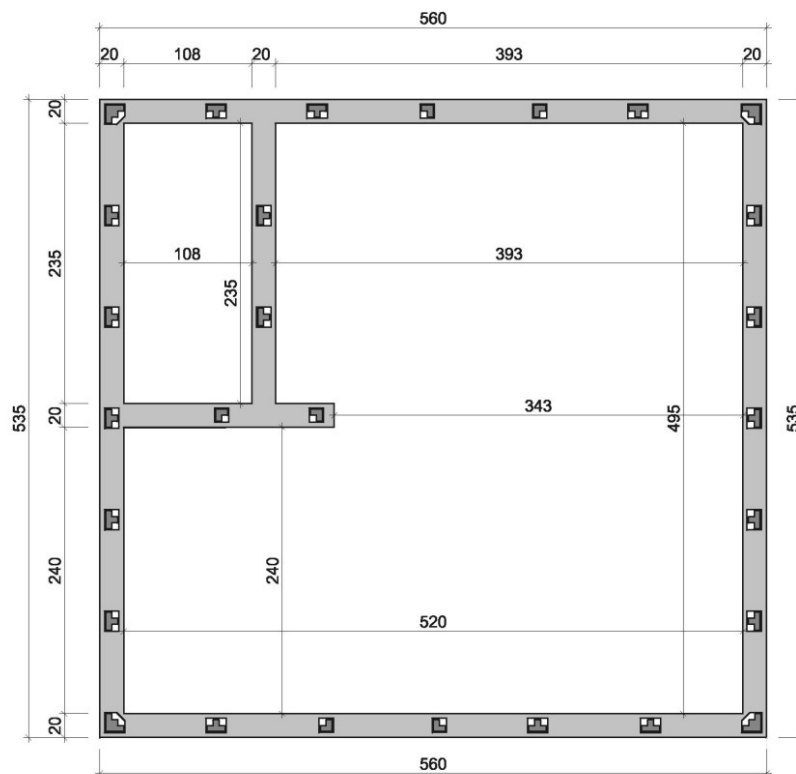


Figura 58 – Planta baixa das vigas de fundação do projeto da residência de 29,13m².

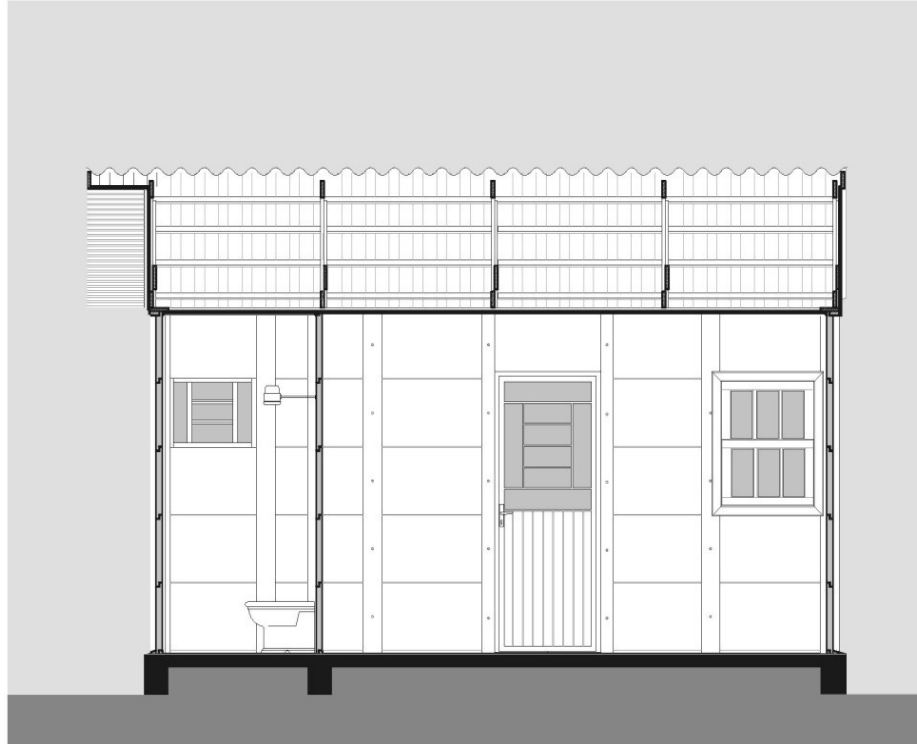


Figura 59 – Corte AA' do projeto da residência de 29,13m².

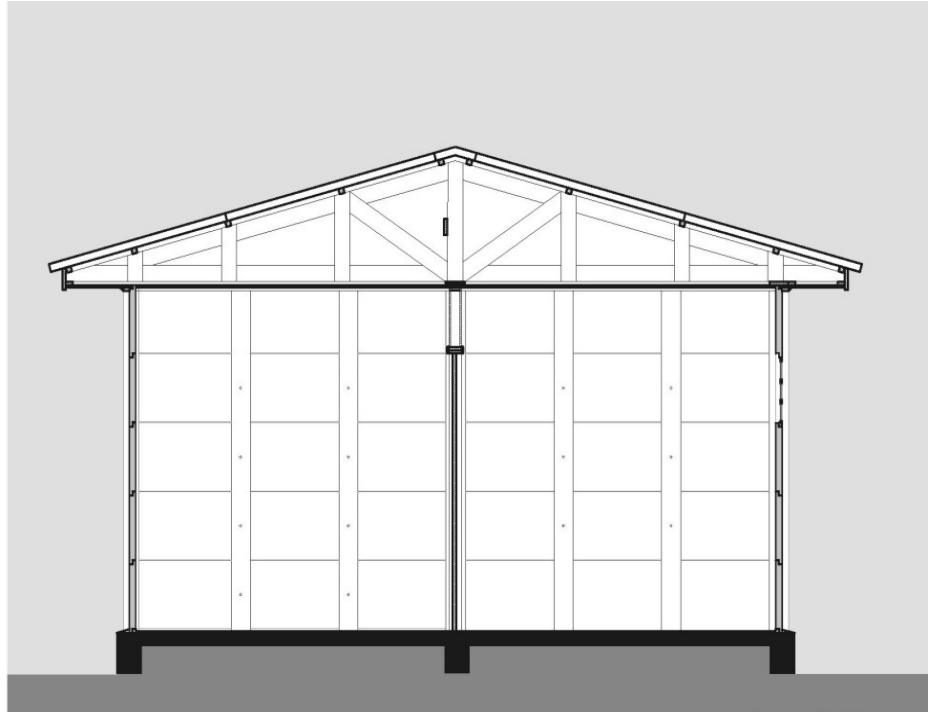
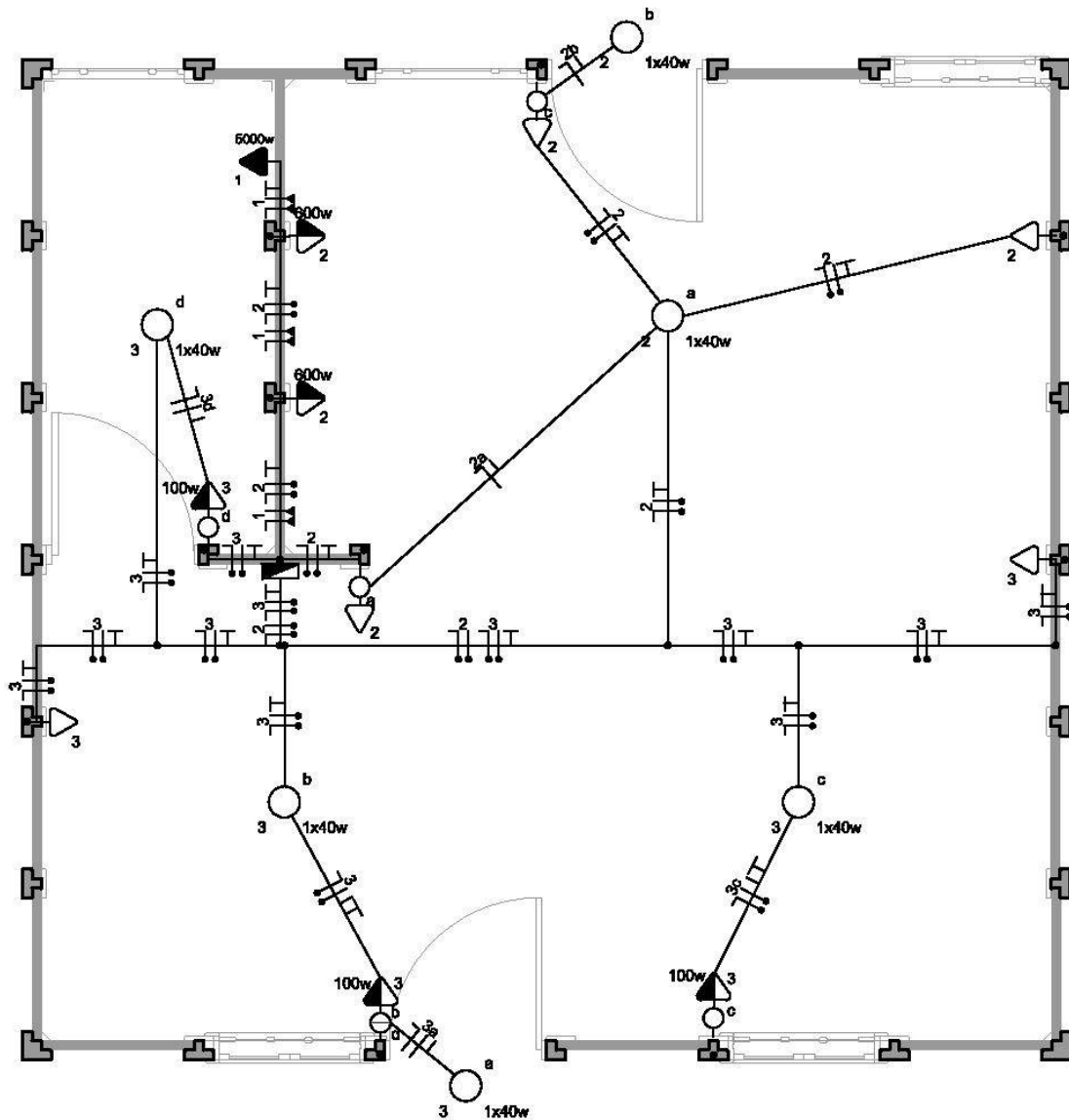


Figura 60 – Corte BB' do projeto da residência de 29,13m².



Legenda

○	Ponto de luz	—	Linha Aérea
▣	Centro de Distribuição (CD)	+ +	Linha Aérea de
○	Interruptor (110cm)	+ +	Fase, Neutro 1,5mm ²
⊖	Interruptor Duplo (110cm)	+ +	Fase, Neutro 2,5mm ²
▷	Tomada Baixa (30cm)	+ +	Fase, Neutro 4,0mm ²
▷	Tomada Média (110cm)	⊥	Condutor de Proteção 2,5mm ²
▷	Tomada Alta (210cm)	⊥	Pilar com Eletroduto Vertical

Figura 61 – Planta Elétrica do projeto da residência de 29,13m².

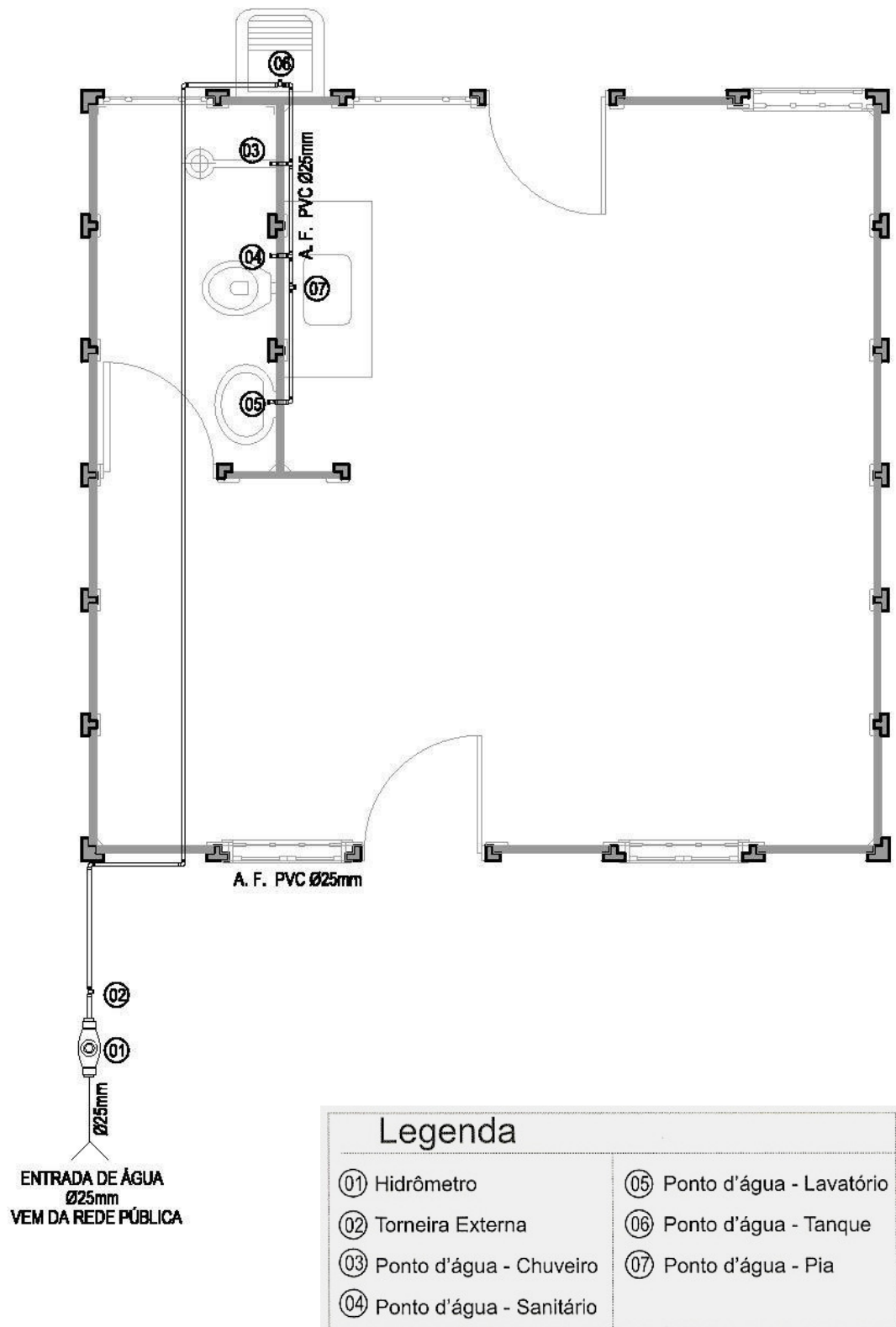


Figura 62 – Planta Hidrosanitária do projeto da residência de 29,13m².

4.6.2 Residência de 29,28m²

Conforme citado anteriormente, casas de até 30m² para famílias formadas por duas pessoas são muito demandadas, principalmente por se tratar de jovens ou idosos com poder aquisitivo limitado.

Ao contrário do projeto anterior, no presente, a planta baixa da casa é retangular, ou seja, conforme o terreno e a necessidade de construção em fita ou geminada, pode-se optar por um dos dois projetos, sendo estes de áreas construídas iguais.

As figuras 63 a 71 são referentes ao projeto da residência de 29,28m².



Figura 63 – Fachada do projeto da residência de 29,28m²

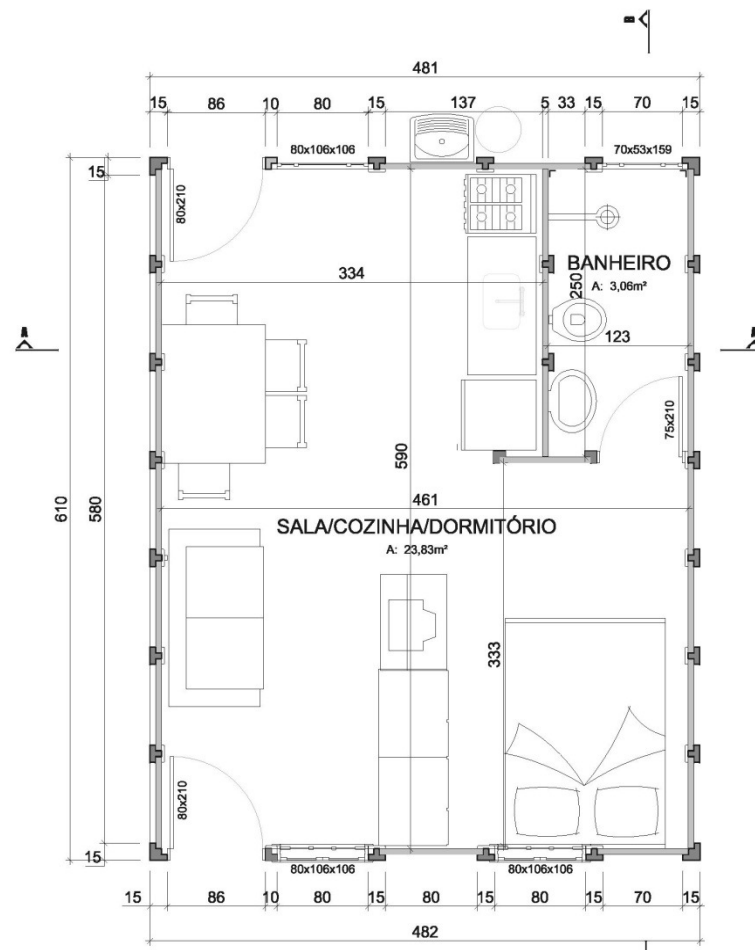


Figura 64 – Planta baixa mobiliada do projeto da residência de 29,28m².

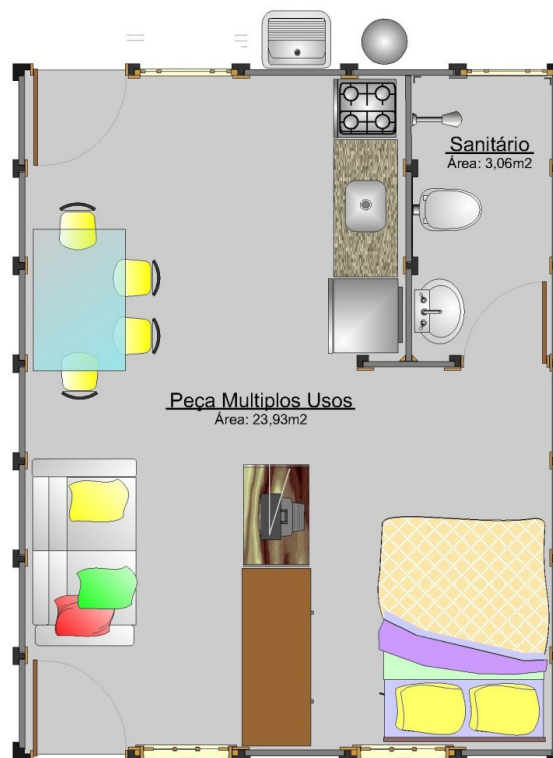


Figura 65 – Planta baixa humanizada do projeto da residência de 29,28m².

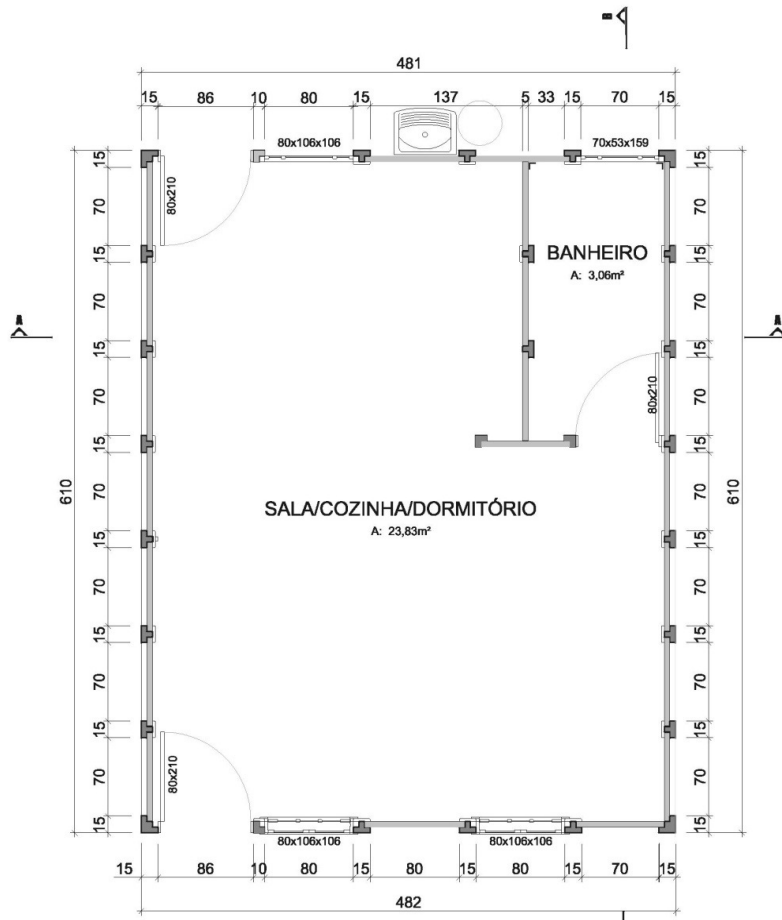


Figura 66 – Planta baixa de locação dos pilares do projeto da residência de 29,28m².

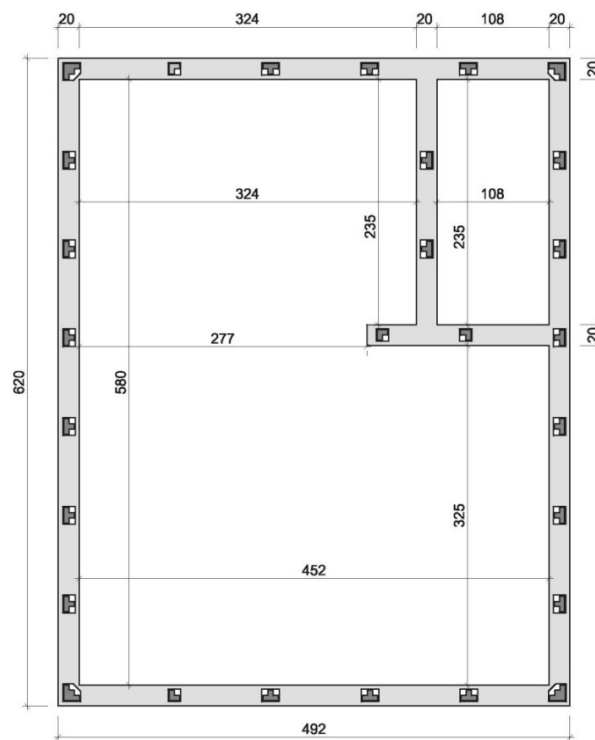


Figura 67 – Planta baixa das vigas de fundação do projeto da residência de 29,28m².

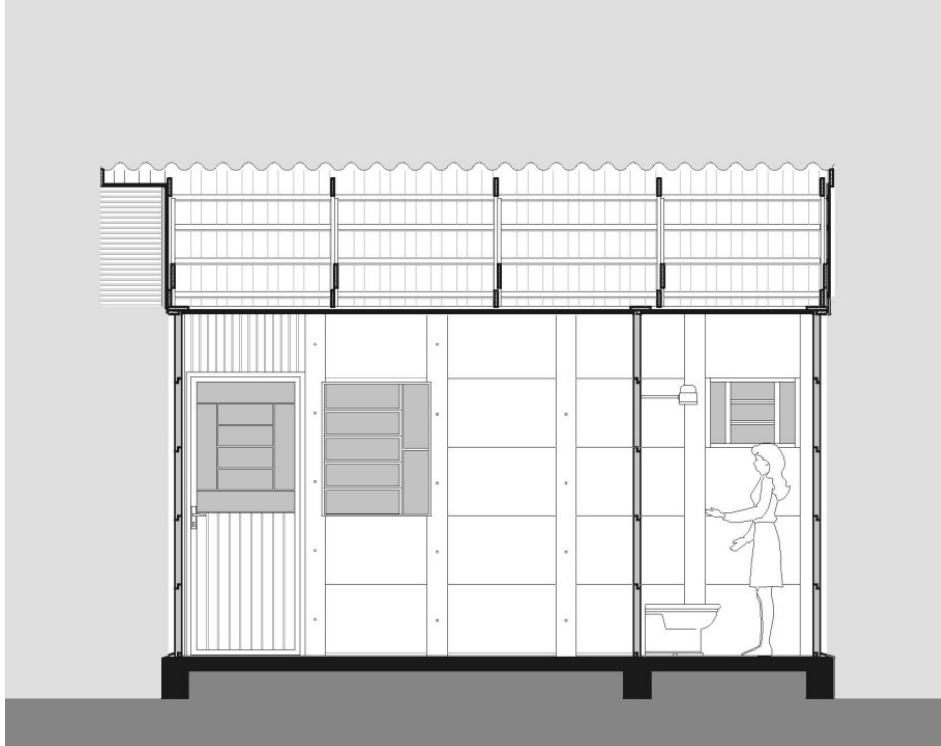


Figura 68 – Corte AA' do projeto da residência de 29,28m².

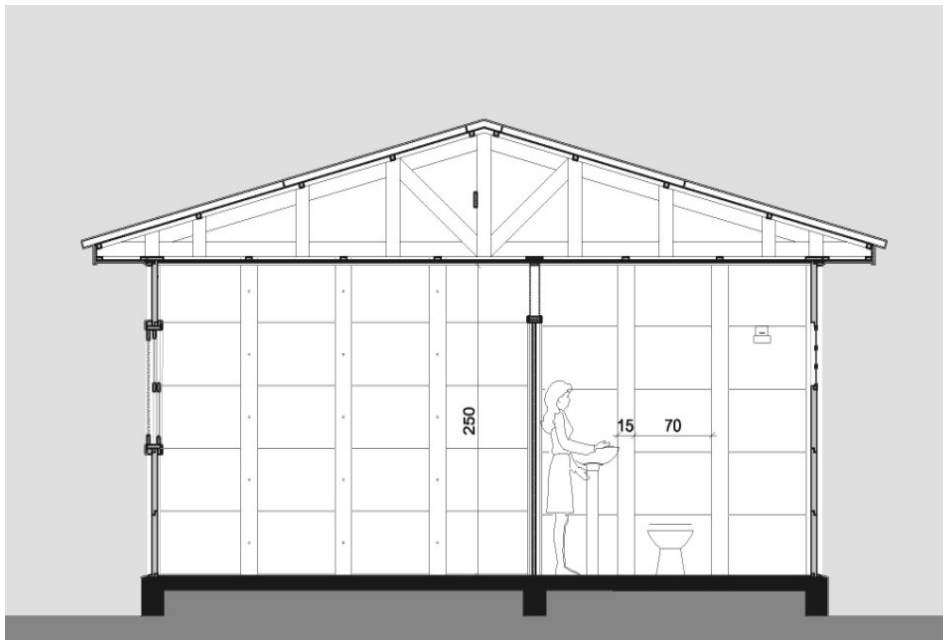
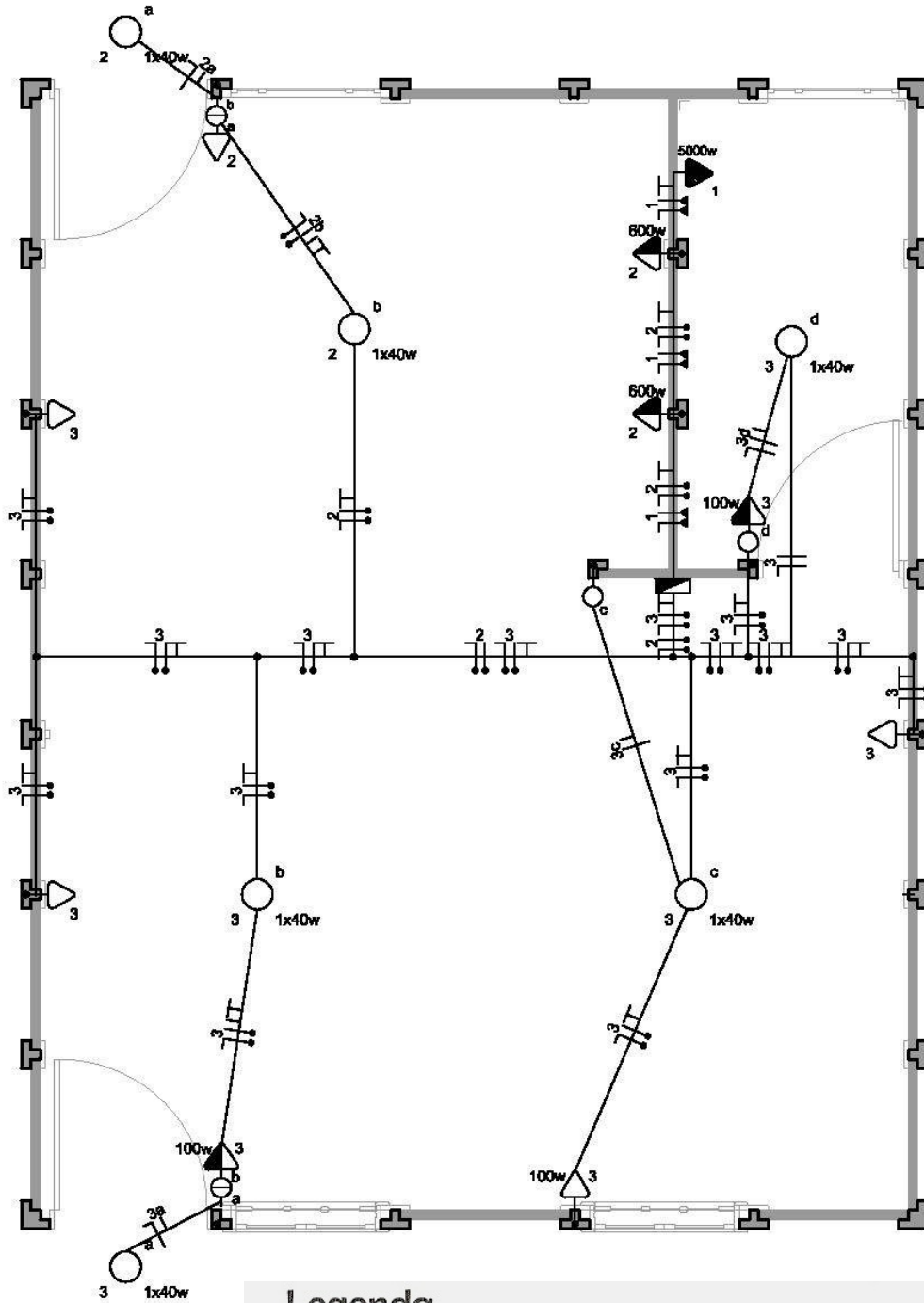


Figura 69 – Corte BB' do projeto da residência de 29,28m².



Legenda

	Ponto de luz		Linha Aérea
	Centro de Distribuição (CD)		Linha Aérea de
	Interruptor (110cm)		Fase, Neutro 1,5mm ²
	Interruptor Duplo (110cm)		Fase, Neutro 2,5mm ²
	Tomada Baixa (30cm)		Fase, Neutro 4,0mm ²
	Tomada Média (110cm)		Condutor de Proteção 2,5mm ²
	Tomada Alta (210cm)		Pilar com Eletroduto Vertical

Figura 70 – Planta Elétrica do projeto da residência de 29,28m².

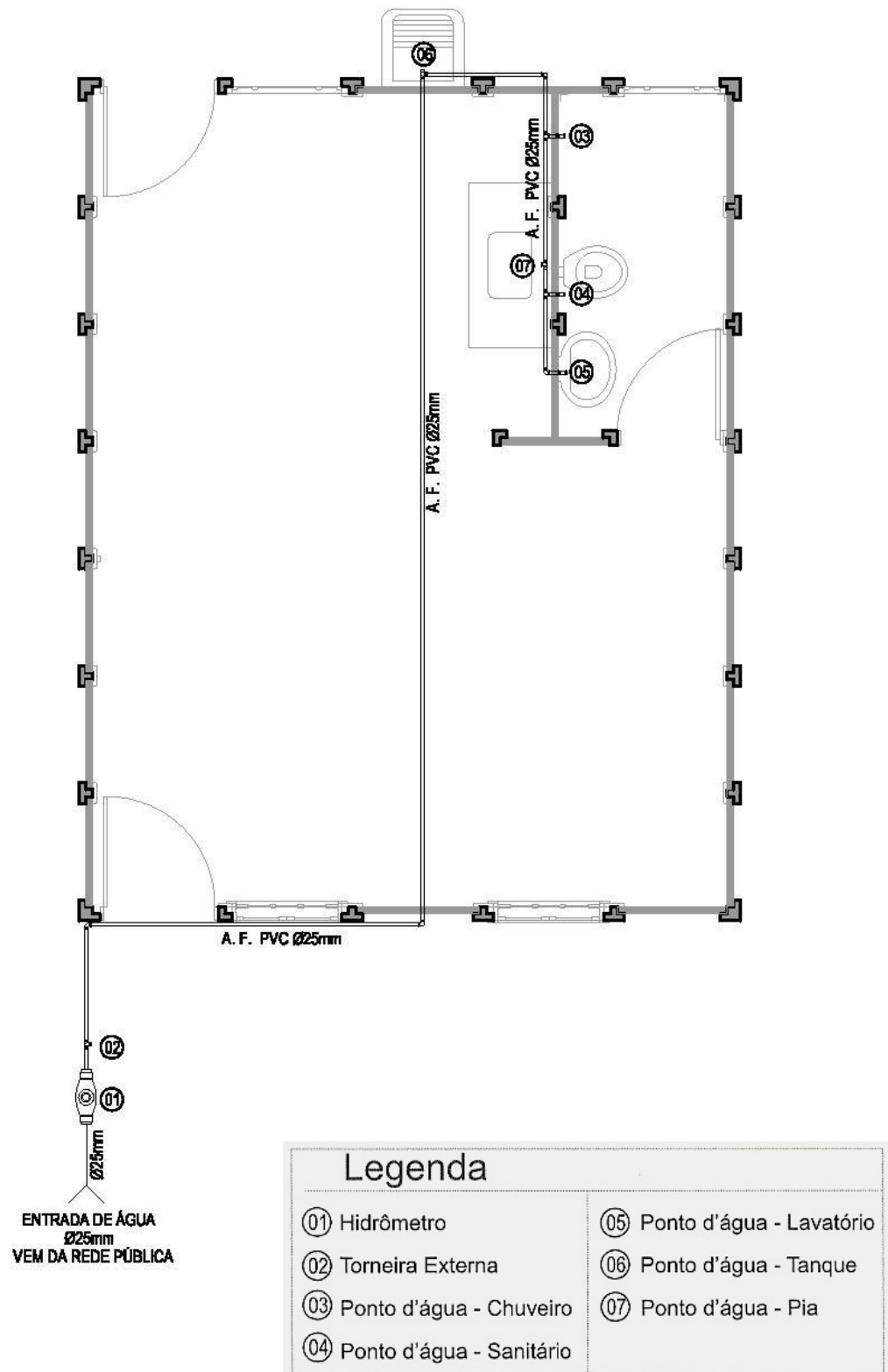


Figura 71 – Planta Hidrosanitária do projeto da residência de 29,28m².

4.6.3 Residência de 44,32m²

Conforme avaliação pós-ocupação das famílias nos conjuntos habitacionais, a maioria tem mais de um filho, em grande parte ainda pequenos. Nestas famílias, o homem tem um emprego fixo, com pagamento salarial mensal, e a mulher atua como safrista ou em outros empregos temporários, tendo assim um poder aquisitivo mais elevado. Assim, o projeto arquitetônico prevê dois dormitórios, sendo um para o casal e outro para os filhos, com sala e cozinha integrada em um ambiente único. Como no projeto anterior, existe a possibilidade de aumentar a área construída, podendo ser aumentado os dormitórios ou anexados mais quartos no lado adjacente à sala de estar da casa.

As figuras 72 a 80 são referentes ao projeto da residência de 44,32m².

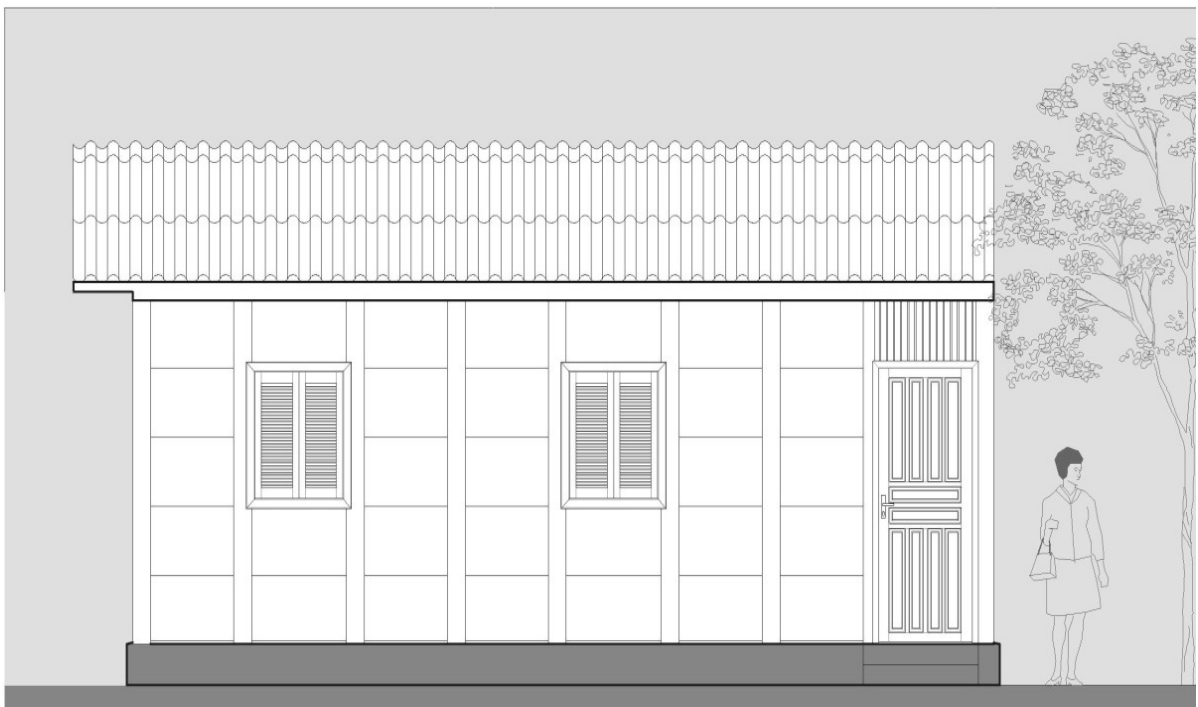


Figura 72 – Fachada do projeto da residência de 44,32m².

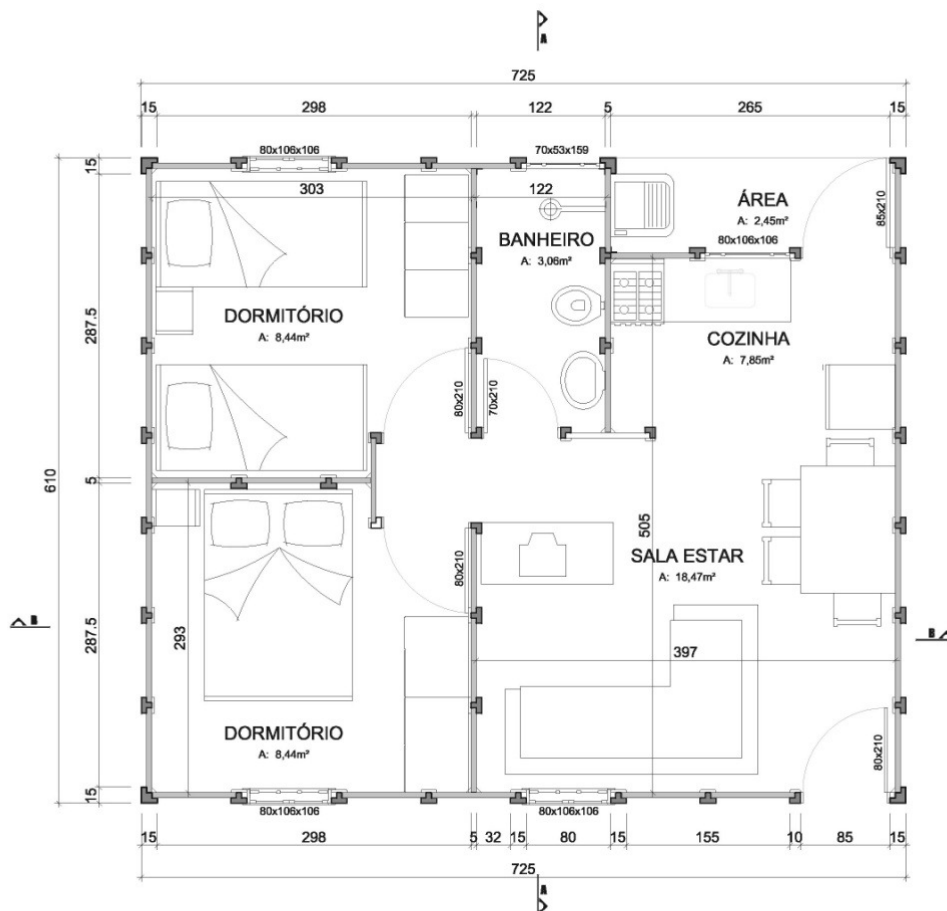


Figura 73 – Planta baixa mobiliada do projeto da residência de 44,32m².



Figura 74 – Planta baixa humanizada do projeto da residência de 44,32m².

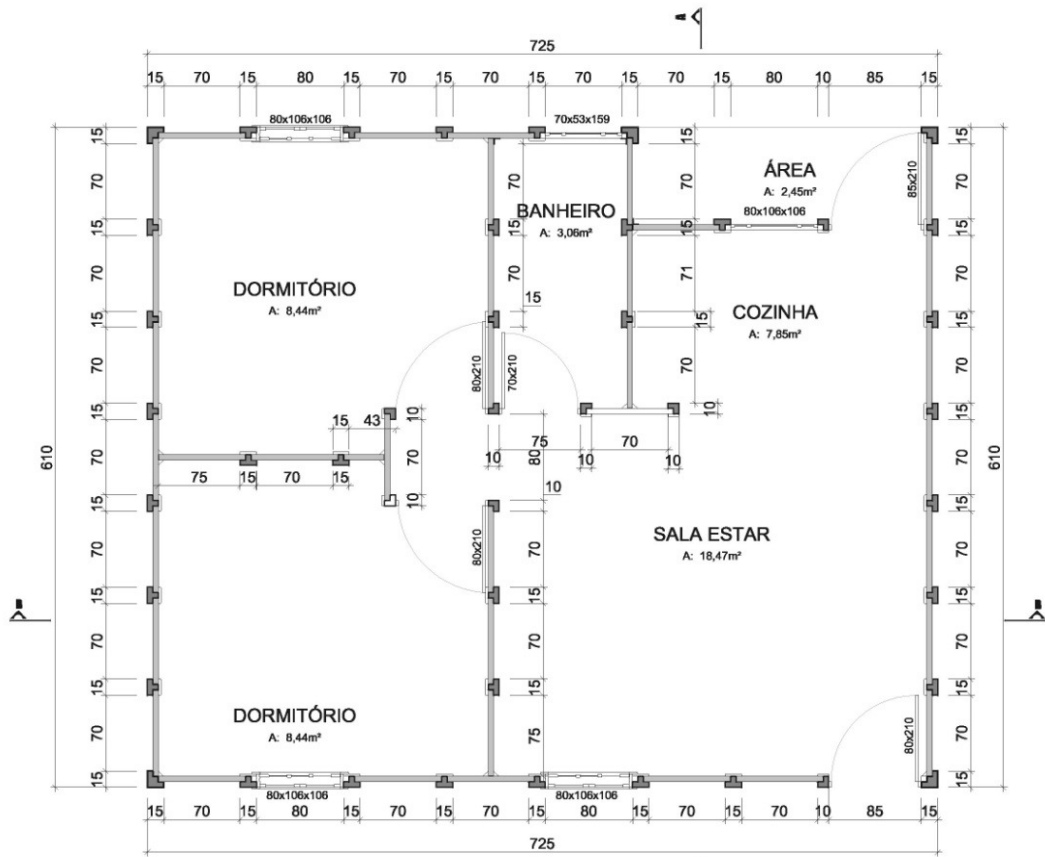


Figura 75 – Planta baixa de locação dos pilares do projeto da residência de 44,32m².

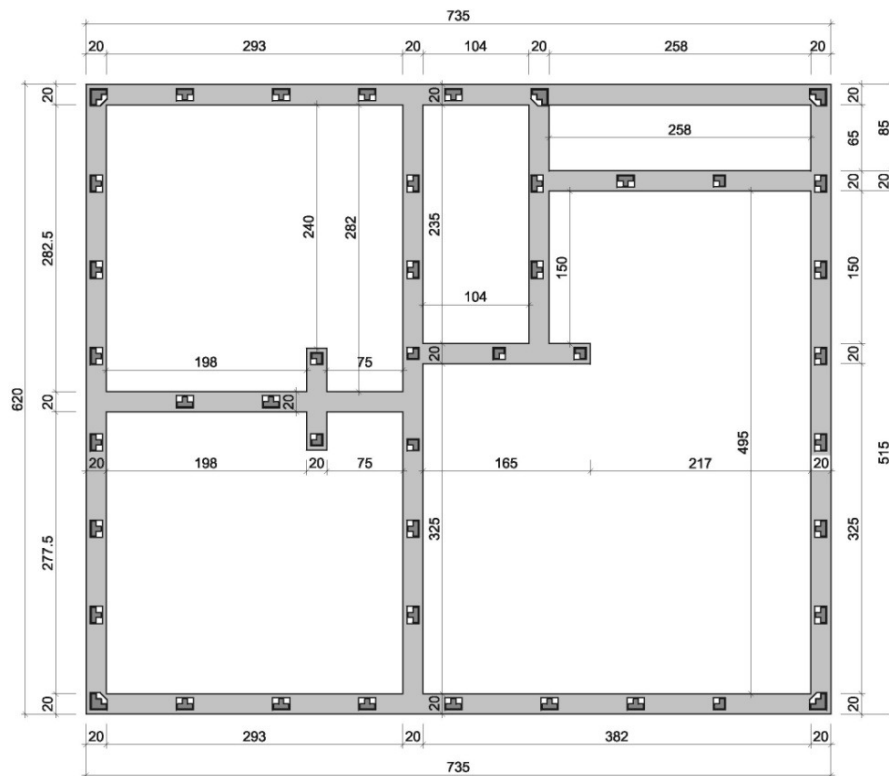
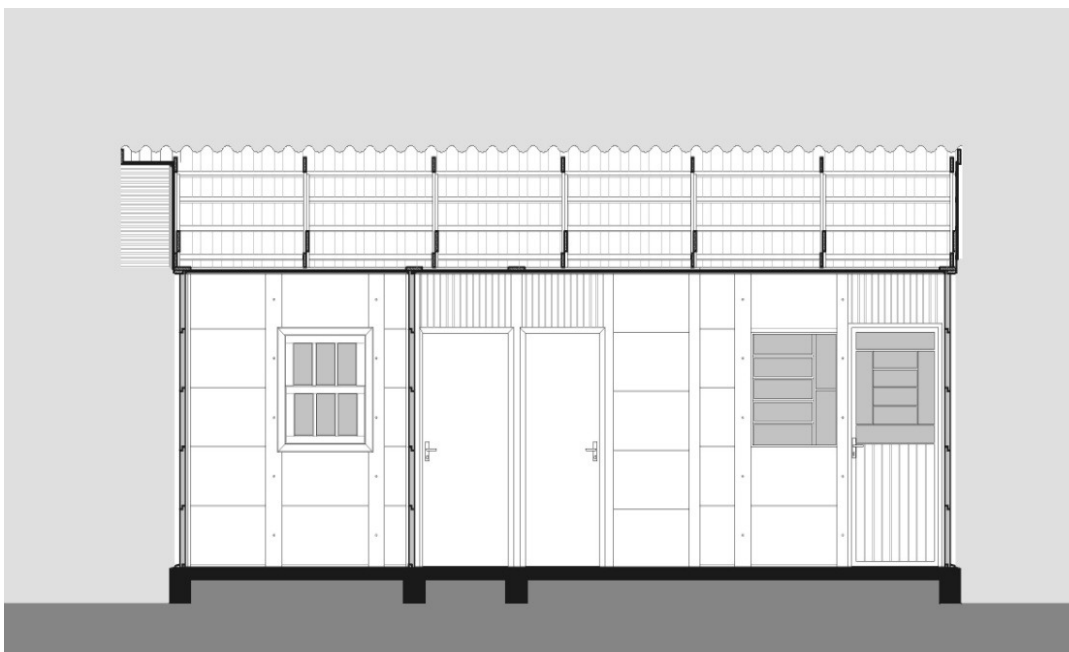
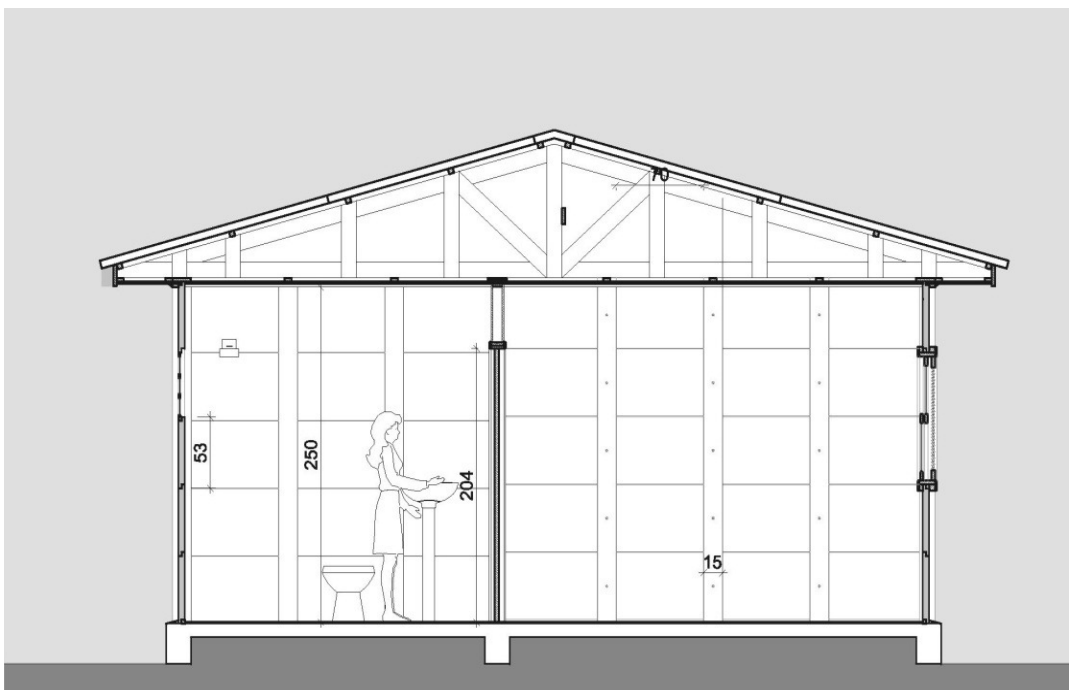
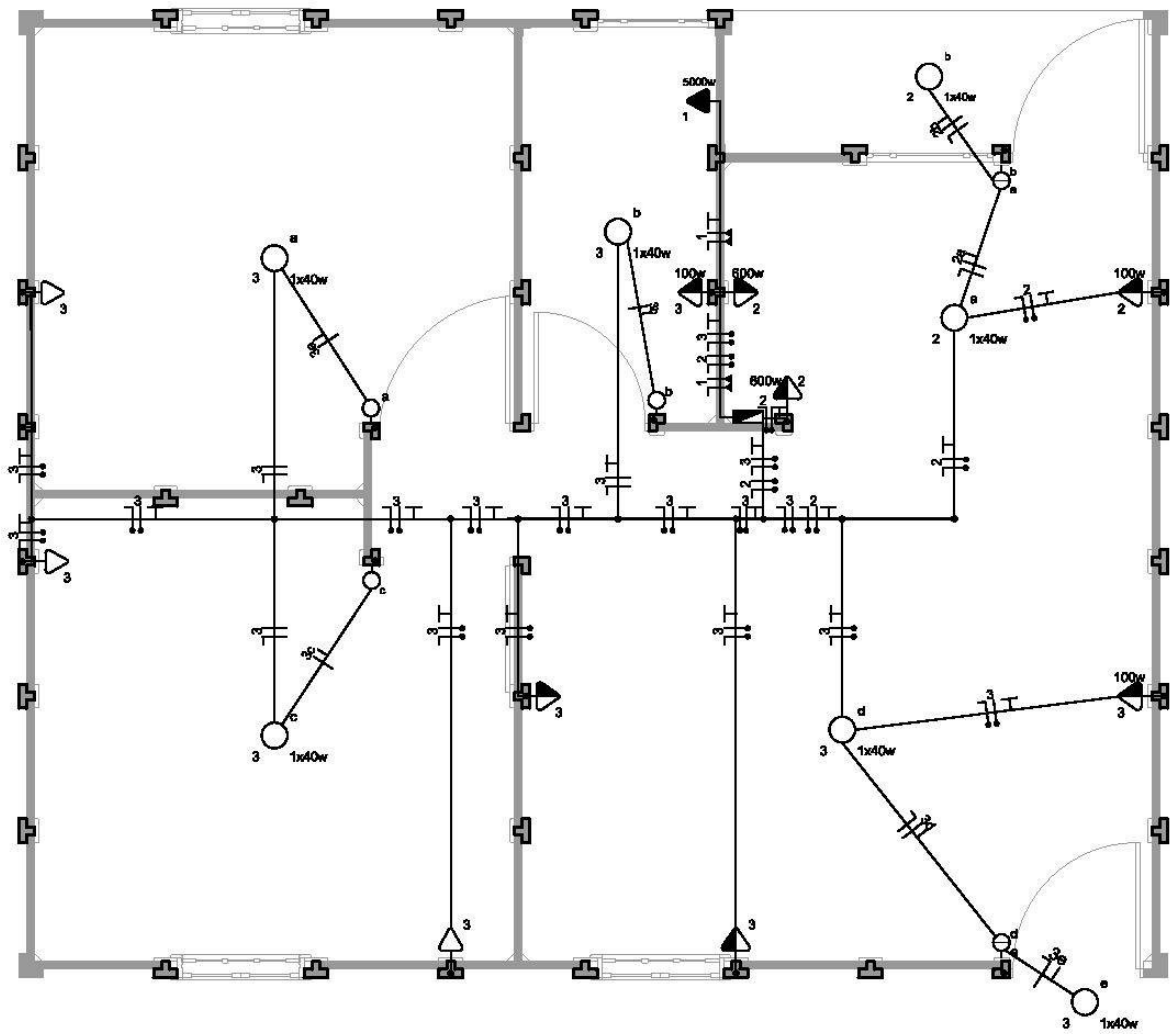


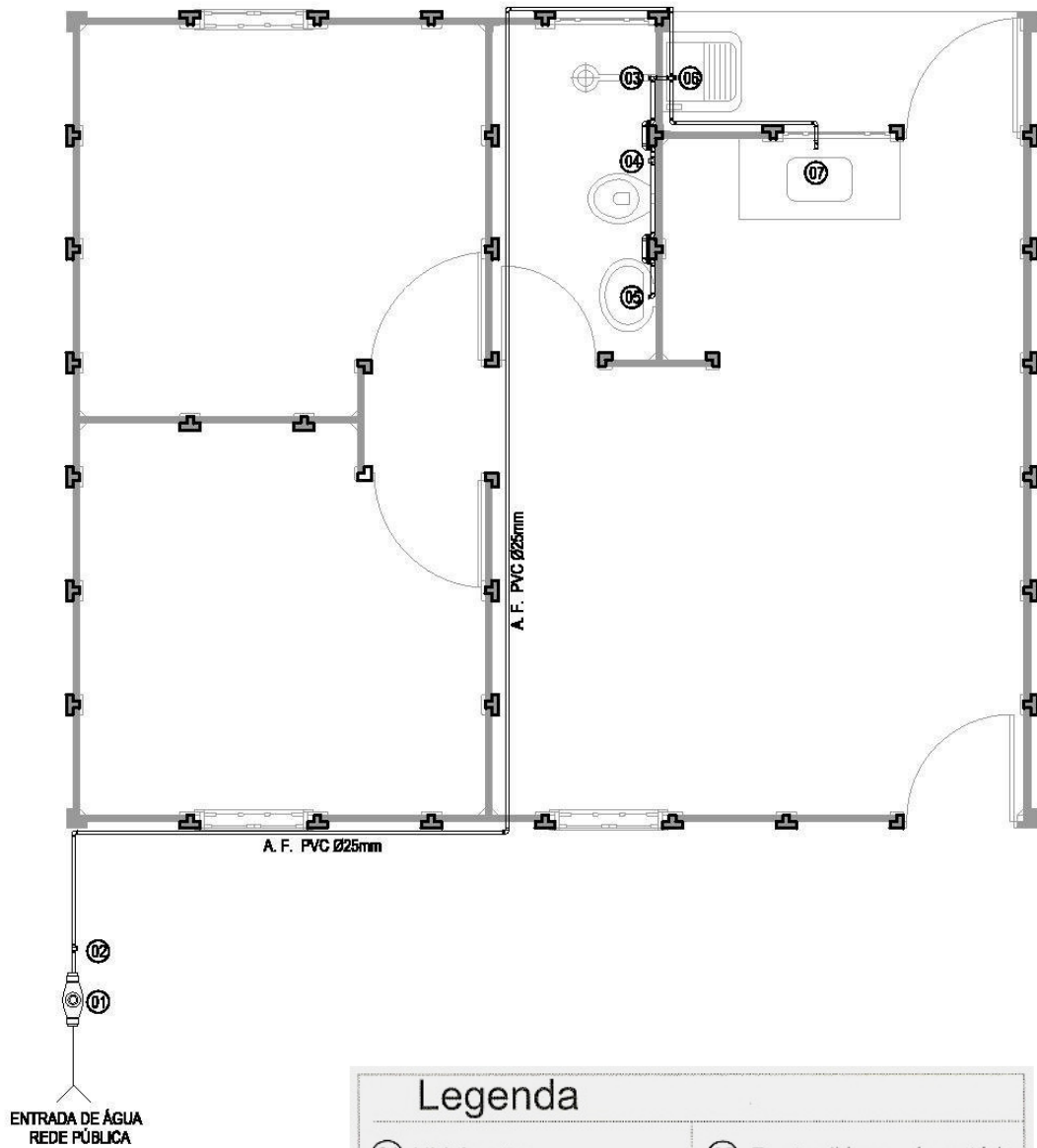
Figura 76 – Planta baixa vigas de fundação do projeto da residência de 44,32m².Figura 77 – Corte AA do projeto da residência de 44,32m².Figura 78 – Corte BB' do projeto da residência de 44,32m².



Legenda

○	Ponto de luz	—	Linha Aérea
▣	Centro de Distribuição (CD)	+ —	Linha Aérea de
○	Interruptor (110cm)	⊢	Fase, Neutro 1,5mm ²
○	Interruptor Duplo (110cm)	⊢	Fase, Neutro 2,5mm ²
▷	Tomada Baixa (30cm)	⊢	Fase, Neutro 4,0mm ²
▷	Tomada Média (110cm)	⊢	Condutor de Proteção 2,5mm ²
▷	Tomada Alta (210cm)	⊢	Pilar com Eletroduto Vertical

Figura 79 - Planta Elétrica do projeto da residência de 44,32m².



Legenda

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 01) Hidrômetro | 05) Ponto d'água - Lavatório |
| 02) Torneira Externa | 06) Ponto d'água - Tanque |
| 03) Ponto d'água - Chuveiro | 07) Ponto d'água - Pia |
| 04) Ponto d'água - Sanitário | |

Figura 80 – Planta Hidrosanitária.

4.6.4 Residência de 59,60m²

Nos avaliações pós-ocupação encontrou-se várias casas ocupadas por famílias de mais de duas gerações reunidas (multifamiliar), ou seja, famílias onde os avós, pais e filhos moram em conjunto, principalmente devido a necessidades financeiras.

Para atender às necessidades destas famílias maiores, optou-se para um projeto arquitetônico de 60m², com 3 dormitórios com espaço para até 6 camas individuais. Devido à maior ocupação do espaço, estas casas devem ser construídas de forma geminadas, tendo em vista que não se prevê uma ampliação da área construída.

As Figuras 81 a 89 são referentes ao projeto da residência de 59,60m².



Figura 81 – Fachada do projeto da residência de 59,60m².

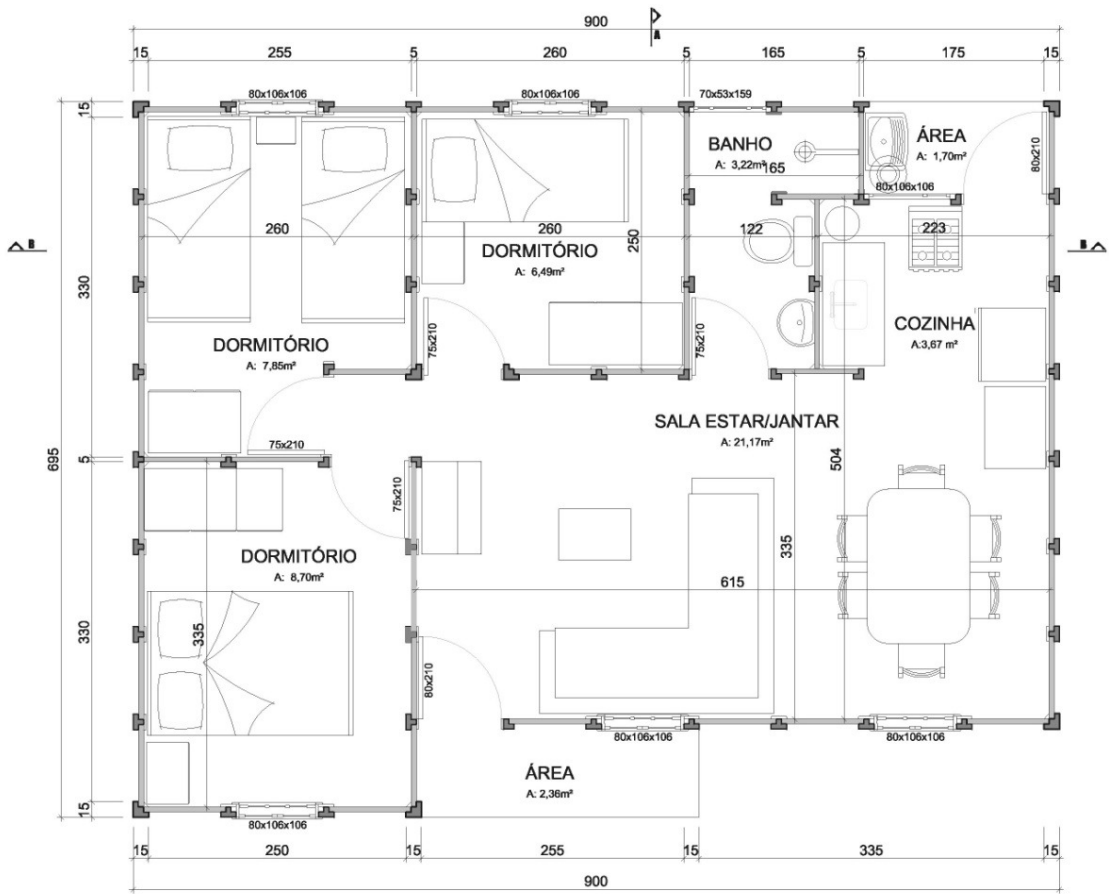


Figura 82 - Planta baixa mobiliada do projeto da residência de 59,60m².



Figura 83 – Planta baixa humanizada do projeto da residência de 59,60m².

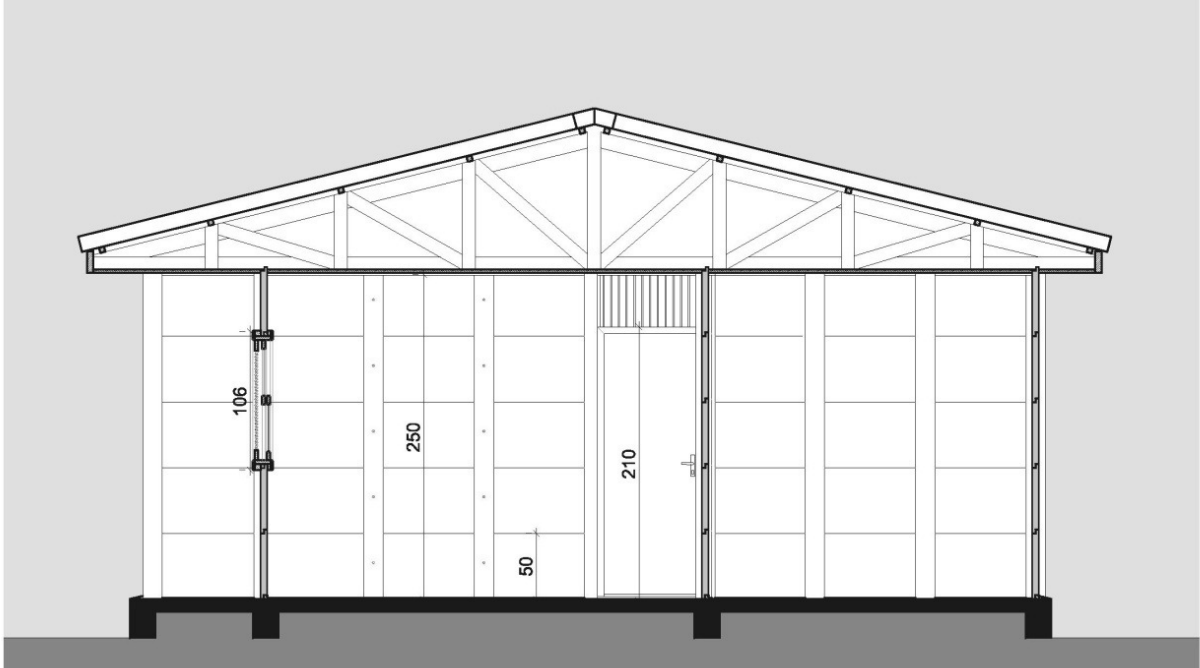


Figura 84 – Corte AA' do projeto da residência de 59,60m².

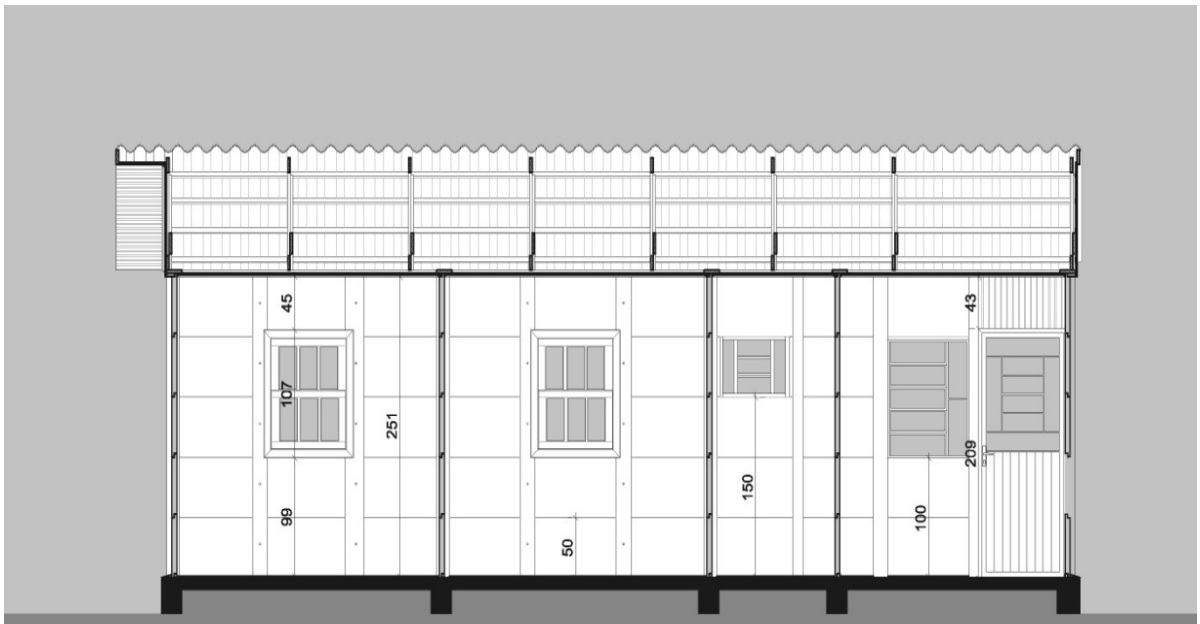


Figura 85 – Corte BB' do projeto da residência de 59,60m².

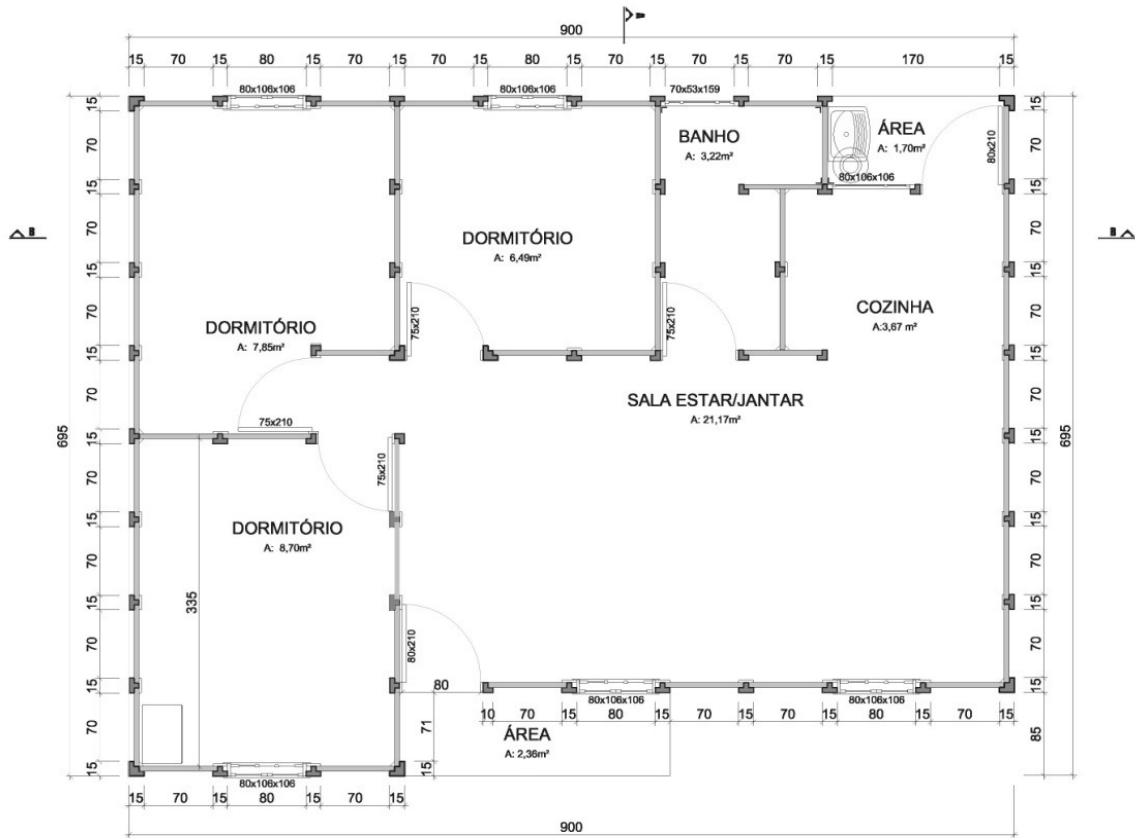


Figura 86 – Planta baixa de locação dos pilares do projeto da residência de 59,60m².

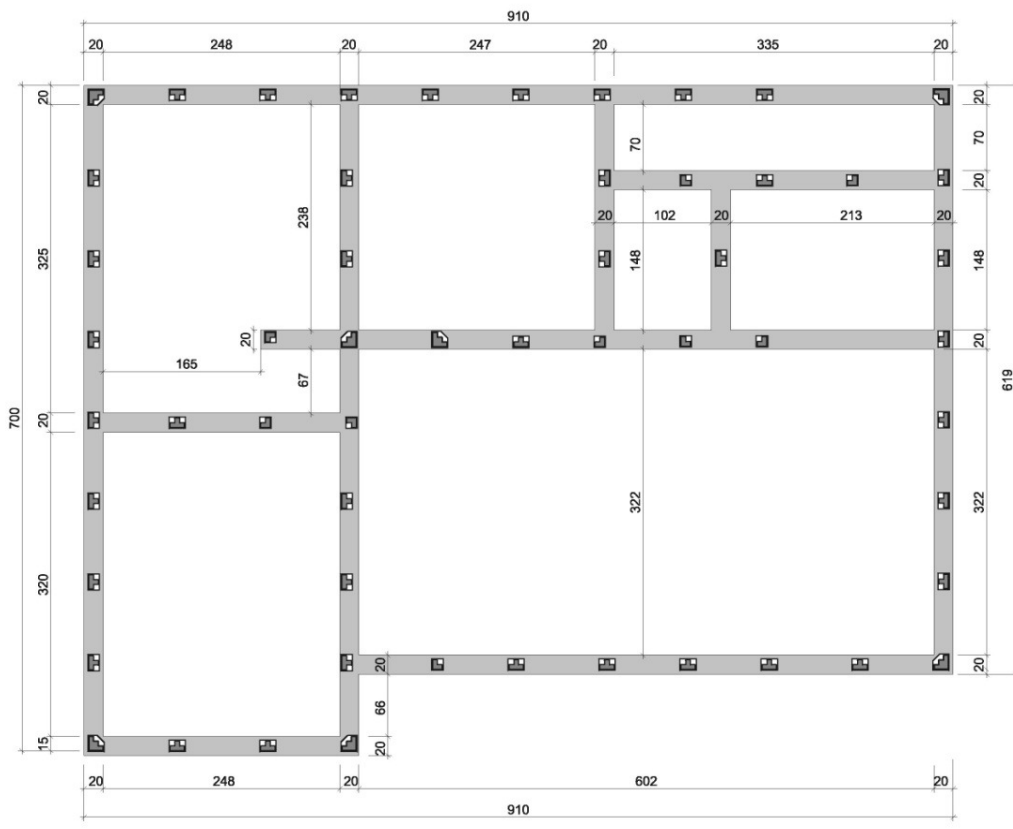
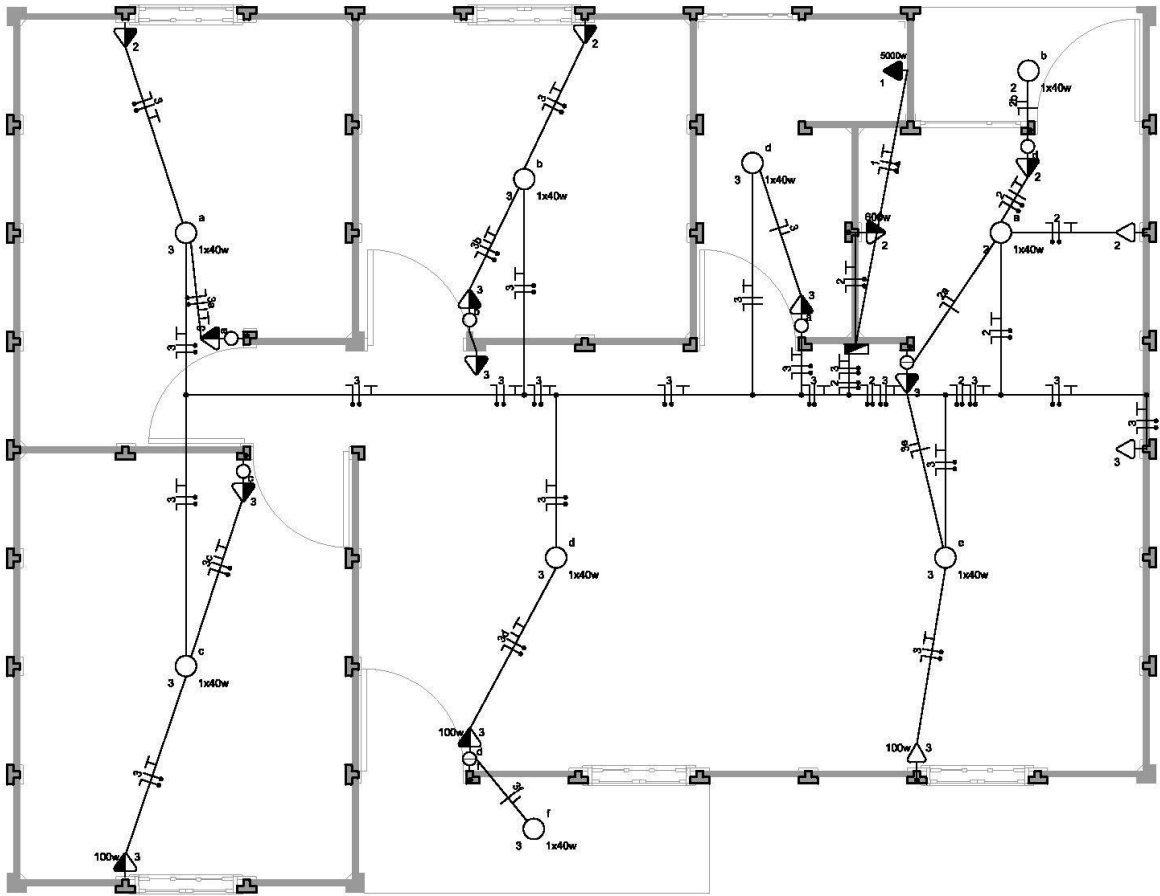
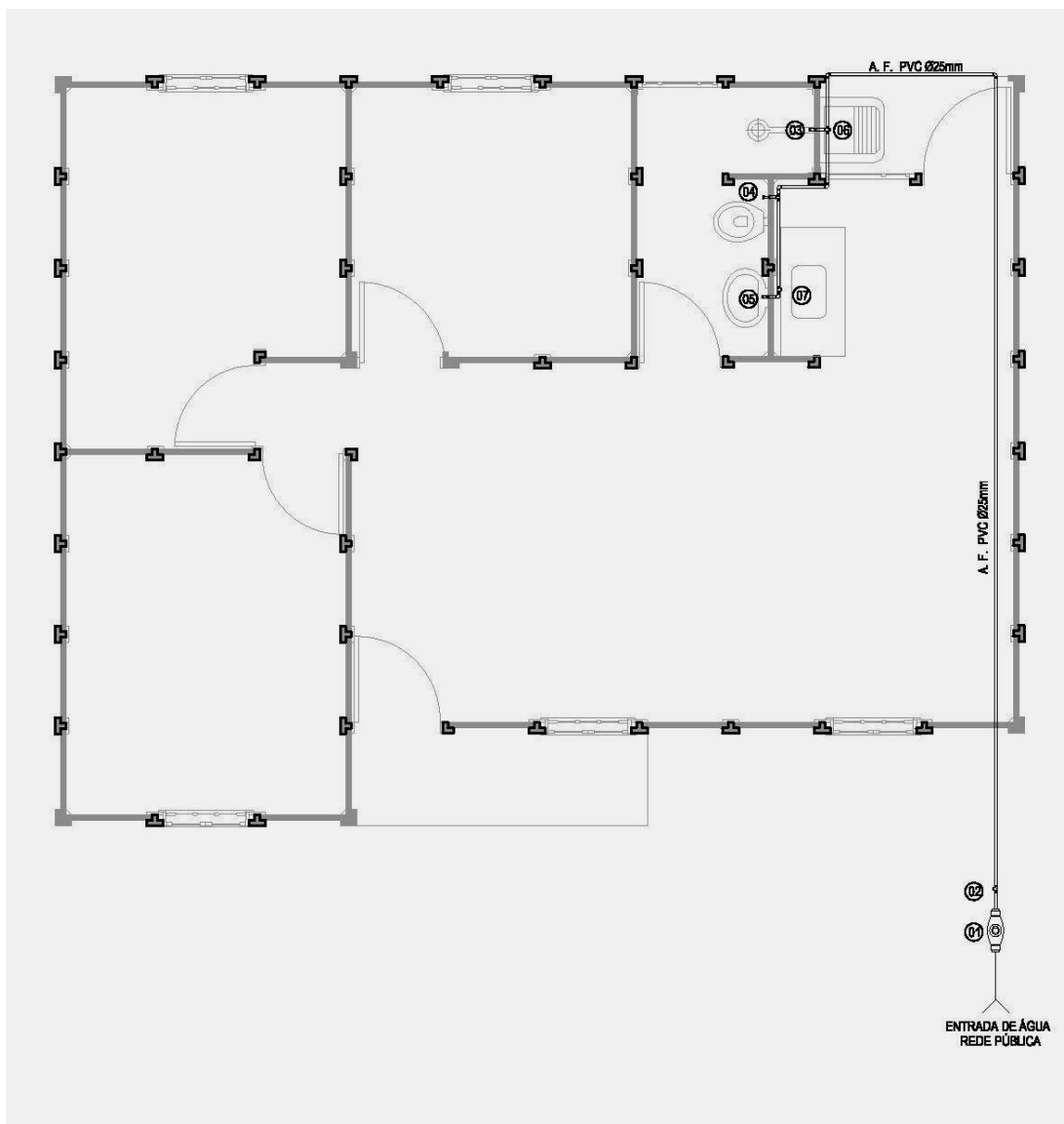


Figura 87 – Planta baixa vigas de fundação do projeto da residência de 59,60m².



Legenda			
○	Ponto de luz	—	Linha Aérea
▣	Centro de Distribuição (CD)	⊕	Linha Aérea de
○	Interruptor (110cm)	⊕⊕	Fase, Neutro 1,5mm ²
○	Interruptor Duplo (110cm)	⊕⊕⊕	Fase, Neutro 2,5mm ²
▷	Tomada Baixa (30cm)	⊕⊕⊕⊕	Fase, Neutro 4,0mm ²
▷	Tomada Média (110cm)	⊕⊕⊕⊕⊕	Condutor de Proteção 2,5mm ²
▷	Tomada Alta (210cm)	⊕⊕⊕⊕⊕⊕	Pilar com Eletroduto Vertical

Figura 88 – Planta elétrica do projeto da residência de 59,60m².



Legenda

01	Hidrômetro	05	Ponto d'água - Lavatório
02	Torneira Externa	06	Ponto d'água - Tanque
03	Ponto d'água - Chuveiro	07	Ponto d'água - Pia
04	Ponto d'água - Sanitário		

Figura 89 – Planta hidrossanitária do projeto da residência de 59,60m².

5 CONCLUSÃO

Na avaliação pós-ocupacional analisaram-se dados referentes a informações sobre os moradores, sua estrutura familiar e financeira; as características do conjunto habitacional; as características do lote e da unidade habitacional e do desempenho estrutural; e as modificações internas realizadas pelos moradores durante a sua utilização. Assim, foi delineado o perfil dos mesmos, bem como problemas do sistema construtivo em casas de até 7 anos, servindo de base para a elaboração de novos projetos arquitetônicos.

Os moradores, na maioria famílias jovens com, em média, duas crianças e uma renda familiar entre 1-5 salários mínimos, aprovaram em geral o sistema construtivo, mas sugeriram alterações nas aberturas, tamanho dos ambientes, nos montantes de madeira nos banheiros, do banheiro na rua e da cobertura de zinco. Além disso, a maioria citou como pontos negativos a distância até o centro da cidade, o acesso dificultado ao sistema de transporte público, educacional (escolas), e de saúde.

Foram propostos novos projetos de habitações considerando as mudanças sugeridas e necessárias para o melhor conforto e satisfação dos moradores, bem como o cumprimento da legislação vigente. Foram elaborados projetos completos para edificações de 29,13m², 29,28m², 44,32m² e 59,60m² considerando a possibilidade de construção das edificações em fita e/ou geminadas, apresentando-se desenhos da fachada e de dois cortes, bem como plantas baixas (mobilierizada e humanizada, com vigas e localização dos pilares), plantas elétricas e hidrossanitárias.

Os dados obtidos nos ensaios de impacto do corpo duro e mole para a placa de 3 cm foram insatisfatórios conforme ABNT 15575, e a placa de 5 cm foi avaliada como satisfatória para ambos ensaios.

Os ensaios de estanqueidade à água foram realizados na CIENTEC, onde o sistema construtivo com placas de 3 cm “não atendem às exigências dos métodos adotados para os ensaios de estanqueidade à água”, sugerindo-se adequações no sistema construtivo. O primeiro teste de estanqueidade da parede com placas de 5 cm foi satisfatório, mas durante o segundo teste, devido a problemas no ajuste do

aparelho medidor, a água atravessou o corpo-de-prova molhando a face interna do mesmo.

O conforto térmico das edificações foi analisado utilizando-se HOBOS na face externa e interna nas casas, possibilitando uma avaliação detalhada da situação ao longo dos meses, utilizando-se somente as semanas típicas de cada estação. As médias das diferenças de temperatura externa e interna nas casas de 3 e 5 cm, nos dias avaliados com térmica sazonal comum, apresentaram dados satisfatórios conforme a ABNT NBR 15575-1, atingindo um desempenho térmico em nível mínimo e intermediário.

Os ensaios de resistência a fogo seguiram a NBR 15575, utilizando-se placas de 3 e 5 cm, com repetição dos ensaios. Após realizou-se a análise visual das placas para encontrar macro-modificações. As placas não apresentaram fissuras, trincas ou *spalling*, bem como não apresentaram deformações transversais permanentes provocadas pelas temperaturas elevadas. Observaram-se mudanças na coloração das placas, onde na face externa predominou a formação de manchas de coloração marrom, principalmente ao redor de partículas de borracha expostas na superfície, e na face interna de coloração acinzentada.

Em relação ao comportamento térmico, as placas foram consideradas insatisfatórias como isolantes térmicos, sofrendo um aumento de temperatura, na face não exposta, superior a 140°C (em média) e/ou em no mínimo um ponto superior a 180°C. Utilizando o programa de aquecimento do forno como previsto na NBR 15575, as placas de 3 e 5 cm atingiram uma temperatura média de 140°C acima da temperatura inicial após 141 e 150 minutos, respectivamente, bem como 180°C acima da temperatura inicial em um único ponto na placa de 5 cm após 172 minutos.

O algodão utilizado no teste de “chumaço de algodão” não mostrou formação de fumaça ou fogo ao longo dos testes, mostrando que na face externa das placas não existe permeabilidade às chamas e gases quentes suficiente para modificação do algodão a 3 cm de distância da face externa.

A utilização de resíduos de borracha é uma alternativa na construção de habitações populares com placas pré-fabricadas, principalmente na construção em mutirão, já que os problemas tecnológicos encontrados não interferem na aplicabilidade desta forma construtiva ou na segurança arquitetônica das casas construídas.

As alterações arquitetônicas propostas neste trabalho apresentam melhorias significativas no sistema construtivo através da utilização de placas pré-moldadas com resíduo de borracha. Espera-se que o poder público municipal faça uso das informações obtidas nesta dissertação e que as novas propostas sugeridas sejam implementadas visando uma melhor habitabilidade, o que também resultará em uma melhor qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A. K. **Serviços públicos urbanos**. São Paulo: EPUSP, 1995. (Texto Técnico / Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/10).

ABIKO, A. K. Gestão habitacional e mutirão. In: MUTIRÃO HABITACIONAL: CURSO DE FORMAÇÃO EM MUTIRÃO, 1996, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: EPUSP; Politecnico di Torino; ASTAC, 1996.

ABIKO, A. K.; ORNSTEIN, S. W. **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social**. Coletânea HABITARE/FINEP. v. 1, São Paulo, FAUUSP, FINEP, 2002. 373p.

AKASAKI, J. L. et al. Avaliação da resistência à flexão do concreto com borracha de pneu com relação ao concreto convencional. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45., 2003. Vitória. **Anais** Vitória, IBRACON, 2003. 1 CD-ROM.

ALBUQUERQUE, A. C. et al. Investigation of Different Treatments in Tire Rubber with a View to Concrete Application. In: CONFERENCE ON USE OF THE RECYCLED MATERIALS IN BUILDING AND STRUCTURES – RILEM. 2005, **Anais ...** Barcelona, 2005. 1 CD-ROM.

ANDERBERG, Y. Fire scenarios & buildings. In: **Course on effect of heat on concrete**, Undine, Itália: International Centre of Mechanical Science, 2003. 11 p.

ANDERBERG, Y. Spalling phenomena of HPC and OC. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON FIRE PERFORMANCE OF HIGH STRENGTH CONCRETE, NIST. Gaithersburg, MD, 1997. **Proceedings ...** Gaithersburg, EUA: NIST Special Publication 919, feb. 1997. p. 69-73.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Fundamentals HANDBOOK**. CAP XII – Physiological principles and Thermal Comfort. ASHRAE, EUA, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628**: Determinação da resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais - Componentes construtivos estruturais. Rio de Janeiro, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11681**: Divisórias leves internas moduladas - Verificação da Resistência a impactos. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigência de resistência ao fogo de elementos de construção de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM E119**: Standard test methods for fire test of building construction and material. West Conshohocken. 2000.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais**. 1997. PhD Tese – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BARROS, M. S. B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. 1996. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BAUER, L. A. **Utilização de borracha de pneu em concreto**. Materiais de Construção, v.1, 2001, p. 447.

BIGNOZZI, M.; SANDROLINI, F. Tire rubber waste recycling in self-compacting concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p.735-739, 2006.

BISILLIAT-GARDET, J. **Mutirão: utopia e necessidade**. São Paulo: Secretaria Municipal de Cultura e Instituto Francês de Pesquisa Científica para o Desenvolvimento em Cooperação, 1995. 138 p.

BONDUKI, N. G. **Habitação e autogestão: construindo territórios de utopia**. São Paulo: Fase, 1992. 181p.

BONDUKI, N. G. **HABITAT: Práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras**. 2. ed., São Paulo: Studio Nobel, 1996. 267 p.

BONDUKI, N. G. **Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998. 342 p.

BONDUKI, N. G.; ROLNIK, R.; AMARAL, A. **São Paulo: Plano Diretor Estratégico - Cartilha de Formação**. São Paulo: Caixa Econômica Federal, 2003. 87 p.

BONIN, L. C.; AMORIM, S. R. L. Inovação tecnológica na construção habitacional. In: Bonin, L. C.; Amorim, S. R. L. de. **Coletânea HABITARE**. v. 6. Porto Alegre: ANTAC, 2006. p. 4-13.

BONOMI, M. et al. On the ultimate capacity of high performance R/C sections at high temperature and after cooling. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE OF CONCRETE UNDER SEVERE CONDITIONS (CONSEC'01), 2001, Vancouver, Canada. **Proceedings** ... Vancouver: The University of British Columbia, 2001. v. 1, p. 127-133.

BRANDÃO, A. B. Problemas de teoria e metodologia na questão da habitação. São Paulo. **Projeto: arquitetura, planejamento, desenho industrial, construção**, vol. 8, n. 66, p. 102-108, 1984.

BUCHANAN, A. H. **Structural design for fire safety**. Chichester: John Wiley & Sons Ltda., 2002. 421 p.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto**. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.

CARDOSO, A. L.; RIBEIRO, L. C. Q. Os municípios e as políticas habitacionais. In: ABIKO, A. K.; ORNSTEIN, S. W. **Coletânea HABITARE**. v. 1. Porto Alegre: ANTAC, 2001. p. 14-33.

CASTELLOTE et al. **Microstructure: solid phases**. Course on effect of heat on concrete. Undine, Itália: International Centre of Mechanical Science, 2003. 11p.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. Pathologie Du bâtiment: Humidite, Décollement, Fissuration et Corrosion. CSTC. **Revue**, Bruxelles, n. 1, p. 5-12, 1979.

CÉSAR, C. G.; ROMAN, H. R. Pesquisa e desenvolvimento de processos construtivos industrializados em cerâmica estrutural. Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. In: Bonin, L. C.; Amorim, S. R. L. de. **Coletânea HABITARE**. v. 6. Porto Alegre: ANTAC, 2006. p. 142-159.

CHANA, P.; PRICE, B. The Cardington fire test. **Concrete**, London, p. 28-33, jan. 2003.

CHIJIWA, R. et al. Development and practical application off ire-resistant steel for buildings. **Nippon steel technical report**, n. 58, p. 47-55, 1993.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: Revan, 2003. 288 p.

DEL CARMO, V.; ORNSTEIN, S. N. Avaliação do edifício e da cidade: Medos e Mitos. **Sinopses**, São Paulo, FAU/USP, n. 14, p. 5-12. dez. 1990.

ELDIN, N. N. E.; SENOUCI, A. B. Observations on Rubberized Concrete Behavior. **Cement, Concrete and Aggregates**, p. 74-84. 1993a.

ELDIN, N. N.; SENOUCI, A. B. Rubber-tire particles as concrete aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 5, n. 4, p. 478-496, 1993b.

ELDIN, N. N.; SENOUCI, A. B. Use of scrap tires in road construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 118, n. 3, p. 561-576, 1992.

FAKURY, R. H. et al. Dimensionamento de pilares mistos parcialmente revestidos de concreto em situação de incêndios a partir da análise térmica via MEF. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 5., 2003, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003. 1 CD-ROM.

FAKURY, R. H.; SILVA, V. P.; LAVALL, A. C. C. As possíveis causas da queda das torres do World Trade Center. In: JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., 2002, Brasília. **Anais ...** Brasília: PPGCEC, 2002. 1 CD-ROM.

FELIPE, J. P. Menos mutirão, mais autogestão. In: MUTIRÃO HABITACIONAL: CURSO DE FORMAÇÃO EM MUTIRÃO, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP; Politécnico di Torino, ASTAC, 1996. 1 CD-ROM.

FERRARA, L. D'A. et al. O desafio interdisciplinar. In: NATUREZA E PROPRIEDADES DE PESQUISA EM ARQUITETURA E URBANISMO, 1990, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: FAUUSP/FUPAM/FAPESP, 1990, p. 13-19.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 243 p.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 6. ed. São Paulo, Nobel. 2001. 244 p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil**. Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações. Belo Horizonte, 2001.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil**. Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações. Belo Horizonte, 2004. 108p.

GARCIA, F.; DIAS, E. C. Rumo a 2020: a demanda por moradias e o efeito do crescimento econômico. **Conjuntura da Construção**, v. 5, n. 4, p.15-17, 2007.

GELPI, A; KALIL, R. M. L.; MASCARÓ J. J. **Habitação Social**: Exigências de mercado e formação acadêmica. Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2003. 259 p.

GEORGALI, B.; TSAKIRIDIS, P. E. Microstructure off ire-damaged concrete: a case study. **Cement & concrete composites**. Oxford, v. 27, n. 2, p. 255-259, 2005.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, n. 18, p. 11-23, 1992.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2. ed., London: Applied Science Publishers, 1976. 483 p.

GOMES, E. P. P. **A Política habitacional brasileira e a expectativa de produtividade do capital na produção de unidades habitacionais**. 1993. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

GOUVEIA, A. M. C. **Engenharia de Incêndio**. Ouro Preto: UFOP/EM/M CM, LARIN – Laboratório de Análise de Risco em Incêndios, 2000b.

GOUVEIA, A. M. C. **Resistência ao fogo de estruturas: alternativas para a redução do custo da proteção passiva**. Ouro Preto: Laboratório de Análise de Risco em Incêndios, 2000a. 30p.

GRATTAN-BELLEW, P.E. Micro-structural investigation of deteriorated Portland cement concretes. **Construction and Building materials**. Guildford, Inglaterra, v. 10, n. 1, p. 3-16, 1996.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BARLUENGA, G. Fire performance of recycled rubber-filled high-strength concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 109–117, 2004.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. et al. Static and Dynamic Behaviour of Recycled Tire Rubber-Filled Concrete. **Cement and Concrete Research Composites**, v. 32, n. 10, p. 1587-1596, 2002.

HUYNH, H.; RAGHAVAN, D. Durability of simulated shredded rubber tire in highly alkaline environments. **Advanced Cement Based Materials**, v. 6, n. 3, p. 138-43, oct. 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. PBQP – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade da Construção Habitacional. São Paulo, Editora Mandarim Ltda., 1988. 121 p.

JACQUES, A. C. **Avaliação pós-ocupação do núcleo habitacional Santa Marta-SM**. 2008. 134f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

KALIFA, P.; CHÉNÉ, G. & GALLÉ, C. High temperature behavior of HPC with polypropylene fibers from spalling to microstructure. **Cement and concrete research**, Elmsford, v. 31, n. 10, p. 1487-1499, oct. 2001.

KHATIB, Z. K. e BAYOMY, F. M. Rubberized Portland Cement Concrete. **Journal of materials in civil engineering**, v. 11, p. 206-213, 1999.

KHOURY, G. Applications: fire & assessment. In: _____. **Course on effect of heat on concrete**, 2003, Undine, Itália: International Centre of Mechanical Science, 2003a. 11p.

KHOURY, G. Spalling. In: _____. **Course on effect of heat on concrete**, 2003, Undine, Itália: International Centre of Mechanical Science, 2003b. 11p.

KITCHEN, A. Polypropylene fibres reduce explosive spalling in fire. **Concrete**. London, v. 35, n. 4, p. 40-41, apr. 2001.

KOWARICK, L. **A espoliação urbana**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1980. 202 p.

KRÜGER, E. **Analyse von Bausystemen im sozialen Wohnungsbau Brasiliens**. 1998. 322f. Tese de Doutorado - Technische Universität Hannover, Hannover, 1998.

KÜTZING, L. Fire resistance of high performance concrete with fibre cocktails. Annual Civil Engineering Report, LACER (Leipzig), n. 4, p. 185-191, 1999.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura**. São Paulo: P.W., 1997, 192p.

LI, Z.; LI, E. J. S.; LI, L. Properties of concrete incorporating rubber type particle. **Magazine of Concrete Research**, v. 50, n. 4, p. 297-304, 1998.

LIMA, I. A.; ROCHA, F. S. Concreto com fibras de borracha vulcanizada e sua utilização em placas pré-moldadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis, UFSC. 2004.

LIN, W. M. et al. Microstructures off ire-damaged concrete. **ACI structural journal**, Detroit, v. 93, n. 4, p. 199-205, 1996.

MACEDO, D. C. B. de; TUBINO, R. M. C. Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu. In: ENCONTRO NACIONAL DA PESQUISA, 1., 2005, São Carlos, SP. **Anais** São Carlos, SP. 2005. 1 CD-ROM.

MACEDO, D. C. B. de. **Estudo da viabilidade técnica de placas pré-moldadas utilizando borracha de pneu em matrizes cimentícias**. 2005. 234 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

MAJORANA, C. et al. Effect of heat on concrete – Introduction, In: _____. **Course on effect of heat on concrete**, 2003, Undine, Itália: International Centre of Mechanical Science, 2003a. 11p.

MAJORANA, C. et al. Thermo-hydral behaviour (moisture). In: _____. **Course on effect of heat on concrete**, 2003, Undine, Itália: International Centre of Mechanical Science, 2003b. 11p.

MASCARÓ, L.R.; MASCARÓ, J.L. **Incidência das variáveis projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios**. Sagra DC Luzzato. Porto Alegre. 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo, 1997. 459 p.

NOGUEIRA, J. de Souza; NOGUEIRA, M. C. de J. A. Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, v. 10, p. 104-108. 2003.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de construção civil urbana) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2002.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL PARA PADRONIZAÇÃO. **ISO 834**: Fire-resistance tests - Elements of building construction. Genebra, Suíça, 1975.

ORNSTEIN, S. W. **Edifício USP-CUASO**: uma análise comparativa – Avaliação Pós-Ocupação – APO. 1991. 127f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1991.

PAULON, V. A. A microestrutura do concreto convencional. In: ISAIA, G.C. (Org.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005, v. 1, p. 583-604.

PEREIRA, F. O. R. et al. Características da habitação de interesse social na Região de Florianópolis: desenvolvimento de indicadores para melhoria do setor. **Coletânea HABITARE**, v. 1, p. 161-209. ANTAC, Porto Alegre, 2003

PETRUCCI, E. G. R. A ação do fogo sobre as estruturas de concreto armado e protegido. In: COLÓQUIO SOBRE DURABILIDADE DO CONCRETO, 1972, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1972. 29p.

PREISER, W. F. E. et al. Diagnostics POEs of elementary schools in Columbus, Indiana. In: **Post-Occupancy Evaluation**. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1988a. p. 138-151.

PREISER, W. F. E.; RABINOWITZ Harvey Z.; WHITE, Edward T. **Post-Occupancy Evaluation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988b.

QUALHARINI, E. L. Gestão estratégica na avaliação de projetos de construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: QUALIDADE E TECNOLOGIA NA HABITAÇÃO. 1993, Rio de Janeiro. **Proceedings ...** Rio de Janeiro, nov. 1993. Vol. 1.

ROBERTS, C. D. Misconceptions about fire investigations. **National fire and Arson Report**, n. 2-3, p. 1-24. 2003

ROMERO, M.A. (1990). **O Edifício da EPUSP-Civil: Um Exercício de Metodologia de Avaliação Pós-Ocupação**. 1990. 135f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

RONCONI, R. Construção de habitações com gerenciamento do usuário e emprego de ajuda mútua: Funaps Comunitário. In: MUTIRÃO HABITACIONAL: CURSO DE FORMAÇÃO EM MUTIRÃO, 1996, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: EPUSP; Politecnico di Torino; ASTAC, v. 1, p. 8-14. 1996.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza, 1999. Artigo n. 288, 8 p., CD-ROM.

ROSTAMI, H. et al. Use of recycled rubber tyres in concrete. In: CONCRETE 2000: Economic and Durable Construction through Excellence. **Proceedings ...** University of Dundee, Scotland, UK, 1993, v. 2, p. 391-398.

SABADINI, J. C. S.; SABBATINI, F. H. **Metodologia de análise e relação de inovações tecnológicas na construção de edifícios.** São Paulo: USP – BT/PCC/370, 2004. 22 p.

SABBATINI, F. M.; BARROS, M. M. S. B. **Paredes e vedações.** Seminário tecnologia e gestão na produção de edificações verticais. EPUSP, São Paulo, 1998, 30p.

SATLER, M. A. et al. Aplicação de tecnologias sustentáveis em um conjunto habitacional de baixa renda. Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. In: Rocha, J. C.; John, W. M. **Coletânea HABITARE.** v. 2. Porto Alegre: ANTAC, 2003. p. 40-67.

SAYEGH, S. Revolução industrial. **Téchne**, São Paulo, n. 69, p. 44-48, 2002.

SERRA, G. **O espaço natural e a forma urbana.** São Paulo: Nobel, 1987. 211 p.

SERRA, G. G. Avaliação Pós Ocupação – Um balanço dos avanços recentes. In: SEMINÁRIO AVALIAÇÃO PÓS USO. 1989. São Paulo. **Anais ...** São Paulo: FAU USP/FUPAM, 1989. p. 29-43.

SILVA, M. G.; SILVA, G. V. **Manual de construção em aço: Painéis e vedação.** São Paulo: Zigurate Editora, 2002. 61p.

SILVA, V. P. **Estruturas de Aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem.** 6. ed., São Paulo: Zigurate Editora, 2008. 387 p.

SOARES, J. M. D. et al. Construção de habitações de interesse social. Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. In: Bonin, L. C.; Amorim, S. R. L. de. **Coletânea HABITARE.** v. 6. Porto Alegre: ANTAC, 2006. p. 160-187.

SOARES, J. M. D. **Inovação tecnológica em habitações de interesse social.** 2007. 91p. Monografia de especialização- (PPGEC/UFMS) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007

SOARES, J. M. D.; SANTOS, M. D. F.; POLETTO, L. Habitações de caráter social com a utilização de bloco cerâmico. In: Rocha, J. C.; John, W. M. **Coletânea HABITARE**. v. 2. Porto Alegre: ANTAC, 2003. p. 69-93.

SZÜCS, C. P. Sistema STELLA/UFSC: avaliação e desenvolvimento de sistema construtivo em madeira de reflorestamento voltada para programas de habitação social. Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. In: Bonin, L. C.; Amorim, S. R. L. de. **Coletânea HABITARE**. v. 6. Porto Alegre: ANTAC, 2006. p. 66-115.

TAKANO, T. et al. Residual properties of high strength fiber reinforced concrete exposed to high temperature. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE OF CONCRETE UNDER SEVERE CONDITIONS (CONSEC'01), 2001, Vancouver, Canada. **Proceedings** ... Vancouver: The University of British Columbia, 2001. v. 1, p. 489-494.

TENÓRIO, F. G. **Gestão de ONGs: principais funções gerenciais**. Rio de Janeiro: FGV, 1997. 140 p.

TOPÇU I.B. The Properties of Rubberized Concretes. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 2, p. 304-310, 1995

TOPÇU, I. B. Assessment of the brittleness index of rubberized concretes. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 2, p. 177-183, 1997.

VALLADARES, L. Políticas alternativas de habitação popular. **Espaço & Debates**, São Paulo, v. 5, n. 16, p. 33-51, 1985.

WERNA, E. et al. **Pluralismo na habitação**. São Paulo: Annablume, 2001. 300 p.

ZENHA, R.M. **Catálogo de processos e sistemas construtivos para habitação**. São Paulo: IPT, 1998. 167p.

ANEXO A – Formulário da Avaliação Pós-Ocupação

DESCRIÇÃO DO IMÓVEL

Loteamento:
 Endereço:
 Bairro:
 Rua:

Área:

AS CASAS FORAM ENTREGUES COM:

- piso em cimento alisado
- sem divisórias internas
- aberturas metálicas
- instalações elétricas e hidráulicas aparentes
- Forro em isopor madeira
- Estrutura do telhado metálica madeira

CARACTERÍSTICAS DO CONJUNTO HABITACIONAL

- a) A casa foi construída em mutirão
 Sim Não
- b) Localização relativa ao centro da cidade
 Interna Próxima Distante
- c) Número de unidades habitacionais
- d) Esgoto
 Fossa Fossa+rede Rede Sem este serviço
- e) Tipo de pavimentação das ruas
 Asfalto Paralelepípedo Pedra irregular Saibro
- f) Passeio público (calçada)
 Sim Não
- g) Tipo de pavimentação do passeio público (calçada)
 Pedras Grama Brita Outro Não possui
- h) Possui arborização no passeio público
 Sim Não
- i) Infra – estrutura do bairro

	Muito Boa	Boa	Ruim	Inexistente
Centro comunitário				
Praça				
Transporte				
Creche				
Escola				
Posto de saúde				
Posto policial				
Mercado				
Farmácia				
Padaria				
Iluminação pública				
Abastecimento de água				
Coleta de lixo				

j) Acessibilidade quanto ao

	Muito Boa	Boa	Ruim	Inexistente
Trabalho				
Comércio				
Serviços				
Educação				
Lazer				
Transporte coletivo				
Saúde				

CARACTERÍSTICAS DO LOTE

a) Dimensões da testada

7,00m 8,00m 9,00m 10,00m 11,00m >11,00m

b) Dimensões de profundidade

10,00 – 15,00m 15,00 – 20,00m 20,00 – 30,00m

c) Drenagem

Seco Úmido Alagadiço

d) Topografia

Plano Acidentado

e) Inclinação do terreno

	Nível	Active	Declive
Longitudinal (frente/ fundo)			
Transversal (lado a lado)			

f) Nível do terreno em relação a rua

Acima No nível Abaixo

g) Proteção do terreno

Cercado Murado Não possui

h) Possui árvores no terreno

Sim Não

i) Tipo de árvore existente

Pequeno porte médio porte grande porte frutífera

CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE HABITACIONAL

a) Uso da unidade habitacional

Unifamiliar Multifamiliar Misto

b) Idade da construção (em anos)

Até 1 Até 2 Até 3 Até 4 Até 5 Até 6 Até 7

c) Número de habitantes na residência

0-12 anos 12-18 anos 18-60 anos Acima de 60 anos

d) Tempo que mora na casa

e) Origem da última moradia

Cidade

Interior

Outro

- f) Área de risco
 Sim Não
- g) Aluguel
 Sim Não
- h) Renda familiar (em R\$)
 0-100 101 – 200 201-300 301-400 401-500 501-600 601-700
 701-800 801-900 901-1000 >1000
- i) Profissão dos moradores

ASPECTOS AMBIENTAIS

- a) Orientação solar

	Muito Boa	Boa	Ruim	Inexistente
Quartos				
Sala				
Cozinha/ banheiro				

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL

Blocos

- a) Os blocos apresentam trincas?
 Sim Não
- b) Há passagem de vento pelos encaixes dos blocos?
 Sim Não
- c) Há passagem de água da chuva pelos encaixes dos blocos?
 Sim Não

Fundação

- a) A fundação possui trincas?
 Sim Não
- b) Sofreu deformação ou deslocamento?
 Sim Não

FECHAMENTO DE JANELAS

- a) Existe passagem de água pelas janelas em caso de chuva forte?
 Sim Não
- b) As janelas fecham perfeitamente?
 Sim Não
- c) As janelas são ideais quanto a segurança?
 Sim Não
- d) As janelas são ideais quanto a ventilação?
 Sim Não
- e) As janelas são ideais quanto a iluminação?
 Sim Não
- f) As janelas apresentam algum tipo de ruído em dias de vento forte?
 Sim Não
- g) As janelas sofreram alguma deteriorização?

Sim Não

h) Material

Ferro Madeira PVC Outro

FECHAMENTO DE PORTAS EXTERNAS

a) Existe passagem de água pelas portas externas em caso de chuva forte?

Sim Não

b) As portas fecham perfeitamente?

Sim Não

c) As portas sofreram alguma deteriorização?

Sim Não

d) As portas apresentam algum tipo de ruído para fechamento ou em dia de vento?

Sim Não

e) Tipo

Ferro Madeira Outro

PISO

a) A casa possui algum tipo de revestimento?

Sim Não

b) Onde?

c) O piso sofreu alguma das seguintes patologias?

Fissuras Inclinação Outros Sem patologias

TELHADO

a) Há infiltração de água pela cobertura?

Sim Não

b) Houve algum problema na cobertura devido a ações de ventos ou chuvas?

Sim Não

c) Quanto ao calor, a cobertura é favorável?

Sim Não

d) Beiral

Zero 0-20cm 20-30 cm 30-40cm 40-50cm >50cm

e) Tipo

Metálico Fibrocimento Outro

f) Estrutura

Metálica Madeira

FORRO

a) Houve alguma alteração?

Sim Não

b) Qual o tipo de material utilizado

Madeira PVC Outro

BANHEIRO

a) Houve alguma alteração no revestimento?

Sim Não

- b) Qual o material utilizado
 Cerâmico PVC Outro
- c) O banheiro sofreu alguma das seguintes patologias?
 Umidade Apodrecimento Outros Sem patologias

DIVISÓRIAS INTERNAS

- a) Qual o material utilizado nas divisórias
 Alvenaria Madeira PVC Outros
- b) O morador fez a própria alteração?
 Sim Não
- c) A casa possui paredes duplas?
 Sim Não

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

- a) Sofreu alguma alteração?
 Sim Não
- b) Qual?
- c) Houve algum dos seguintes problemas nas instalações elétricas
 Choques
 Falta de interruptores
 Falta de tomadas
 Pouca Iluminação
 Outros

INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS

- a) Sofreram alterações?
 Sim Não
- b) Houve algum dos seguintes problemas nas instalações hidráulicas
 Mau funcionamento dos aparelhos
 Pequena pressão no chuveiro
 Pequena pressão na descarga do vaso
 Entupimentos
 Vazamentos
 Mau cheiro
 Alteração do consumo de água
 Outros
- c) Houve necessidade de algum tipo de manutenção?
 Sim Não
- d) Qual?
- e) O morador fez a própria alteração?
 Sim Não

ADEQUAÇÃO DIMENSIONAL, FÍSICA E FORMAL

- a) O tamanho de cada peça abaixo é adequada?
 Sala Sim Não
 Dormitório Sim Não
 Cozinha Sim Não
- b) Houve a necessidade de aumentar a casa?
 Sim Não

- c) O morador fez a própria alteração?
 Sim Não
- d) Como você classifica a aparência da casa?
 Muito boa Boa Ruim

AMPLIAÇÃO, MODIFICAÇÃO INTERNA E EVOLUÇÃO

- a) Ao construir a ampliação da casa, houve alguma dificuldade de ligação entre as paredes antigas e as novas, por utilizarem materiais diferentes?
 Sim Não
- b) Ao construir a ampliação, surgiu alguma problema na abertura de novas portas e/ou janelas?
 Sim Não
- c) Ao construir a ampliação foi feita alguma alteração nas instalações elétricas e hidráulicas?
 Sim Não
- d) Qual o tipo de piso de cada peça

	Cerâmico	Vinílico	Madeira	Forração	Cimento bruto	Cimento alisado
Sala de estar						
Dormitórios						
Cozinha						
Sanitário						
Área de serviço						
Garagem						

- e) Numero atual de cômodos
 Sala Quartos Outros

CONFORTO HIGROTÉRMICO

- a) Como é a temperatura da casa no verão?
 Muito boa Boa Ruim
- b) Como é a temperatura da casa no inverno?
 Muito boa Boa Ruim
- c) Como é a ventilação?
 Muito boa Boa Ruim
- d) Existe algum cômodo que não pegue sol?
 Sim Não

DURABILIDADE

- a) Houve a necessidade de reposição de peças devido à
 Ferrugem
 Desgaste
 Quebra de painéis
 Quebra de aparelhos (louças do banheiro)
 Quebra de ferragens (portas e janelas)
 Outros
- b) Cite ponto forte da casa
- c) Cite ponto negativo
- d) Que conceito você daria para a casa
 Muito boa Boa Ruim

ANEXO B – Materiais pré-moldadas

B.1 Detalhes dos pilares utilizados

Pilares	
Tipo	Quantidade
	31
	5
	5

Fig. B.1.1: Tipos de pilares utilizados na construção do protótipo.

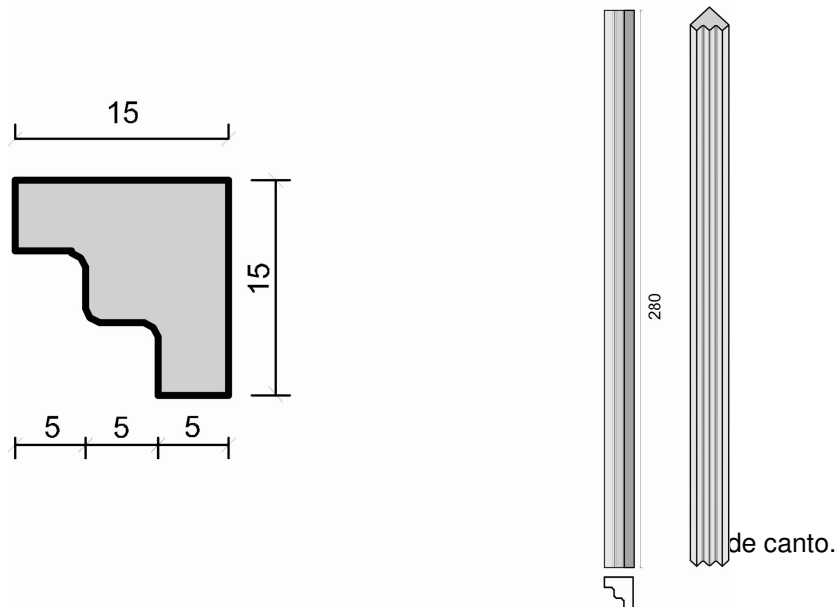
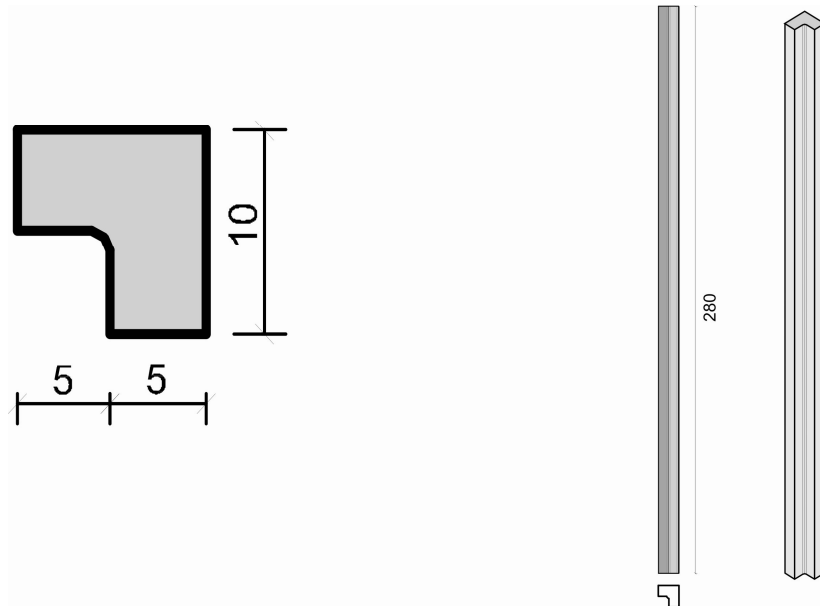




Fig. B.1.3: Foto dos pilares de canto pré-moldados.



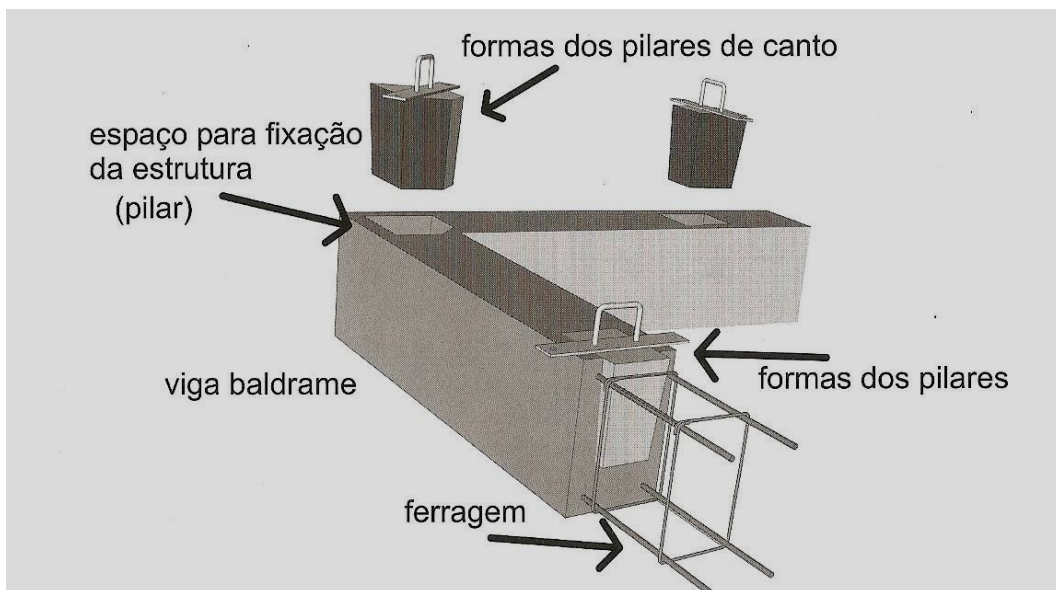


Fig. B.1.5: Viga de baldrame com encaixes dos pilares.

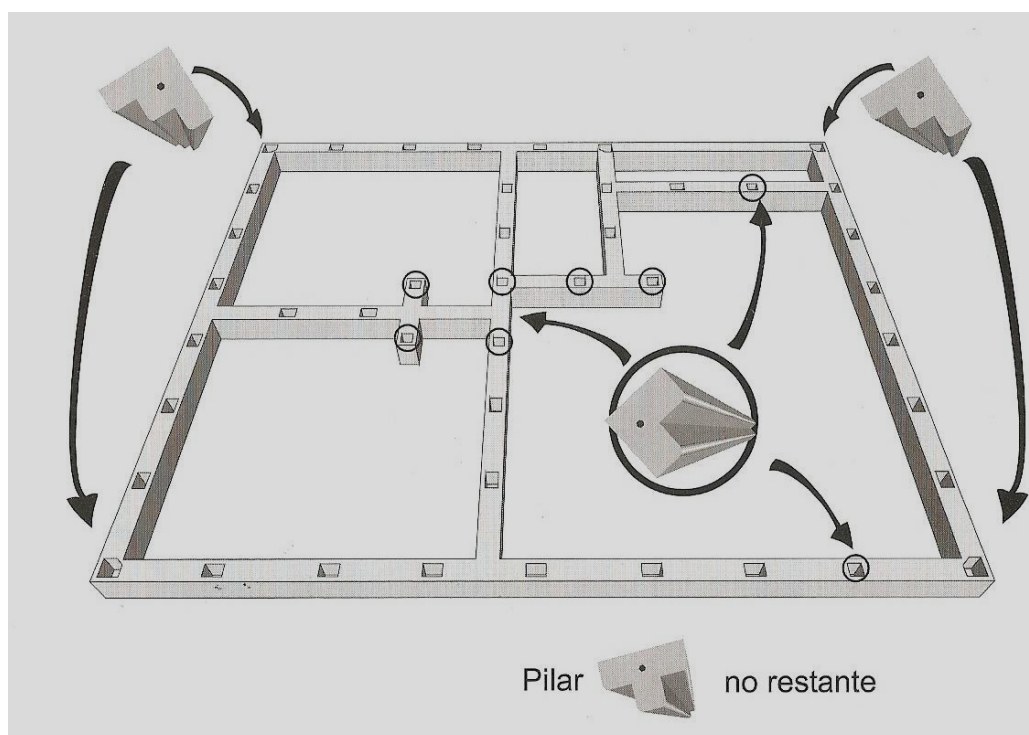


Fig. B.1.6: Tipos de pilares e localização no sistema construtivo do protótipo.

B.2 Detalhes das placas utilizadas (detalhe dos encaixes)

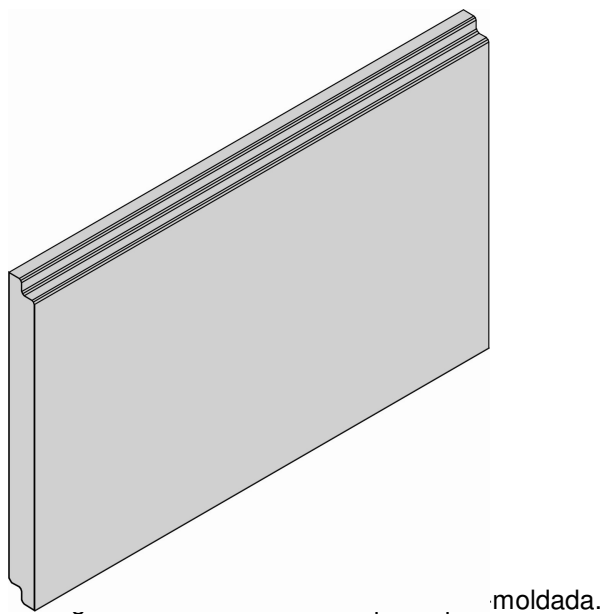


Fig. B.2.1: Placas pré-moldadas de 5 cm de espessura.