

RUI CARLOS DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE PAINÉIS DE
ARGAMASSA ARMADA PARA APLICAÇÃO EM CASAS DE
AGROVILAS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola para obtenção do título de
“Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

O48d
2013

Oliveira, Rui Carlos de, 1953-

Desenvolvimento e avaliação de painéis de argamassa armada para aplicação em casas de agrovilas / Rui Carlos de Oliveira. – Viçosa, MG, 2013.

xv, 85 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Fernando da Costa Baêta.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 58-61

1. Construções rurais. 2. Construção civil. 3. Habitação rural.
4. Argamassa. 5. Garrafas plásticas. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.
II. Título.

CDD 22. ed. 631.2

RUI CARLOS DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE PAINÉIS DE
ARGAMASSA ARMADA PARA APLICAÇÃO EM CASAS DE
AGROVILAS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola para obtenção do título de
“Magister Scientiae”.

Aprovada em 31 de julho de 2013.

Profa. Cecília de Fátima Souza

Prof. Rolf Jentsch

Prof. Fernando da Costa Baêta
(Orientador)

A Deus;
Minha mãe
Minha família

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Mestrado na área de Construções Rurais e Ambiente.

Ao meu orientador, Professor Fernando da Costa Baêta, pela oportunidade de me orientar nessa empreitada.

Aos Professores Haroldo Carlos Fernandes, José Helvécio Martins, Paulo José Hamakawa, professores do Departamento de Engenharia Agrícola, no trabalho de revisão do meu trabalho.

À Pró-reitora de Administração Leiza Maria Granzinoli pelo seu suporte para que fosse montado e realizado meu experimento.

Ao Departamento de Engenharia Florestal, principalmente o Laboratório de Propriedade da Madeira, nas pessoas do Professor Ricardo Marius Della Lucia e Laboratorista Osvaldo Ladeira de Freitas pelos conselhos e condução dos ensaios.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Civil José Luiz Rangel Paes, Rita de Cássia Silva Santana Alvarenga, pelos conselhos e ensinamentos transmitidos na condução dos trabalhos.

Ao Professor também do Departamento de Engenharia Civil Gustavo de Souza Veríssimo pelos conselhos e na condução dos ensaios.

Aos funcionários do Laboratório de Materiais de construção na condução dos ensaios

A todos os funcionários do setor de pré-moldados pela dedicação na construção de meu experimento.

Ao técnico administrativo da PAD. José Marcelo da Silva pelo apoio prestado, sempre que foi necessário.

Aos funcionários do DEA pelo apoio prestado e principalmente ao funcionário José Galinari Sobrinho, pela dedicação, e empenho na construção do meu experimento e aos conselhos Sábios.

À minha esposa Rosemary Teixeira de Melo companheira de sempre e a meus filhos Michell Carlos Teixeira de Melo Oliveira, Raquel Pompéia Teixeira de Melo Oliveira, pela ajuda e incentivo e compreensão.

BIOGRAFIA

Oliveira. Rui Carlos, Filho de Hélio Ribeiro e Maria de Oliveira, nasceu em 20 de Abril de 1953, no Estado da Guanabara na cidade do Rio de Janeiro. Em 1981, obteve o título de Engenharia Civil, pela Faculdades Reunidas Nuno Lisbôa no Rio de Janeiro RJ.

Em Março de 1982, aprovado em concurso público para ingresso na carreira de técnico administrativo da Prefeitura do Campus da Universidade Federal de Ouro Preto no cargo de Engenheiro Civil, sendo responsável pelo setor de Terraplenagem e orçamento.

Em Outubro de 1989, foi movimentado por transferência, para a Universidade Federal de Viçosa, onde atuou na Prefeitura do Campus no setor de obras, e posteriormente nomeado chefe de Manutenção de Edifícios e infraestrutura .

Em 1995, foi transferido para o Departamento de Engenharia Agrícola onde atua em aulas práticas e orçamento.

Em 2007, ingressou no programa de pós-graduação “lato senso” em Matemática, na EVATA Educação Avançada Ltda.

Em 2010, ingressou no programa de pós-graduação “Stricto Senso” em Engenharia Agrícola na área de Construções Rurais e Ambiente da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em julho de 2013.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1.0 INTRODUÇÃO.....	1
2.0 OBJETIVOS.....	4
3.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 Agrovilas.....	5
3.2 Unidades Típicas para Habitação.....	6
3.3 Embalagem de Garrafas Plásticas.....	7
3.4 Coordenação Modular.....	8
3.5 Unidades Pré-Fabricadas.....	12
4.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
4.1 Definição da Modulação da Construção Pré-Fabricada.....	14
4.2 Definição das características dos painéis Modulares.....	16
4.3 Definição do Projeto da Fôrma.....	18
4.4 Definição do processo de execução dos painéis.....	21
4.5 Determinação do traço para a argamassa armada.....	24
4.6 Construção dos painéis modulares.....	24
4.7 Desempenho estrutural dos painéis modulares.....	28
4.7.1 Ensaio de compressão horizontal.....	28
4.7.2 Ensaio de impacto de corpo duro.....	30
4.7.3 Ensaio de compressão vertical.....	31
4.7.4 Ensaio de flexão do painel de laje.....	33
4.7.5 Ensaio de cisalhamento do painel laje.....	33
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1 Determinação do traço para a argamassa armada.....	35
5.1.1 Dosagem.....	35
5.1.2 Estudo da primeira dosagem racional.....	35
5.1.3 Estudo da segunda dosagem racional.....	37
5.1.4 Ensaio de compressão da argamassa.....	38

5.2	Desempenho estrutural dos painéis modulares.....	41
5.2.1	Ensaio de compressão horizontal.....	41
5.2.2	Ensaio de impacto de corpo duro.....	44
5.2.3	Ensaio de compressão vertical.....	49
5.2.4	Ensaio de flexão do painel de laje.....	51
5.2.5	Ensaio de cisalhamento do painel laje.....	54
6.0	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58
	APÊNDICE.....	62
	Apêndice A Composição dos custos da fôrma.....	62
	Apêndice B Peso dos painéis.....	63
	Apêndice C Custo das armaduras e argamassa.....	64
	Apêndice D Cálculo da resistência à compressão por meio da Resistência do Prisma.....	68
	Apêndice E Projeto piloto.....	70
	Apêndice F Painel modulares.....	72
	Apêndice G Esquema de cálculo do projeto piloto.....	74
	Apêndice H Tabela de valores de KX e KZ para cálculo da LN.....	78
	Apêndice I Carregamento do painel.....	80
	Apêndice J Detalhamento de ferragens dos painéis.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo de Agrovila.....	5
Figura 2	Garrafas PET e símbolo estampado nas embalagens para identificação do tipo de plástico (ABIPET, 2006).....	8
Figura 3	Sistema de Referência.....	10
Figura 4	Reticulado modular espacial de referência.....	10
Figura 5	Reticulado modular espacial de referência.....	11
Figura 6	Quadriculado modular M, 3M e 24M.....	12
Figura 7	Exemplo de medida modular, nominal, junta modula, e ajuste modular.....	14
Figura 8	Seção proposta para o painel modular.....	15
Figura 9	Detalhe da Junção de a)painel vertical sequencial, b) painel em T, c) painel em cruz, d) painel de laje e e) junção do painel de laje.....	17
Figura 10	Montagem do quadro externo da fôrma.....	19
Figura 11	Junção da cabeça da fôrma com entalhes, parafuso com rosca sem fim com barra de aço redonda,cantoneira de abas iguais e semi-tubo circular.....	19
Figura 12	Posicionamento das gravatas na fôrma.....	20
Figura 13	Fôrma para painel com a janela.....	20
Figura 14	Fôrma para painel com porta.....	21
Figura 15	Formação da gaiola estrutural metálica contendo as colunas de garrafas do painel cego.....	22
Figura 16	Formação da gaiola estrutural metálica contendo as colunas de garrafas para o painel com janela.....	23
Figura 17	Formação da gaiola estrutural metálica contendo as colunas de garrafas para o painel com porta.....	23
Figura 18	Plataforma forrada,fôrma afixada e argamassagem.....	25
Figura 19	Argamassagem final do painel modular após vibrado.....	25
Figura 20	Argamassagem final do painel modular janela.....	26
Figura 21	Disposição dos painéis modulares pronto.....	26
Figura 22	Painel modular sendo irrigado.....	27
Figura 23	Painel modular protegido por sacos de cimento molhado..	27
Figura 24	Painel modular sem as fôrmas ao 3ºdia.....	27

Figura 25	Montagem do ensaio de compressão horizontal do painel cego (parede).....	29
Figura 26	Montagem do ensaio de compressão horizontal do painel com porta.....	29
Figura 27	Montagem do ensaio de compressão horizontal do painel com janela.....	29
Figura 28	Torre para o ensaio de corpo duro.....	30
Figura 29	Prisma para o ensaio de compressão vertical, obtidos dos painéis modulares.....	32
Figura 30	Vista de uma prensa EMIC-DL60000 onde foram executados os ensaios de compressão vertical.....	32
Figura 31	Esquema para ensaio de flexão do painel de laje.....	33
Figura 32	Esquema para ensaio de cisalhamento do painel de laje...	34
Figura 33	Misturador de bancada utilizado no experimento.....	36
Figura 34	Equipamento de ensaio de consistência Flow-test com a amostra.....	36
Figura 35	Medição do diâmetro da amostra após vibração.....	37
Figura 36	Corpo de prova imerso em solução de água e cal.....	38
Figura 37	Máquina universal de ensaio em uso no experimento, para a determinação da resistência à compressão.....	38
Figura 38	Exemplo de um corpo de prova rompido ao 3º dia.....	39
Figura 39	Exemplo de um corpo de prova rompido ao 7º dia.....	40
Figura 40	Exemplo de um corpo de prova rompido aos 28º dia.....	41
Figura 41	Leitores eletrônicos de célula de carga e macaco Hidráulico empregado nos ensaios.....	42
Figura 42	Equipamento e painel preparado para o ensaio de corpo duro.....	45
Figura 43	Equipamento posicionado sobre o painel modular para o ensaio de corpo duro.....	46
Figura 44	Impactador metálico no ensaio.....	46
Figura 45	Deformação superficial causado pelo impactador.....	47
Figura 46	Deformação superficial após 10 impactos de três alturas consecutivas.....	47
Figura 47	Gráfico de carregamento em função do tempo de aplicação da carga.....	49

Figura 48	Gráfico de carregamento em função da deformação de encurtamento.....	50
Figura 49	Corpo de prova com fissuração, rompido por compressão	50
Figura 50	Ensaio de flexão de um painel modular na horizontal, sendo o carregamento no centro.....	51
Figura 51	Posicionamento do relógio comparador sob o painel modular para a determinação da flexa.....	52
Figura 52	Apoio lateral semi-circular do painel modular, conforme norma ABNT 6118/04.....	52
Figura 53	Ensaio de carga e deformação do painel modular típico funcionando como laje em teste de flexão.....	53
Figura 54	Linha branca onde foi aplicado o carregamento.....	54
Figura 55	Gráfico de carregamento e deformação do painel modular típico funcionando como laje em teste de cisalhamento....	55
Figura 1E	Planta baixa do projeto piloto.....	70
Figura 2E	Corte esquemático do projeto piloto.....	71
Figura 1F	Desenho do painel cego (parede).....	72
Figura 2F	Desenho do painel com janela.....	72
Figura 3F	Desenho do painel com porta.....	73
Figura 1G	Esquema de cálculo dos painéis.....	74
Figura 2G	Diagrama de tensão máxima na seção.....	76
Figura 1I	Carregamento do painel cego.....	80
Figura 1J	Detalhamento de ferragens do painel cego.....	83
Figura 2J	Detalhamento de ferragens do painel janela.....	84
Figura 3J	Detelhamento de ferragens do painel porta.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Resultados médios do rompimento dos corpos de prova de argamassa ao 3º dia.....	39
Quadro 2	Resultados médios do rompimento dos corpos de prova de argamassa ao 7º dia.....	40
Quadro 3	Resultados médios do rompimento dos corpos de prova de argamassa ao 28º dias.....	40
Quadro 4	Características básicas dos painéis modulares ensaiados.	42
Quadro 5	Resultados do ensaio com o painel cego.....	43
Quadro 6	Resultados do ensaio com o painel porta.....	43
Quadro 7	Resultados do ensaio com o painel janela.....	44
Quadro 8	Energia correspondente aos impactos no ensaio de corpo duro.....	45
Quadro 9	Resultado do afundamento superficial e desempenho para os pontos A ,B e C nos ensaios de corpo duro.....	48
Quadro 10	Resultados de afundamentos superficiais cumulativos e desempenho, para o ponto A, após 10 impactos para cada altura, no ensaio de corpo duro.....	48
Quadro 11	Resultados de deformação, flexa, do ensaio de flexão de um painel modular típico de laje.....	53
Quadro 12	Resultados de deformação, no ensaio de cisalhamento de um painel modular típico de laje, imediatamente abaixo do local de aplicação da carga.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1A Composição dos custos da fôrma utilizada na construção do protótipo da construção proposta.....	62
Tabela 1B Dados necessário para o cálculo do peso do painel cego.....	63
Tabela 2B Comparação do peso do painel desenvolvido nesse trabalho com painéis fabricado com outros materiais.....	63
Tabela 1C Orçamento das ferragens do painel cego.....	64
Tabela 2C Orçamento das ferragens do painel janela.....	64
Tabela 3C Orçamento das ferragens do painel porta.....	65
Tabela 4C Orçamento das ferragens do painel cego.....	65
Tabela 5C Orçamento das ferragens do painel janel.....	66
Tabela 6C Orçamento das ferragens do painel porta.....	66
Tabela 1G Comprimento e carregamento dos painéis.....	75
Tabela 2G Tensão normal nos painéis isolados no térreo.....	75
Tabela 1H Valores de KX e KZ para cálculo da LN.....	78
Tabela 2H Carregamento dos painéis verticais no térreo.....	78
Tabela 3H Carregamento total dos painéis no térreo.....	79

RESUMO

OLIVEIRA, Rui Carlos de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Desenvolvimento e avaliação de painéis de argamassa armada para aplicação em casas de agrovilas.** Orientador: Fernando da Costa Baêta.

A agricultura brasileira vem se transformando, com grandes estruturas agroindustriais, melhor aproveitamento do espaço físico e melhor uso dos recursos disponíveis, e o trabalhador rural tem preferido morar próximo do local de trabalho, que normalmente são agrovilas. Estas localidades demandam casas com execução simples, rápida e econômica, como as edificações moduladas, confeccionadas com painéis pré-fabricados, com redução do tempo de montagem sobre fundações prontas e redução significativa de resíduos. Como esta tipologia ainda carece de investigações, objetivou-se com este trabalho desenvolver e avaliar painéis de fechamentos verticais (paredes) e horizontais (teto), empregando argamassa armada e garrafas de plástico tipo PET. Os resultados conduziram á uma medida modular de 1,05 m, com a medida de construção do painel de 1,04 m de largura, por 2,75 m de altura, por 0,15 m de espessura. Os painéis modulares foram definidos para terem sistema fêmea nas extremidades laterais e superior, permitindo junções em linha, L, T ou em cruz, assim como junção entre painéis verticais e de laje. As fôrmas dos painéis foram de madeira, com 6 cm de espessura, com meio diâmetro de tubo de PVC diâmetro de 7,5 cm, nas laterais e face superior do painel, para moldar o encaixe tipo fêmea. Os mesmos foram armados com uma gaiola metálica com estribos de aço CA-60 4,2 mm dispostos nas duas direções, a cada 20 cm na longitudinal e a cada 25 cm na transversal. Em seu interior foram inseridas 8 colunas de garrafas PET e, por fim, o conjunto foi envolto por tela de viveiro. Os painéis com janela e porta tiveram o seu entorno reforçados com 4 barras de aço CA-60 8,0 mm no sentido longitudinal e estribos de 4,2 mm, a cada 15 cm. A argamassa teve traço em peso de 1,0 : 2,0 e fator a/c = 0,45. No ensaio de compressão dos painéis, as deformações se apresentaram dentro de um intervalo de segurança e bem distante de uma possível ruptura. No ensaio de impacto de corpo duro, a superfície do painel se mostrou adequada, com ótimo desempenho. Nos ensaios de compressão vertical, através de prismas, feito o cálculo, pôde-se concluir que o painel é adequado para a utilização em paredes de residências de até dois pavimentos.

Nos ensaios de flexão e de cisalhamento do painel de laje, com carregamento de até 8 kN, conclui-se que a mesma pode ser de piso com acesso ao público. A alvenaria com painéis teve o seu custo cerca de 2,5 vezes menor que as alvenarias convencionais. Por fim, o sistema modular proposto atende ao preconizado, quer como paredes ou como lajes.

ABSTRACT

OLIVEIRA Rui Carlos de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2013.
Development and evaluation of mortar boards for housing construction in rural villages. Advisor: Fernando da Costa Baêta.

Brazilian agriculture has been transformed, with large agribusiness structures, better use of space and better use of available resources, and thus the rural workers have preferred to live close to the workplace, which are usually agricultural small villages. These locations require simple homes, fast built and inexpensive, such as modular buildings, made with prefabricated panels, reducing the assembly time on ready foundations, with significant reduction of remains. As this typology still needs investigations, this work was to develop and evaluate vertical (walls) and horizontal (ceiling) panels using mortar and PET plastic bottles. The results led to a modular measure of 1.05 m, and building measure of 1.04 m wide by 2.75 m high by 0.15 m thick. The modular panels was defined with female system on the side edges and upper, allowing joints on-line, L, T or cross, as well as the joint between vertical panels and slab. The form for the panels were made of wood, 6 cm thick, with half diameter PVC pipe diameter of 7.5 cm fixed on the sides and upper face of the panel to shape the female type fitting. The panels were armed with a metal cage with steel stirrups of CA-60 4.2 mm arranged in two directions, each 20 cm in longitudinal and 25 cm transversal way. Inside the metal cage were inserted eight columns of PET bottles and, lastly, the assembly was encased in wire netting. The surroundings of window and door panels were reinforced with 4 CA-60 8.0 mm steel bars in the longitudinal direction and with 4.2 mm stirrups every 15 cm. The mortar had weight trace of 1.0: 2.0 and a factor $w/c = 0.45$. In the compression test, the panels presented linear deformation, with deflections in a security range, thus far away from a possible breakage. In the hard body impact test, the panel surface was adequate, showing great performance. In the vertical compression test, based on prisms, made the calculation, it was concluded that the panel was suitable for use on walls of houses up to two floors. In the bending test of the slab panel with up to 8 kN of load, it was

concluded that it can be used even for slab with public access. In the shear test of the slab panel, as the load was higher than that recommended for public access, the panel was approved to be used as a ceiling or floor. . The masonry panels had its cost about 2.5 times smaller than the conventional masonry. Finally, the proposed modular system can be recommended both as wall and as slabs.

1. INTRODUÇÃO

Com a modernização da agricultura nos anos 90, começaram a surgir novas formas de ocupação no meio rural. O aumento da produtividade foi uma consequência dessa modernização e o trabalho que era de toda a família passou a ser realizado por poucas pessoas, liberando as demais para outras atividades. As famílias passaram a trocar as atividades tipicamente rurais por outras não agrícolas (COSTA, 2004).

No Brasil ainda existem servidores rurais morando em seu local de trabalho e com pouca infraestrutura básica, tais como energia elétrica, abastecimento de água e canalização de esgoto sanitário. Na maioria das vezes são construções simples, distantes uma das outras e da sede administrativa. Com toda essa dificuldade, aliada à falta de oportunidades em algumas regiões do interior, ocorre o êxodo de jovens em busca de melhores condições de vida, deixando as zonas rurais sem mão de obra e inchando os grandes centros urbanos.

No entanto, a agricultura brasileira vem se transformando nas suas formas de plantar, colher e armazenar seus produtos, com grandes estruturas agroindustriais, melhor aproveitamento do espaço físico e melhor uso dos recursos hídricos e energéticos. Neste cenário, o trabalhador rural prefere morar próximo do local de trabalho, não trabalhar mais de sol a sol e cumprir jornada estabelecida pelas leis trabalhistas.

Vale ressaltar que as construções rurais também passam por inovações, empregando as mesmas técnicas e materiais das grandes construções urbanas. Na avicultura, bovinocultura e suinocultura são utilizados galpões com algum grau de climatização e paisagismo para ajudar no conforto dos animais. Nestas instalações são destaques os sistemas de tratamento de seus dejetos, com reaproveitamento de resíduos na própria fazenda, buscando não contaminar solos e mananciais. Em muitos casos, as fazendas geram sua própria energia elétrica por meio de biogás e de outros processos.

Contudo, tem-se observado a falta de vilas rurais, ou agrovilas, com moradias especialmente planejadas para tal fim. No planejamento global, estas construções não precisam estar necessariamente dentro das fazendas, mas próximas de abrigos de máquinas, depósitos de adubos, pequenas oficinas etc. Neste contexto surge a demanda de construção de casas populares rurais, de preferência com execução simples, rápida e econômica, para atender àquelas famílias que dependem do trabalho do campo para sobreviver.

Um exemplo tem sido implementado pelo governo do Paraná, com a participação de instituições governamentais em parceria com instituições municipais, com o programa denominado Vilas Rurais, visando à fixação do homem no campo, proporcionando-lhe melhores habitações e combatendo a pobreza no meio rural (PARANÁ, 1996). O projeto prevê vilas rurais com infraestrutura de habitação, energia e abastecimento de água, além dos serviços de educação, saúde, assistência e extensão rural, assistência social, intermediação de mão de obra, qualificação profissional, geração de emprego e renda, assim como a organização comunitária para o trabalho (LERNE, 1996).

Na busca de residências de execução simples, rápida e econômica, têm se destacado as edificações moduladas, normalmente confeccionadas com painéis pré-fabricados.

Trabalhos conduzidos por Fiorotti (2002) e Provenzano (2006) têm demonstrado que construções dessa natureza, quando comparadas com convencionais, têm sido mais econômicas, pela redução no tempo de montagem dos painéis sobre fundações prontas e redução significativa de resíduos, uma vez que as tubulações para instalações elétricas, água, telefonia e televisão, já se encontram embutidas nos painéis.

Outros fatores de relevância, no caso de residências com painéis pré-fabricados, são o transporte dos elementos pré-moldados numa única etapa e aquisição mínima de materiais de construção.

Provenzano (2006) considerou a execução de painéis com dimensões 0,65 m x 2,65 m x 0,14 m e 0,85 m x 2,65 m x 0,14 m, com garrafas plásticas tipo PET (poli-tereftalado de etileno) em seu interior. Para a confecção dos painéis, empregando fôrmas de madeira (que poderia ser de fibra de vidro ou aço), foram posicionadas treliças planas de aço em seu perímetro e colunas de garrafas PET no sentido longitudinal, com o fundo cortado, inseridas umas nas outras e fixadas por fita adesiva. Por fim, foi feita a argamassagem de todo o

conjunto. Nesse trabalho, as mangueiras e os tubos para instalações elétricas e hidráulicas foram inseridos dentro das garrafas, antes da argamassagem.

O PET, polímero termo plástico, tem sido amplamente utilizado na fabricação de garrafas e embalagens para bebidas, principalmente por sua resistência mecânica (impactos), barreira de gases e odores e ter peso reduzido. Estes materiais normalmente são oriundos de coleta seletiva, que geram emprego e renda para o pessoal envolvido.

Claro que na confecção dos painéis outros materiais poderiam ser utilizados em seu interior, tais como isopor e casca de arroz. Contudo, presume-se que a camada de ar possibilitada pela garrafa PET é de suma importância para o desempenho térmico e redução do peso final do painel pré-moldado (PROVENZANO, 2006).

De acordo com Provenzano (2006), em seu experimento, feitos os ensaios de desempenho estrutural dos painéis, compressão vertical e de impactos de corpo duro e corpo mole, concluiu-se que os mesmos foram tecnicamente adequados para construção de habitação térrea, exigindo, no entanto, uma melhoria no revestimento externo, a fim de satisfazer aos requisitos e critérios de impacto de corpo duro.

Neste sentido, presume-se que o revestimento externo poderia ser executado em argamassa armada que, normalmente, possui armadura com barras de aço, nas duas direções, em conjunto com tela de viveiro, mais argamassa forte de cimento e areia.

No entanto, esta nova tipologia ainda carece de investigações científicas para a sua segura recomendação.

2. OBJETIVOS

Desenvolver e avaliar painéis de fechamentos verticais (paredes) e horizontais (teto), empregando argamassa armada e garrafas de plástico tipo PET, com viabilidade de uso e eficiência estrutural para aplicação em casas de agrovilas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Agrovilas

As agrovilas são comunidades formadas por agricultores locais, com cultura e educação bem definidas, geralmente dispõem de princípios cooperativos e têm sido reconhecidas como uma maneira mais econômica de viabilizar a geração de emprego e renda no campo. A Figura 1 ilustra uma destas comunidades.



Figura 1 - Exemplo de uma agrovila.

Nos anos 70, para a ocupação da Amazônia previu-se a construção de agrovilas, onde nestes núcleos residenciais contemplavam-se lotes de terra com objetivos também de produção. Nesta época, brasileiros de todas as regiões lá se estabeleceram com suas famílias. Para garantir razoáveis condições de vida aos novos habitantes, o projeto previu a construção de estrutura urbana utilizando a madeira das árvores derrubadas nos lotes. Assim, dotaram-se as agrovilas de residências, escolas, rodoviária, instalações comerciais, centros de lazer, postos médicos e órgãos do governo, entre eles o INCRA e o Banco do Brasil, que se encarregavam de administrar e financiar as plantações.

Com o passar do tempo, alguns colonos ficaram por lá, contudo a maioria não se adaptou às condições de vida da floresta e deixaram a região. A primeira agrovila, situada no km 90 da Rodovia Transamazônica, ganhou o nome de Medicilândia, em homenagem ao presidente Emílio Garrastazu Médici, que governou o Brasil de 1969 a 1974. Esta agrovila é hoje uma cidade de quase 30 mil habitantes.

O povoado de Itabaiana, no agreste de Sergipe, é uma das agrovilas que mais movimenta renda e emprego para a economia do município. Ele está distante da sede do município, cerca de 8 km, fazendo um eixo com o povoado Zangue, Igreja Velha e Bom Jardim, que fica na zona rural.

Um segmento que tem se amparado em agrovilas é o sucroalcooleiro, que se consolidou no Brasil com o Proálcool. Na década de 80, houve a primeira expansão da atividade para regiões nas quais ela não era tradicional, como o centro-oeste do país. As pessoas eram atraídas pelas condições de solo, clima e terras baratas. Neste sentido, as empresas construíram agrovilas, com objetivo de acomodar e manter os novos trabalhadores junto aos empreendimentos e promoveram a contratação de mão de obra de outras regiões, que migravam de forma temporária ou permanente.

3.2. Unidades típicas para habitação

Morar é uma necessidade básica do ser humano e condição indispensável à reposição de suas energias por meio do repouso, das refeições e de sua higiene pessoal (ROBALDINO, 1980).

O projeto adequado de uma habitação deve levar em conta o modo de vida da população em questão, observando o conjunto de exigências, uma vez que o comportamento e as atividades das famílias têm um caráter único e dependente do contexto no qual elas vivem (FOLZ, 2003).

De acordo com Martucci (1990), casa, moradia e habitação têm conceitos distintos. A casa é um invólucro que divide tanto espaços internos como espaços externos. A moradia possui ligação muito forte com os elementos que fazem a casa funcionar, considerando os “hábitos de uso da casa” ela identifica-se com o modo de vida dos usuários. E a habitação é definida como sendo a casa e a moradia integradas ao espaço urbano, com todos os elementos que este espaço urbano possa oferecer.

3.3. Embalagens de garrafas plásticas

As embalagens de polímeros termoplásticos, normalmente descartáveis, tipo PET (Poli-Tereftalato de Etileno) são consideradas resistentes e adequadas para garrafas de bebidas em geral.

Segundo a Associação Brasileira de Indústria do PET (ABIPET), o produto foi desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson, mas as embalagens no formato de garrafas só foram industrializadas na década de 70, após considerações de segurança e de meio ambiente. Neste sentido, os Estados Unidos e o Canadá, no começo dos anos 80, começaram a coleta dessas embalagens, promovendo sua reciclagem.

No processo de utilização dos PETs surgiram aplicações importantes, tais como tecidos, lâminas e embalagens para produtos não alimentícios. Na década de 90, o governo americano autorizou o uso do PET para embalagem de produtos alimentícios. Em 1988, o PET chegou ao Brasil e teve sua trajetória idêntica à de outros países, sendo, primeiramente, utilizado na indústria têxtil e, a partir de 1993, passou a ter forte participação no mercado de embalagens.

De acordo com a ABIPET (2006), o PET possui as seguintes características: alta resistência mecânica a impactos, alta resistência química, transparência, baixo peso, excelente barreira para odores e gases e 100% reciclável.

Cada tipo de plástico deve receber um número específico e deve ter o respectivo triângulo com a identificação. As embalagens de PET são identificadas por meio do número 1 conforme mostrado na Figura 2.



Fonte: ABIPET, 2006.

Figura 2 – Garrafas PET e símbolo estampado nas embalagens para identificação do tipo de plástico.

3.4. Coordenação modular

A NBR 5706 define *Coordenação Modular* (ABNT, 1977) como “técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado, espacial modular de referência”. Já Rosso (1976) a considera uma metodologia sistemática de industrialização e Greven (2000) a define como sendo “A ordenação dos espaços na construção civil”.

De forma genérica, pode-se dizer que a Coordenação Modular tem como objetivo a racionalização da construção. Rosso (1980) define racionalização como a aplicação mais eficiente de recursos para obtenção de um produto dotado da maior efetividade possível. Dessa forma, todos os intervenientes da cadeia produtiva são corresponsáveis pela busca do sucesso.

Com normas técnicas bem elaboradas, seguidas por um eficiente sistema de certificação, os componentes passam por uma padronização dimensional, a partir da qual têm as mesmas características dimensionais e por uma redução da variedade de tipos, mediante o emprego de medidas preferidas a componentes, tornando-se seriada e não mais sob medida, mesmo sendo os componentes a serem produzidos escolhidos na série de medidas preferíveis. A produção dos componentes por indústrias diferentes não impede a intercambialidade entre eles, pois passam a ser compatíveis

entre si, em função de suas dimensões serem múltiplas do módulo decimétrico. Dessa forma, ruma-se à industrialização aberta.

Segundo a NBR 5706, “módulo é a distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência” (ABNT, 1977). Também chamado de módulo-base, o módulo é universalmente representado por “M”. O módulo adotado pela maioria dos países, inclusive o Brasil, é o métrico.

O módulo desempenha as seguintes funções:

- a) é o denominador comum de todas as medidas ordenadas;
- b) é o incremento unitário de toda e qualquer dimensão modular, a fim de que a soma ou a diferença de duas dimensões modulares também seja modular; e
- c) é um fator numérico, expresso em unidades do sistema de medida adotado ou a razão de uma progressão.

Para que esses critérios sejam exequíveis, a Coordenação Modular dispõe de quatro instrumentos fundamentais que norteiam a sua estruturação:

- a) o sistema de referência;
- b) o sistema modular de medidas;
- c) o sistema de ajustes e tolerâncias (ou ajuste modular); e
- d) o sistema de números preferenciais, os quais são desenvolvidos a seguir.

O sistema de referência é formado por pontos, linhas e planos, em relação ao qual ficam determinadas a posição e a medida de cada componente da construção, permitindo, assim, sua conjugação racional no todo ou em parte (Figura 3).

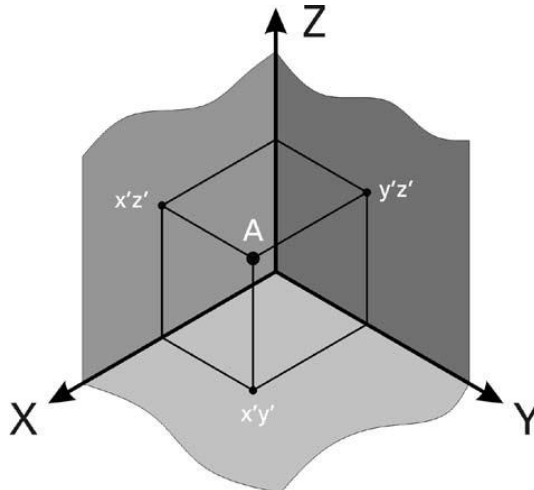


Figura 3 - Sistema de referência.

O reticulado modular espacial de referência é constituído pelas linhas de interseção de um sistema de planos separados entre si por uma distância igual ao módulo e paralelo a três planos ortogonais dois a dois (ABNT, 1970) (Figuras 4 e 5).

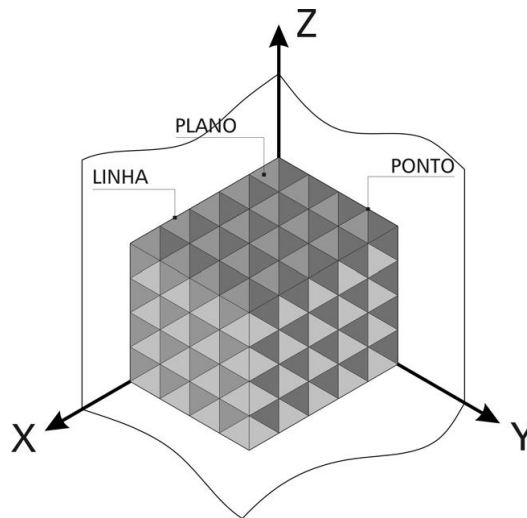


Figura 4 - Reticulado modular espacial de referência.

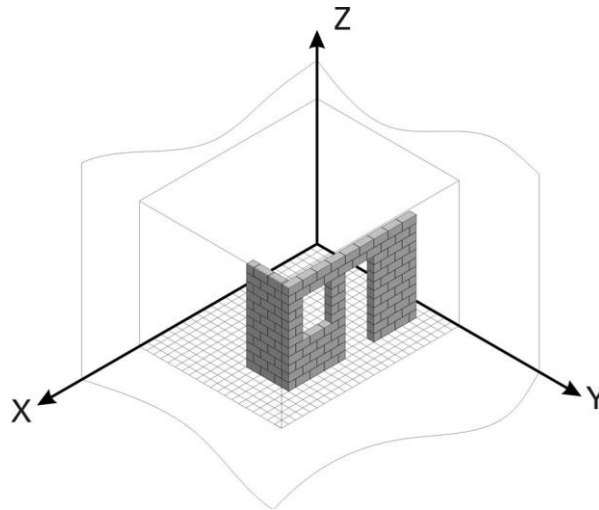


Figura 5 - Reticulado modular espacial de referência.

O quadriculado modular de referência (ou malha modular) é a projeção ortogonal do retículo espacial de referência sobre um plano paralelo a um dos três planos ortogonais (ABNT, 1977). Considerando-se que a representação gráfica do projeto mais usual é por meio das vistas ortográficas, pode-se utilizar:

- a) quadriculado modular propriamente dito: utilizado no projeto de componentes e detalhes;
- b) quadriculado de projeto: utilizado para a criação do projeto geral da edificação;
- c) quadriculado estrutural: utilizado para o posicionamento dos elementos estruturais; e
- d) quadriculado de obra: utilizado para alocação da edificação e dos componentes para a sua montagem.

A Figura 6, por exemplo, apresenta três quadriculados diferentes, para serem usados em diferentes fases do projeto:

- 1- O quadriculado M (quadriculado modular).
- 2- O quadriculado 3M (quadriculado de projeto).
- 3- O quadriculado 24M (quadriculado estrutural).

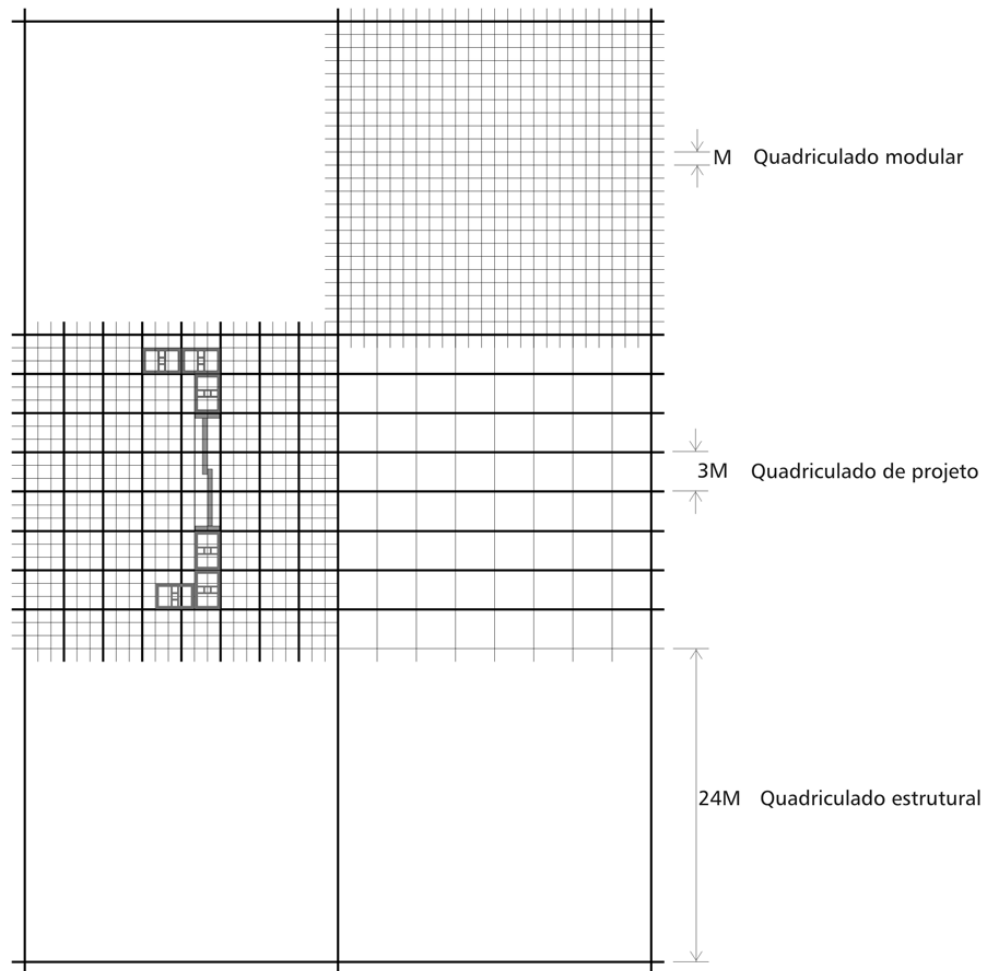


Figura 6 - Quadriculado modular M, 3M e 24M.

3.5. Unidades pré-fabricadas

A história da industrialização identifica-se, num primeiro tempo, com a história da mecanização, isto é, com a evolução das ferramentas e máquinas para a produção de bens. Essa evolução pode ser dividida em três grandes fases (BRUNA,1976).

A primeira, que assinala os primórdios da era industrial, corresponde ao nascimento das máquinas genéricas ou polivalentes, movidas por energia diferente daquela muscular ou natural localizada, como uma queda de água.

A segunda fase está associada à transformação dos mecanismos no sentido de ajustá-los à execução de determinadas tarefas. A máquina “motorizada e regulada” substitui o homem na capacidade de repetir um ciclo sempre igual. O operário é então treinado para repetir determinados movimentos no menor tempo possível com o objetivo de obter os melhores

resultados econômicos e qualitativos. Cria-se assim uma divisão entre trabalho intelectual de organização e trabalho manual.

Finalmente, a terceira fase inicia-se em torno dos anos 50 do século passado e dá origem ao processo que alguns autores chamam de segunda revolução industrial, onde a diligência, a avaliação, a memória, o raciocínio, a concepção e a vontade, estão sendo substituídos por aparelhos mecânicos ou eletrônicos ou, genericamente, por automatismos. Os automatismos passam a substituir paulatinamente as faculdades humanas.

Já a pré-fabricação na construção civil, segundo Vasconcelos (2002), está associada com a pré-moldagem de elementos fora do local de seu uso. O termo pré-fabricação no campo da construção civil possui o significado: "fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra" (REVEL, 1973). A norma NBR 9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado (ABNT, 1985) define estrutura pré-fabricada como elemento executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, ou em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que atende aos requisitos mínimos de mão de obra qualificada e a matéria-prima ensaiada e testada quando no recebimento pela empresa.

Conforme Ordonéz (1974), pré-fabricação ganhou força logo após a Segunda Guerra Mundial, principalmente na Europa, em função da necessidade de se construir em grande escala.

De acordo com Vasconcelos (2002), a pré-fabricação no Brasil teve início em 1926, com a construção do Hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, onde a empresa construtora dinamarquesa Christiani-Nielsen executou a obra completa com elementos pré-fabricados.

Mais recentemente, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2005), têm sido confeccionado e instalado, de forma pré-fabricada, galpões industriais, edifícios de estacionamentos, hotéis e outros, sempre com peças mais esbeltas e mais leves, muitas vezes dispensando equipamentos pesados para a montagem.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado nos Laboratórios de Materiais de Construção dos Departamentos de Engenharia Agrícola, Engenharia Civil e de Estruturas da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa e seguiu as seguintes etapas: modulação da construção pré-fabricada, definição dos painéis modulares, definição do projeto de fôrmas, definição da execução das placas modulares, determinação do traço para a argamassa armada, construção e ensaios mecânicos das placas modulares.

4.1. Definição da modulação da construção pré-fabricada

A modulação da construção pré-fabricada levou em consideração a coordenação modular decimétrica, fundamentada na NBR25/50, que gerou a NBR 5706/77 (Coordenação Modular “Procedimentos”) que hoje foi substituída pela NBR 15 873/2010 (Coordenação Modular da Construção Civil).

O sistema de modulação de medidas foi baseado no módulo básico M (1 cm) e nos módulos derivados nM (multimódulo) e M/n (submódulo), em que $n > 0$ conforme a Figura 7.

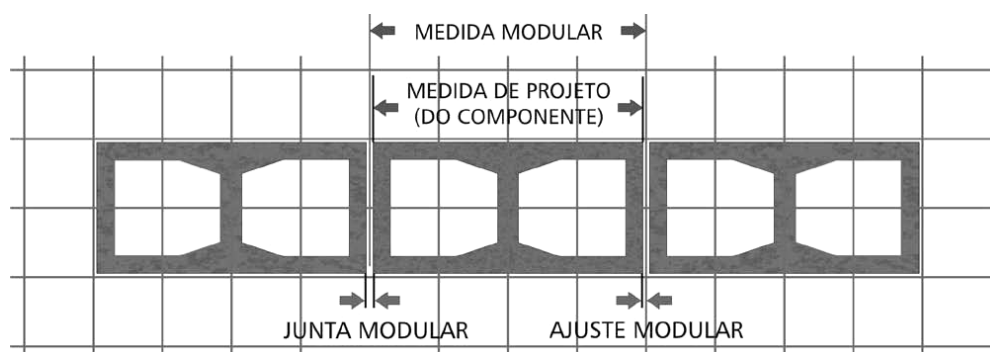


Figura 7 – Exemplo de medida modular, medida nominal, junta modular e ajuste modular.

Para definir a modulação, foram consideradas, de forma geral, as várias dimensões arquitetônicas dos cômodos tais como: quartos, sala, circulações, assim como as dimensões das aberturas para esquadrias destinadas a portas, janelas e basculantes.

A altura do painel considerou o pé direito da edificação, ou seja, a altura do piso até o teto. Por fim, foram considerados os requisitos térmicos, ambientais e culturais.

A definição da modulação foi feita considerando uma porta com 0,80 m de vão, imprescindível aos cadeirantes, e uma espessura de parede com 0,15 m e um pé direito com, no mínimo, 2,75 m, por razões funcionais, culturais e psicológicas.

Neste trabalho, como as paredes da casa são formadas por painéis pré-fabricados modulares contendo garrafas PET com diâmetro aproximado de 10 cm em seu interior, para acomodar uma porta de 0,80 m com seu marco, e ainda permitir a existência de um pilarete de 0,10 m x 0,15 m de cada lado, cada painel foi definido com uma dimensão horizontal igual a 1,05 m, ou seja, 105 M.

A partir desse princípio, a medida modular proposta para o projeto foi de 1,05 m e medida de projeto do painel 1,04 m de largura, devendo ter em seu interior oito colunas de garrafas PET de cerca de 0,10 m de diâmetro. A espessura do painel foi de 0,15 m que, descontado o diâmetro das garrafas, possibilitou 2,50 cm de argamassa entre a circunferência da garrafa e a face do painel, ou seja, reforço perimetral igual a 2,50 M. Com esta definição, o espaçamento entre garrafas foi de, aproximadamente, 2,00 cm ou 2,00 M (Figura 8).

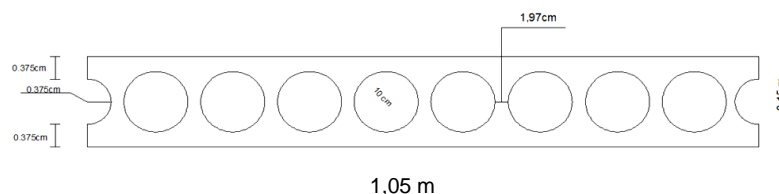


Figura 8 - Seção proposta para o painel modular.

4.2. Definição das características dos painéis modulares

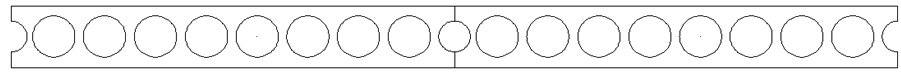
A definição das características dos painéis considerou a rigidez de conjunto, resistência à compressão, resistência a impactos em suas superfícies, durabilidade, peso final e facilidade de transporte e montagem.

Como as dimensões básicas dos painéis já foram definidas anteriormente, o próximo passo foi a definição de sua montagem que, consideradas as várias possibilidades, por razões construtivas, optou-se pelo sistema fêmea-fêmea nas extremidades laterais e superior, de forma côncava semicircular com raio de 3,75 cm (Figura 8).

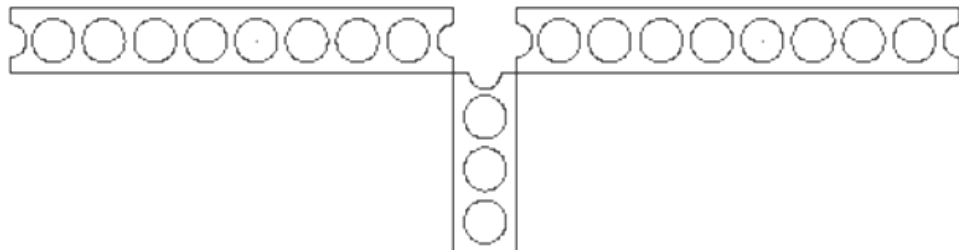
As extremidades laterais com semicírculos permitiram que, na junção com outro painel, após o preenchimento com argamassa forte ou concreto com agregado miúdo, forme-se um pilarete de 7,50 cm de diâmetro.

Este sistema também permite que, na junção de dois, três ou quatro painéis, na forma de L, T ou em cruz, respectivamente, após colocação da armadura metálica e concretagem, ocorra a formação de um pilar com dimensões mínimas de 0,15 m x 0,15 m, cujas laterais serão moldadas pela fôrma ou pelos próprios painéis contendo semicírculos para fixação dos mesmos. Os pilares, estrategicamente distribuídos, serão importantes para o comportamento estrutural geral da obra (Figura 9).

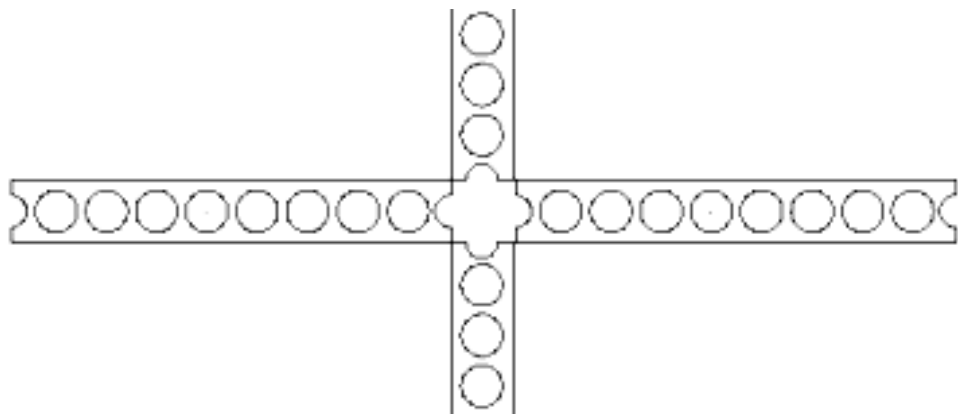
Os painéis destinados à laje deverão ter todas as extremidades semelhantes aos painéis verticais, contudo sem uma das abas na parte de cima, de forma a possibilitar, sempre pelo lado superior, a argamassagem ou concretagem dos encontros das placas dispostas lateralmente na horizontal ou apoiadas sobre outras verticais. Os painéis de laje, apoiados sobre painéis verticais, deverão ser unidos por cinta, utilizando-se concreto com brita zero.



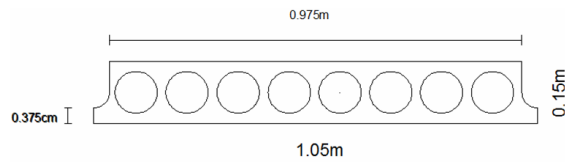
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 9 – Detalhe da junção de painéis: a) painéis verticais sequenciais; b) painéis em forma de T; c) painéis em cruz; d).painel de laje; e e) junção de lajes.

4.3. Definição do projeto da fôrma

As fôrmas foram definidas buscando-se travamento, nivelamento e escoramento adequados, para que a estrutura apresentasse bom desempenho, evitando-se a ocorrência de deformações não previstas em projeto, uma vez que a argamassa pesa cerca de duas vezes o correspondente a água (BANET, 2008).

As fôrmas foram projetadas para execução com madeira de eucalipto citriodora, por ser, neste caso, o material de maior facilidade de obtenção e trabalhabilidade.

Para tanto, uma vez que o painel modular pré-fabricado foi definido com 1,04 m de largura, 0,15 m de espessura e 2,75 m de altura, definiu-se por utilizar na confecção da fôrma o que se segue:

- 2 peças de madeira de 3,07 m x 0,15 m x 0,06 m
- 2 peças de madeira de 1,08 m x 0,15 m x 0,06 m
- 2 parafusos com rosca sem fim com 1,22 m e diâmetro 8,00 mm.
- 4 arruelas de 8,00 mm .
- 4 porcas sextavadas de 8,00 mm.
- 1 tubo de PVC rígido com 2,75 m e diâmetro 75 mm.
- 6 fitas de aço 2,00 cm x 15,00 cm para abraçadeiras.
- 12 pregos de 17x21.
- 6 barras de aço redondas com 0,30 m e diâmetro 10,00 mm.
- 6 cantoneiras de abas iguais de 5,00 mm x 5,00 mm x 0,15 mm.
- 12 parafusos com comprimento 10,00 cm e diâmetro 8,00 mm.

Conforme se observa nas Figuras 20, 21 e 22, a junção da cabeça da fôrma foi feita com entalhes de 2 cm de profundidade e os parafusos com rosca sem fim, um de cada lado da estrutura, foram utilizados para facilitar a montagem e desmontagem das fôrmas. As alças, três de cada lado da fôrma, foram fixadas para facilitar o seu levantamento e transporte. A instalação de três cantoneiras de abas iguais em cada lado da fôrma foi feita para evitar a movimentação lateral e vertical da mesma durante a argamassagem. A instalação de metade do tubo de PVC em cada lado da fôrma teve o objetivo de moldar a formação das fêmeas para facilitar a união entre painéis. E, por

fim, foram afixadas três travas ou gravatas de madeira no sentido transversal da fôrma para evitar a abertura lateral das mesmas.

A seguir, as duas fôrmas foram montadas conforme pode ser observado nas Figuras 10, 11 e 12.



Figura 10 – Montagem do quadro externo da fôrma.



Figura 11 - Junção da cabeça da fôrma com entalhes, parafuso com rosca sem fim, alças com barras de aço redondas, cantoneiras de abas iguais e semi-tubos de PVC.



Figura 12 – Posicionamento das gravatas na fôrma.

Vale ressaltar que a fôrma descrita foi projetada para ser polivalente e a partir de recortes específicos, serviram também para painéis com portas e janelas, conforme pode ser observado nas Figuras 13 e 14.



Figura 13 – Fôrma para o painel com janela.



Figura 14 - Fôrma para o painel com porta.

A desmoldagem das fôrmas foi prevista de acordo com a NBR 6118/2004, que regulamenta a questão. Com base na norma, as faces laterais foram removidas três dias após a confecção.

Feitos os respectivos orçamentos, considerando-se material, mão-de-obra, encargos sociais e benefícios e despesas indiretas, chegou-se ao custo estimado da ordem de R\$ 442,85 por fôrma (Apêndice A).

4.4. Definição do processo de execução dos painéis

A definição do processo de execução dos painéis contemplou uma gaiola armada constituída por estribos longitudinais e transversais de barras de ferro circulares em aço CA-60 e tela de viveiro de malha 15 mm x 15 mm, contendo em seu interior colunas de garrafas do tipo PET.

Os painéis foram classificados em três categorias: painel cego, painel com janela e painel com porta. O painel cego não possui aberturas. O painel com janela teve fôrma idêntica ao anterior, contudo teve um vazamento de 0,85 m de largura x 1,10 m de altura x 1,00 m de peitoril para fixação da esquadria (janela). O painel com porta teve a mesma fôrma externa, com um espaço vazio interno de 0,85 m de largura x 2,10 m de altura a partir do piso, para fixação do marco que vai conter a porta.

Estando a fôrma montada, sobre fundo revestido de lona plástica, passou-se a montar a gaiola estrutural metálica com estribos de aço CA-60 4,2 mm dispostos nas duas direções, a cada 20 cm na longitudinal e a cada 25 cm na transversal. Os estribos transversais possuíam dimensões de 0,97 m x 0,13 m, a partir de barras com 2,30 m e os estribos verticais de 2,71 m x 0,13 m, a partir de barras com 5,78 m de comprimento. Na junção de cada estribo foram feitas dobras com 5 cm em cada lado da barra (Apêndice F).

Sequencialmente foram inseridas oito colunas de garrafas PET que, considerando um diâmetro aproximado de 10 cm por garrafa, possibilitou um afastamento entre colunas de aproximadamente 2,0 cm (Figura 15).



Figura 15 - Formação da gaiola estrutural metálica contendo as colunas de garrafas.

As colunas de garrafas PET foram obtidas a partir do emprego de 15 garrafas com 34 cm de comprimento. As garrafas, à exceção da primeira que foi utilizada inteira, tiveram o fundo cortado a 5 cm de altura de forma a possibilitar o encaixe de 12 cm do extremo superior de uma no extremo inferior da outra.

Após essa operação, foi colocada uma tela galvanizada de viveiro, com malha de 15 mm x 15 mm, envolvendo toda a gaiola. Essa tela tem a função de uma armadura de pele, para combater tensões superficiais.

Com base nas dimensões do painel e no peso específico da argamassa armada, que é de 21 kN.m^{-3} , chegou-se ao peso do painel igual a 5,25 kN (Apêndice B) .

Utilizando-se a mesma fôrma, foram montados os painéis com janela e com porta, sendo que a gaiola estrutural metálica com colunas de garrafas compreendeu apenas as partes do painel em que o mesmo era cego (Figura 16). As laterais do painel, para ambos os casos, foram armadas na forma de pilaretes, de 10 cm x 15 cm, com 4 barras de ferro com diâmetro de 8,0 mm no sentido longitudinal e estribos com barras de ferro 4,2 mm, a cada 15 cm. Por baixo e por cima da janela e por cima da porta foram armadas vigas de 10 cm x 13 cm com as mesmas ferragens dos pilaretes (Figuras 16 e 17).



Figura 16 - Formação da gaiola estrutural metálica contendo as colunas de garrafas para o painel com janela.



Figura 17 - Formação da estrutura metálica para o painel com porta.

4.5. Determinação do traço para a argamassa armada

As dosagens correntes foram efetuadas buscando-se a relação entre cimento e agregado miúdo de 1,0 a 2,5 para materiais secos, e água/cimento a/c entre 0,40 e 0,60 em peso.

Os ensaios para a dosagem da argamassa, a classificação da areia e os ensaios de compressão, com respectiva fixação do Fck foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

A dosagem empregada foi a racional, que partiu das resistências que devem ter os elementos da estrutura e considerou os respectivos coeficientes de segurança. Neste caso foi fixada a relação a/c da argamassa e foram determinadas as porcentagens de agregado em relação ao cimento, tendo em vista os materiais a usar e a plasticidade necessária em cada caso. Para esse experimento, foi adotado inicialmente $F_{ck} = 25 \text{ Mpa}$ (resistência característica aos 28 dias) e o fator $a/c = 0,40$ (400 ml de água/kg de cimento).

4.6. Construção dos painéis modulares

Todas as etapas de construção dos painéis foram conduzidas no Setor de Pré-Moldados, pertencente à Pró-Reitoria de Administração da UFV.

Na construção dos painéis foram utilizados uma ampla plataforma, uma central de concreto de médio porte, um conjunto de armadores, um conjunto de funcionários de apoio e uma ampla área para a realização da cura dos painéis.

A construção dos painéis foi realizada utilizando-se duas fôrmas, sendo então feitas duas argamassagens por vez, com desfôrmas a cada três dias.

Inicialmente foi aplicado o desmoldante na fôrma, neste caso o óleo diesel. Em seguida procedeu-se à forração da plataforma com lona plástica, objetivando-se a separação entre o painel e a mesma, e depois a fixação da fôrma na plataforma. Sequencialmente, utilizando-se o traço definido anteriormente, foi feita a argamassagem e o nivelamento do fundo com cerca de 2,0 cm (Figura 18).



Figura 18 – Plataforma forrada, fôrma afixada e argamassagem do fundo.

Após a argamassagem do fundo, foi acomodada a gaiola metálica, com as colunas de garrafas PET e a tela, sobre o mesmo, e foi feita a fixação das gravatas, para evitar a flutuação do conjunto. Em seguida, foi feita a argamassagem final acompanhada de vibração, facilitando desse modo todo o preenchimento dos espaços vazios, passando a argamassa pela tela, uma vez que o fator a/c foi rigorosamente seguido (Figura 19).



Figura 19 - Argamassagem final do painel modular seguida de vibração.

Da mesma maneira, procedeu-se à argamassagem dos painéis com janela e com porta (Figura 20).



Figura 20 - Argamassagem final do painel modular com janela.

Vale ressaltar que as gravatas foram retiradas logo após a argamassagem, possibilitando os procedimentos de acabamento.

A seguir, na Figura 21, observam-se os painéis prontos e em processo de pega ou cura.



Figura 21 – Disposição dos painéis modulares prontos.

Para garantir ótima pega ou cura, por sete dias, procedeu-se à irrigação dos painéis e a proteção dos mesmos com sacos molhados de cimento e uma lona plástica branca por cima (Figuras 22 e 23).



Figura 22 – Painel modular sendo irrigado.



Figura 23 – Painéis modulares protegidos com sacos molhados de cimento.

Logo após o terceiro dia de concretagem, as fôrmas laterais foram removidas e os painéis modulares permaneceram no mesmo lugar até 21 dias de idade, quando então foram removidos (Figura 24).



Figura 24 – Painéis modulares sem a fôrma, após o terceiro dia de confecção.

Do ponto de vista econômico, conforme pode ser visto nos Anexos 1, 2 e 3, o custo/m² de cada painel foi:

Painel cego (parede)	R\$ 83,17
Painel com janela	R\$ 77,59
Painel com porta	R\$ 73,44

Para facilitar a comparação do custo de alvenaria do painel cego com as alvenarias convencionais, considerando março de 2013, os custos equivalentes, por m², foram:

Alvenaria com tijolo maciço, completa	R\$ 286,09
Alvenaria com tijolo furado, completa	R\$ 243,16
Alvenaria com blocos de concreto, completa	R\$ 208,49.

Em resumo, a alvenaria com painéis teve o seu custo cerca de 2,5 vezes menor que as alvenarias convencionais.

4.7. Desempenho Estrutural dos Painéis Modulares

4.7.1. Ensaio de compressão horizontal

Os ensaios de compressão horizontal dos painéis foram feitos no Laboratório de Estrutura da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, de acordo com a NBR 6118/2004 (ABNT, 2004).

Para tanto, foi utilizado um macaco hidráulico, montado em quadro de reação de concreto armado, com capacidade reativa de 400 kN, sendo que o painel ensaiado foi apoiado em duas células de carga com capacidade individual de 100 kN, conforme Figuras 25, 26 e 27.



Figura 25 – Montagem do ensaio de compressão horizontal do painel cego.



Figura 26 – Montagem do ensaio de compressão horizontal do painel com porta.



Figura 27 – Montagem do ensaio de compressão horizontal do painel com janela.

4.7.2. Ensaio de impacto de corpo duro

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 15575/2008 no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da UFV e a aparelhagem utilizada consistiu de uma torre com três metros de altura (Figura 28), contendo um tubo transparente graduado, por onde deslocou verticalmente um projétil cilíndrico, com ponta semicircular, com diâmetro de 50 mm e peso de 10 N, que liberado das alturas de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m, por 10 vezes consecutivas sobre o painel, disposto na horizontal, provocou danos à superfície. Os danos foram registrados e classificados.



Figura 28 – Torre para ensaio de corpo duro.

O requisito foi o da estabilidade e resistência estrutural fundamentada no Projeto de Normas Brasileiras de Desempenho de Edifício Habitacional de até 5 pavimentos, relativos à Parte 2 (estrutura) e Parte 4 (fachadas e paredes interna e externa).

O referido projeto de normas estabelece que a estrutura principal e os demais elementos com função estrutural dos edifícios de habitação de até 5 pavimentos não devem apresentar:

- ruptura, instabilidade, ou tombamento, considerando a estrutura como um todo ou qualquer um de seus componentes isolados;
- dispositivos estruturais cuja falência de elemento isolado desencadeie um processo de colapso progressivo;

- deformação e defeitos acima das tolerâncias especificadas neste conjunto de normas e nas demais normas técnicas.

Para o ensaio em questão, “falha” foi caracterizada como “a ocorrência que pode comprometer o estado de utilização do elemento por fissuração, danos no elemento e na interface com outros elementos, e deslocamentos acima dos limites aceitáveis”. A “ruína” foi caracterizada por perda de estabilidade ou deformação excessiva e o “I” (insuficiente) foi caracterizado por não atender a exigências mínimas de desempenho.

Cada painel cego foi ensaiado na horizontal em três pontos da superfície, pontos estes equidistantes de 0,69 m entre si e na extremidade.

4.7.3. Ensaios de compressão vertical

Estes ensaios, complementares ao ensaio do painel inteiro, consideraram a resistência de prisma, que são elementos obtidos pela superposição de certo número de blocos, normalmente dois ou três, unidos por junta de argamassa e destinados ao ensaio de compressão axial.

A estimativa da resistência de paredes por meio do ensaio de prismas é o procedimento adotado pela NBR 10837, sendo também permitido pelo ACI 530 (American Concrete Institute).

A NBR 10837, em seu item 5.3.1, enfatiza que as tensões admissíveis para a alvenaria não armada e para a alvenaria armada devem ser baseadas na resistência dos prismas aos 28 dias ou na idade a qual a estrutura é submetida ao carregamento total.

Para a confecção dos prismas foi necessário o desmembramento do painel de forma a obter peças com dimensões de 15 cm x 25 cm x 65 cm, de maneira que o corte longitudinal foi feito entre colunas de garrafas (Figura 29).



Figura 29 - Prismas para ensaio de compressão, obtidos dos painéis modulares.

Os ensaios foram conduzidos em uma prensa EMIC-DL 60000, com capacidade de carga de 600kN (Figura 30).



Figura 30 – Vista de uma prensa EMIC-DL 60000 onde foram executados os ensaios de compressão vertical.

4.7.4. Ensaios de flexão do painel de laje

Os ensaios de flexão foram conduzidos de forma análoga ao que se pode observar na Figura 31, com o painel modular disposto na horizontal, sobre dois apoios, e aplicação de carga no centro. A partir de um sistema de registro da deformação ou flecha em função da carga aplicada, um gráfico correspondente foi traçado para a respectiva análise. No corte A-A da Figura 31, LVDT representa a linha da viga de transmissão de carga.

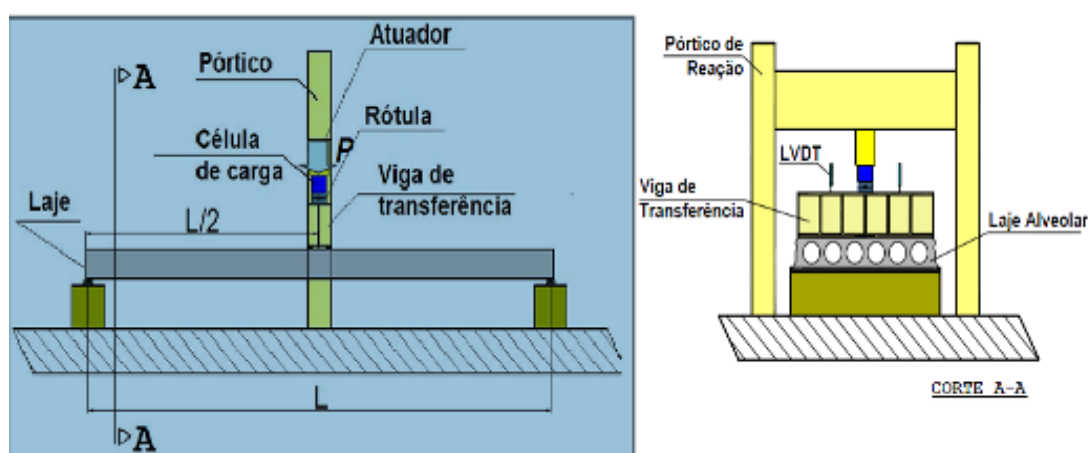


Figura 31 - Esquema do ensaio de flexão do painel de laje.

4.7.5. Ensaios de cisalhamento do painel laje

Os ensaios de cisalhamento do painel, funcionando como laje, foram conduzidos conforme a Figura 32, com o painel modular disposto na horizontal, sobre dois apoios, e aplicação de carga nas extremidades. A partir de um sistema de registro da deformação em função da carga aplicada, um gráfico correspondente foi traçado para a respectiva análise.

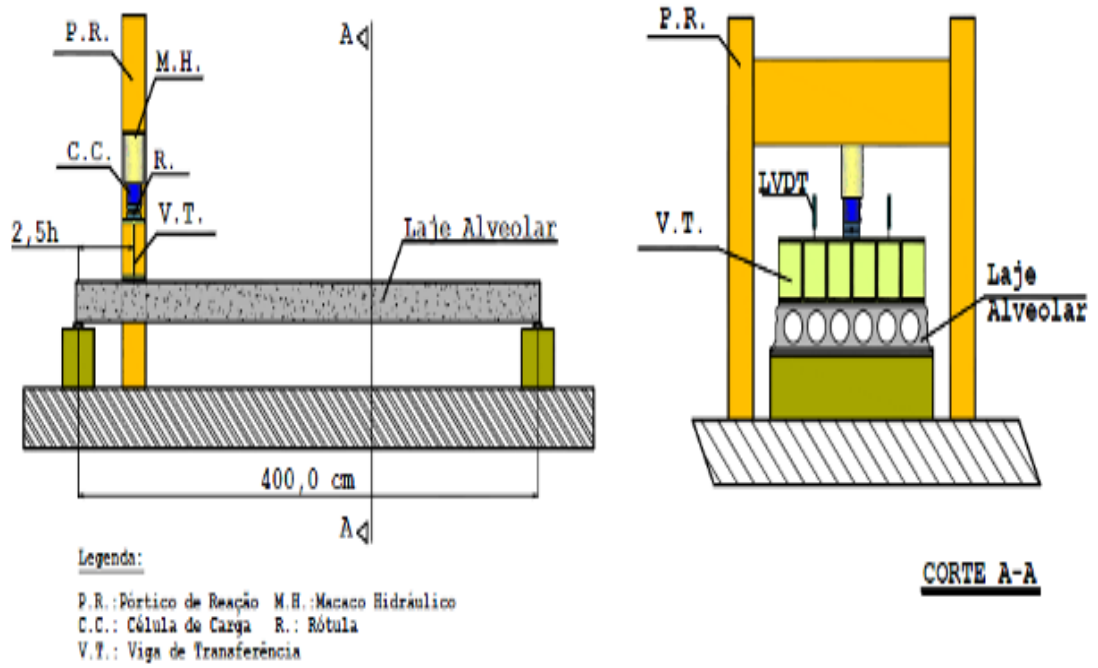


Figura 32 - Esquema do ensaio de cisalhamento do painel de laje.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Determinação do Traço para a Argamassa Armada

5.1.1. Dosagem

O presente ensaio foi realizado nas dependências do Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

A dosagem da argamassa corresponde ao traço empregado, sendo esta a expressão numérica em peso ou em volume das proporções de cimento e agregado miúdo que devem ser misturados. A dosagem pode ser empírica e racional. Neste trabalho, partiu-se para a dosagem racional, com fim de se obter determinada resistência da argamassa tendo-se em vista a consistência desejada. Neste caso, foi fixada a relação a/c da argamassa a ser empregada e buscaram-se as porcentagens do agregado em relação ao cimento, tendo em vista os materiais a serem usados e a plasticidade necessária em cada caso.

Para o experimento em questão, foi adotado o $F_{ck} = 25 \text{ Mpa}$ aos 28 dias e o fator $a/c = 0,40$ (400 ml de água / kg de cimento).

5.1.2. Estudo da primeira dosagem racional

Para a primeira dosagem experimental, em misturador de bancada (Figura 33), juntaram-se as seguintes quantidades de materiais secos: 1 kg de cimento, 2 kg de areia e 0,4 kg de água, correspondendo ao traço em peso de 1:2 com $a/c = 0,4$. Essa mistura mostrou-se muito seca, com pouca trabalhabilidade e de difícil vibração, quando considerado o trabalho de ultrapassar a malha da tela de viveiro.



Figura 33 - Misturador de bancada utilizado no experimento.

O ensaio foi repetido com a adição de aditivo plastificante, na dosagem de 6% do peso do cimento, isto é 60 g. Esse traço resultou numa mistura com boa trabalhabilidade e consistência, cuja argamassa moldada inicialmente conforme Figura 34, adquiriu diâmetro de 189,6 mm, conforme Figura 35, no ensaio Flow Test, de acordo com a NBR 7215/91.



Figura 34 - Equipamento de ensaio de consistência Flow Test com a amostra.



Figura 35 – Medição do diâmetro da amostra após a vibração.

Contudo, neste caso, o traço estudado foi considerado anti-econômico, uma vez que os aditivos são de custo elevado e novos estudos foram necessários.

5.1.3. Estudo da segunda dosagem racional

Para a segunda dosagem experimental, em misturador de bancada, juntaram-se as seguintes quantidades de materiais secos: 1 kg de cimento, 2 kg de areia e 0,45 kg de água, correspondendo ao traço em peso de 1,0:2,0 e $a/c = 0,45$. Esse traço atendeu perfeitamente a trabalhabilidade e vibração, com ótimo adensamento, chegando-se ao diâmetro da amostra igual a 191 mm no Flow Test.

A partir desse traço, passou-se à moldagem dos corpos de prova da argamassa, em cilindros com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, preenchidos em três etapas sucessivas, com apiloamentos, até atingir o topo, respaldado com espátula. Os corpos de prova foram então levados para uma câmara úmida. Após o primeiro dia, os corpos de prova foram mergulhados em tanque com uma solução de água e uma pequena porção de cal para manter o pH do cimento, que é 12 (alcalino), onde permaneceram até os ensaios de rompimento aos 3, 7 e 28 dias (Figura 36).



Figura 36 - Corpos de prova imersos em solução água e cal.

Feitos os cálculos, chegou-se ao seguinte consumo de materiais por unidade de volume: cimento (655 kg/m^3), areia (1310 kg/m^3) e água (295 L/m^3). A relação volumétrica foi: cimento (461 L), areia (922 L) e água (207 L).

5.1.4. Ensaios de compressão da argamassa

Os ensaios de compressão dos corpos de prova (CP), da argamassa prevista para utilização no experimento, foram realizados aos 3, 7 e 28 dias de idade, com a finalidade de se determinar o F_{ck} dos mesmos, de acordo com a NBR 7215/1996, em uma Máquina Universal de Ensaio com capacidade para 1000 kN (Figura 37).



Figura 37 – Máquina Universal de Ensaio em uso no experimento, para a determinação da resistência à compressão.

Os corpos de prova, antes de ensaiados, foram retirados da câmara úmida e levados à sala de ensaio. Em seguida, foram secos e tiveram seus diâmetros médios determinados antes de seus posicionamentos na Máquina Universal de Ensaio.

Os corpos de prova ensaiados no terceiro dia, ou seja, em 21 de outubro de 2012, apresentaram os resultados constantes do Quadro 1 e exemplo de rompimento pode ser observado na Figura 38.

Quadro 1 - Resultados médios do rompimento dos corpos de prova de argamassa correspondente ao 3º dia

Carga (kN)	Diâmetro (cm)	Área da base (cm ²)	Fck -3º dia (MPa)	Fck desejado aos 28 dias	Aditivo
2,56	5,03	19,86	12,9	25	sem
2,76	5,02	19,78	13,9	25	sem
3,25	5,02	19,78	16,4	25	com
3,02	5,02	19,78	15,3	25	com



Figura 38 – Exemplo de um corpo de prova rompido no 3º dia.

Os corpos de prova ensaiados no sétimo dia, ou seja, em 28 de outubro de 2012, apresentaram os resultados constantes do Quadro 2 e exemplo de rompimento pode ser observado na Figura 39.

Quadro 2 - Resultados médios do rompimento dos corpos de prova de argamassa correspondente ao 7º dia

Carga (kN)	Diâmetro (cm)	Área da base (cm ²)	Fck - 7º dia (MPa)	Fck desejado aos 28 dias	Aditivo
4,61	5,01	19,62	23,5	25	sem
4,89	5,00	19,62	24,9	25	sem
5,90	5,04	19,94	29,6	25	com
5,82	5,02	19,78	29,4	25	com



Figura 39 – Exemplo de um corpo de prova rompido no 7º dia.

Os corpos de prova ensaiados no dia 28, ou seja, em 15 de novembro de 2012, apresentaram os resultados constantes do Quadro 3 e exemplo de rompimento pode ser observado na Figura 40.

Quadro 3 – Resultados médios do rompimento dos corpos de prova de argamassa correspondente ao 28º dia

Carga (kN)	Diâmetro (cm)	Área da base (cm ²)	Fck - 28º dia (MPa)	Fck desejado aos 28 dias	Aditivo
6,39	5,00	19,62	32	25	sem
4,98	5,03	19,82	25	25	sem
7,98	5,02	19,78	40	25	com
6,91	5,00	19,62	35	25	com



Figura 40 – Exemplo de corpos de prova rompidos no 28º dia.

Em resumo, tanto as argamassas sem aditivo como as com aditivo atenderam às expectativas do ponto de vista de resistência e desempenho. Dessa forma, como as argamassas sem aditivos, por razões óbvias, são mais econômicas, o traço estudado desta argamassa passou a ser adotado na confecção dos painéis modulares.

5.2 Desempenho estrutural dos painéis modulares.

5.2.1. Ensaio de compressão horizontal

Como descrito no item 4.7.1, os ensaios de compressão horizontal dos painéis foram feitos em um quadro de reação de concreto armado, com capacidade reativa de 400 kN, no Laboratório de Estrutura da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, de acordo com a NBR 6118/2004 (ABNT, 2004). Os painéis cego, com porta e com janela, foram posicionados conforme apresentado nas Figuras 10, 11 e 12.

Nos ensaios foram utilizados um macaco hidráulico com capacidade para 300 kN, uma viga e duas células de carga com capacidade para 100 kN cada, ligadas a dois leitores eletrônicos (Figura 41).



Figura 41 – Leitores eletrônicos das células de carga e macaco hidráulico empregado nos ensaios.

Os dados registrados foram anotados e levados para o software MATLAB, onde foram processados.

Os três tipos de painéis modulares, com mais de 28 dias de idade, foram ensaiados sequencialmente (painel cego, painel com porta e painel com janela), cujos dados complementares podem ser vistos no Quadro 4.

Quadro 4 – Características básicas dos painéis modulares ensaiados

Painel	Dimensão (cm)	Data de fabricação	Data do ensaio	Tipo de ensaio
Parede	105x275x15	21/11/2012	05/03/2013	comp.
Janela	105x275x15	29/11/2012	08/03/2013	comp.
Porta	105x275x15	21/11/2012	12/03/2013	comp.

Os resultados do ensaio com o painel cego, em relação ao seu comprimento total (2,75 m), são apresentados no Quadro 5, cuja montagem pode ser observada na Figura 10.

Quadro 5 - Resultados do ensaio com o painel cego

Carga aplicada (kN)	Deformação ou encurtamento ($\times 10^{-4}$ mm)	Observação
0	0,0	Início do ensaio
50	0,3	
100	0,8	
150	1,1	
200	1,4	Limite de capacidade da célula de carga

Durante o ensaio de compressão do painel cego não foram observados nenhuma deformação visual, flambagem, estalos, fissuração da superfície ou esmagamento de qualquer natureza. A carga máxima aplicada no topo do painel foi de 200 kN, distribuídos na superfície superior do mesmo, por uma viga indeformável de aço, com uma taxa de incremento de 20 kN/s.

Do mesmo modo, os resultados do ensaio do painel com porta, com relação ao seu comprimento total (2,75 m), são apresentados no Quadro 6, cuja montagem pode ser observada na Figura 11.

Quadro 6 - Resultados do ensaio do painel com porta

Carga aplicada (kN)	Deformação ou encurtamento ($\times 10^{-4}$ mm)	Observação
0	0,0	Início do ensaio
50	0,4	
100	1,1	
150	1,5	
200	2,0	Limite de capacidade da célula de carga

Durante o ensaio de compressão do painel com porta não foram observadas quaisquer anomalias, da mesma forma que no ensaio anterior. A carga máxima aplicada no topo do painel foi também de 200 kN, distribuídas na superfície superior do mesmo, por uma viga indeformável de aço, com taxa de incremento de 19 kN/s.

Os resultados do ensaio do painel com janela, com relação ao seu comprimento total (2,75 m), são apresentados no Quadro 7, cuja montagem pode ser observada na Figura 12.

Quadro 7 - Resultados do ensaio do painel com janela

Carga aplicada (kN)	Deformação ou encurtamento ($\times 10^{-4}$ mm)	Observação
0	0,0	Início do ensaio
50	0,4	
100	0,8	
150	1,1	
200	1,7	Limite de capacidade da célula de carga

Da mesma forma que nos ensaios anteriores, durante o ensaio de compressão do painel não foram observados nenhuma deformação visual, flambagem, estalos, fissuração da superfície ou esmagamento de qualquer natureza. A carga máxima aplicada no topo do painel foi de 200 kN, distribuídos na superfície superior do mesmo, por uma viga indeformável de aço, com taxa de incremento de 21 kN/s.

Em resumo, os três ensaios foram limitados pela capacidade da célula de carga, que foi de 200 kN. Como se pode observar nos Quadros 5, 6 e 7, as deformações, quando comparadas com as cargas, apresentaram-se aproximadamente lineares, indicando estarem dentro do intervalo linear de deformações, ou seja, dentro de um processo de segurança e bem distante de uma possível ruptura. Além do mais, o carregamento máximo imposto foi superior a 13,5 kN, carga considerada de projeto em cada painel, para residência de um pavimento.

5.2.2. Ensaio de impacto de corpo duro

Para o teste de resistência do painel modular ao impacto de corpo duro, utilizou-se o equipamento mostrado na Figura 42, com o painel posicionado na horizontal.



Figura 42 – Equipamento e painel preparado para o ensaio de corpo duro.

O aparelho possui uma torre com três metros de altura, com tubo transparente graduado até 1,50 m de altura, por onde é liberado o projétil de ponta semicircular com diâmetro de 50 mm e peso de 10 N, das alturas de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m, 10 vezes consecutivas sobre o mesmo ponto da superfície do painel.

O Quadro 8 apresenta a relação entre os impactos e a energia correspondente.

Quadro 8 – Energia correspondente aos impactos no ensaio de corpo duro

Impactador	Massa (kg)	Altura (m)	Energia (J)
Corpo duro de aço - 10 impactos	1,0	0,5	5
	1,0	1,0	10
	1,0	1,5	15

A partir das informações contidas no item 4.7.2, os painéis cegos foram ensaiados em três pontos da superfície (A, B e C), na horizontal, pontos estes equidistantes de 0,69 m entre si e na extremidade. A Figura 43 mostra o equipamento posicionado sobre o painel modular para ensaio de corpo duro e a Figura 44 mostra o impactador metálico.



Figura 43 – Equipamento posicionado sobre o painel modular para ensaio de corpo duro.



Figura 44 - Impactador metálico utilizado no ensaio.

Nas Figuras 45 e 46, observam-se as deformações superficiais causadas pelo impactador, quando liberado de determinada altura.



Figura 45 – Deformação superficial causada pelo impactador.



Figura 46 – Deformação superficial após 10 impactos de três alturas consecutivas.

Inicialmente os ensaios foram conduzidos com 10 quedas no ponto A (para uma altura de 0,5 m), no ponto B (para uma altura de 1,0 m), e no ponto C (para uma altura de 1,5 m).

No Quadro 9 estão apresentados os resultados de afundamentos superficiais e nível de desempenho correspondentes aos três pontos ensaiados.

Quadro 9 – Resultados de afundamentos superficiais e desempenho para os pontos A, B e C, nos ensaios de corpo duro

Altura(m)	Energia (J)	Nº de impactos	Afundamento (mm)	Ruína	Desempenho
0,5	5	10	0,1 pontos A	N	Superior
1,0	10	10	2,0 ponto B	F	Superior
1,5	15	10	3,5 ponto C	F	Superior

N corresponde à não observação de falhas e F corresponde a observação de falhas, contudo, ambos permitem caracterizar o desempenho da superfície como superior.

Em seguida, foi escolhido o ponto A para a realização de 10 quedas consecutivas, em três alturas consecutivas, no mesmo ponto, para verificar a resistência superficial sob condições muito severas. Dessa forma, para a última altura correspondeu um aprofundamento cumulativo devido a um total de 30 impactos. O Quadro 10 contém os resultados do ensaio.

Quadro 10 - Resultados de afundamentos superficiais cumulativos e desempenho, para o ponto A, após 10 impactos para cada altura, no ensaio de corpo duro

Ponto	Massa (kg)	Altura (m)	Energia (J)	Afundamento (mm)	Desempenho
A	1,0	0,5	5	0,1	Superior
A	1,0	1,0	10	2,0	Superior
A	1,0	1,5	15	7,6*	Insuficiente

(*) Com um afundamento de 7,6 mm, após 30 impactos, ocorreu o transpasse do projétil com relação à superfície, situação que caracteriza a superfície como “insuficiente”.

Como pode ser observado no Quadro 10, o conjunto de 30 impactos a diferentes alturas, sobre o mesmo ponto, foi capaz de perfurar o painel, indicando vulnerabilidade, caso o mesmo seja submetido a condições muito severas, o que é pouco provável.

De forma geral, a superfície do painel mostrou-se adequada, com ótimo desempenho, para a finalidade a que se propõe, ou seja, parede residencial.

5.2.3. Ensaio de compressão vertical

Como o ensaio de compressão do painel modular inteiro não atingiu a ruptura do mesmo, optou-se por fazer também a estimativa de sua resistência utilizando-se prismas.

A estimativa da resistência de paredes pelo ensaio de prismas é o procedimento adotado pela NBR 10837, sendo também permitido pelo ACI 530.

Para o ensaio, o painel foi desmembrado em prismas de 15 cm x 25 cm x 65 cm, o que foi de fácil manuseio, por pesar apenas 1,27 kN cada um (Figura 14).

O equipamento (Figura 15) foi programado para carga máxima de 540 kN, 90% de sua capacidade total.

Os resultados dos ensaios são apresentados nas Figuras 47 e 48.

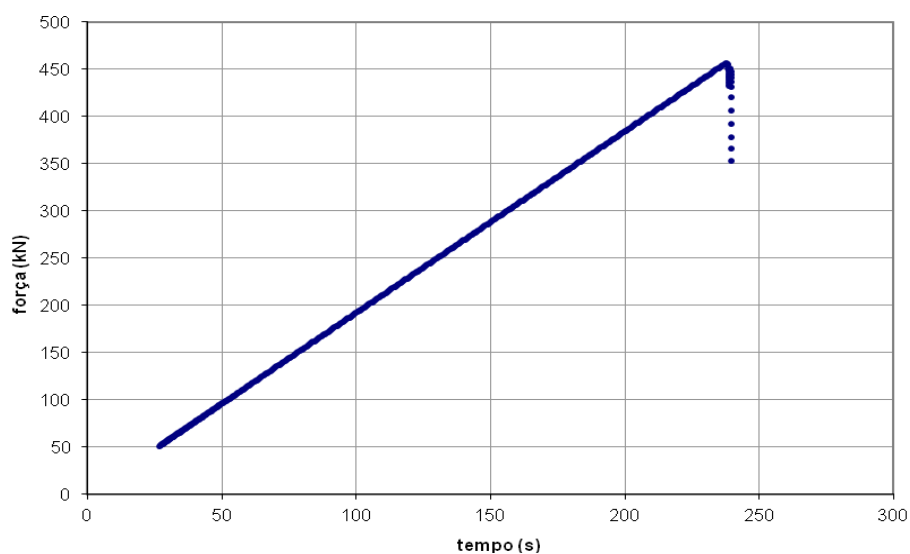


Figura 47 – Gráfico do carregamento em função do tempo de aplicação.

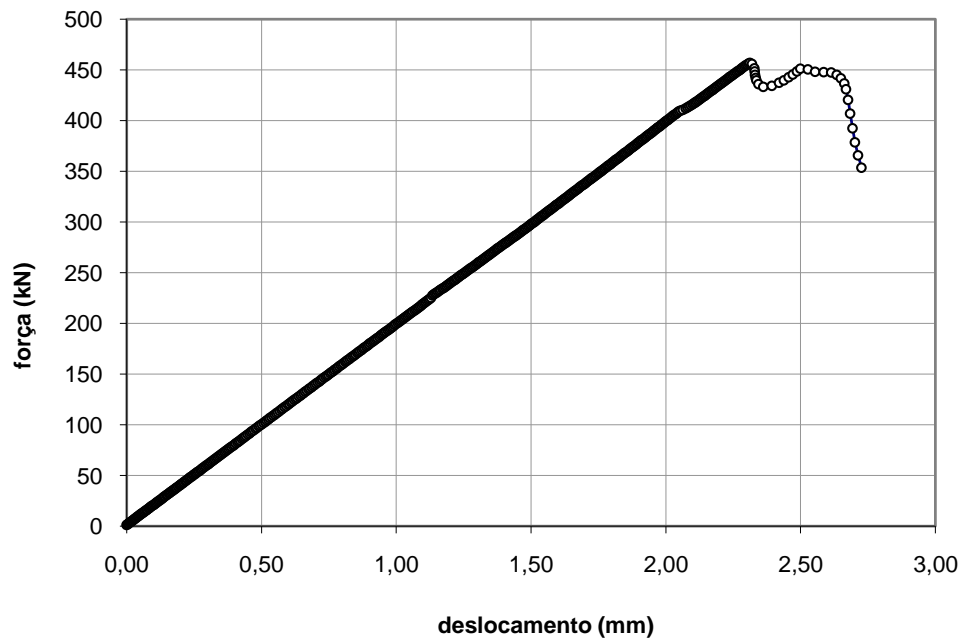


Figura 48 – Gráfico do carregamento em função da deformação de encurtamento.

Como se pode observar na Figura 50, ocorreu a ruptura do corpo de prova (prisma) com um carregamento em torno de 456,8 kN. A ruptura do corpo de prova pode ser observada na Figura 49.



Figura 49 – Corpo de prova com fissuração, rompido por compressão.

Com base na carga de ruptura, foi possível calcular a carga correspondente caso o painel fosse inteiro (Apêndice D). O valor de carga que o painel suportaria, caso fosse inteiro, seria de 319,76 kN. Ou seja, caso o

ensaio de compressão horizontal do painel inteiro pudesse continuar, provavelmente o mesmo romperia com a mencionada carga. Estes resultados permitiram considerar que o painel modular testado é adequado para a utilização em paredes de residências de até dois pavimentos.

5.2.4. Ensaio de flexão do painel de laje

Os ensaios de flexão do painel de laje foram conduzidos conforme descrito no item 4.7.4.

Neste sentido, na Figura 50 pode-se visualizar ensaio de flexão de painel modular na horizontal, sendo carregado no centro, conforme preconizado no mencionado item. Na Figura 51 é mostrado o posicionamento do relógio comparador, sob o painel modular em teste, para a determinação da flecha. Na Figura 52 é mostrado o apoio semicircular, conforme determina a norma ABNT 611803/2004.



Figura 50 – Ensaio de Flexão de um painel modular na horizontal, sendo carregado no centro.



Figura 51 – Posicionamento do relógio comparador sob o painel modular, para a determinação da flecha.



Figura 52 - Apoio lateral semicircular do painel modular, conforme determina a norma ABNT 611803/2004.

No Quadro 11 são apresentados os resultados do ensaio de flexão de um painel modular típico de laje. Neste ensaio, a distância entre apoios foi de 2,48 m e o carregamento foi central.

Quadro 11 - Resultados de deformação, flecha, do ensaio de flexão de um painel modular típico de laje

Carga aplicada (kN)	Deslocamento vertical (mm)
0	0,00
1	0,19
2	0,40
3	0,59
4	0,78
5	0,98
6	1,10
7	1,30
8	1,50

A partir dos resultados do Quadro 11, obteve-se a Figura 53, na qual é apresentado o gráfico de carga e deformação do painel modular típico, funcionando como laje, em teste de flexão.

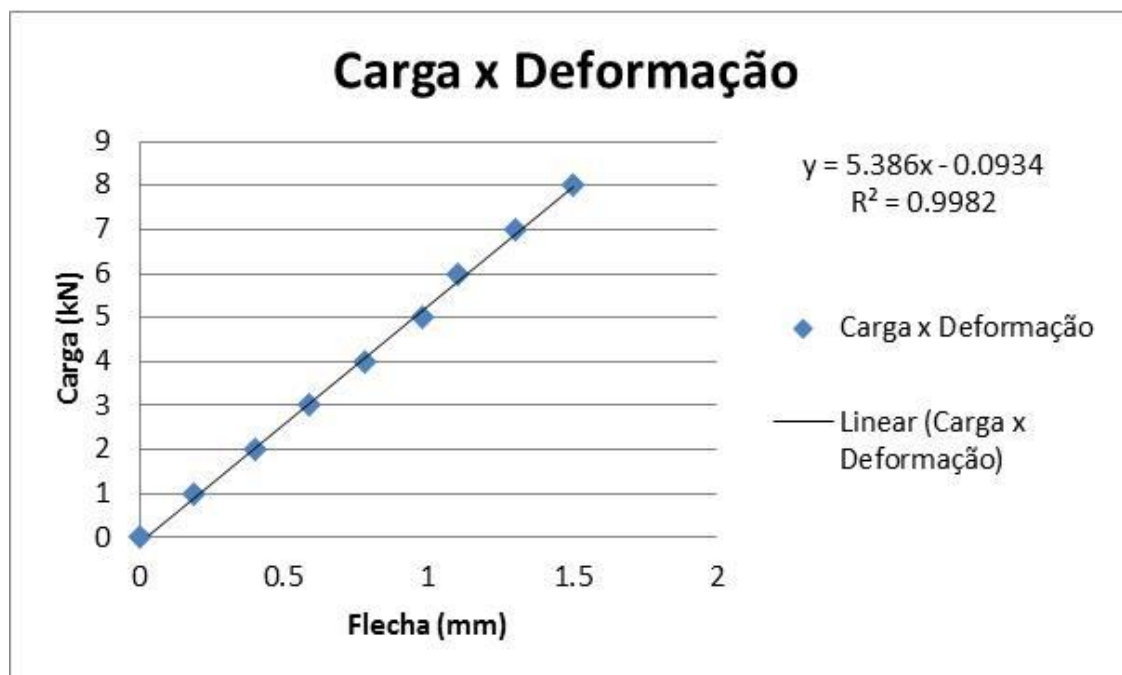


Figura 53 – Gráfico de carga e deformação do painel modular típico, funcionando como laje, em teste de flexão.

Como se pode observar na Figura 55, o carregamento máximo de teste foi de 8 kN, o que corresponde a 3,07 kN/m², caso o carregamento fosse considerado uniformemente distribuído. Este valor é superior ao preconizado em norma para uma laje de piso com acesso ao público. Desta forma, o painel

atende com folga para sua utilização como laje de uma casa residencial, mesmo sendo de piso.

5.2.5. Ensaio de cisalhamento do painel laje

O ensaio foi conduzido conforme descrito no item 4.7.5, com a carga aplicada a uma distância igual a $2,5 h$ do apoio, em que h é a espessura do painel. Outra característica do ensaio foi aplicação da carga sobre toda a largura da seção da laje (linha branca que se pode observar na Figura 54).



Figura 54 – Linha branca onde foi aplicado o carregamento.

No Quadro 12 são apresentados os resultados de deformação, no ensaio de cisalhamento de um painel modular típico de laje, imediatamente abaixo do local de aplicação da carga. Neste ensaio, a distância entre apoios continuou a ser de 2,48 m e o carregamento foi aplicado a 37,5 cm de um dos apoios.

Quadro 12 - Resultados de deformação, no ensaio de cisalhamento de um painel modular típico de laje, imediatamente abaixo do local de aplicação da carga

Carga aplicada (kN)	Deslocamento vertical (mm)
0	0
1	0,09
2	0,20
3	0,29
4	0,35
5	0,49
6	0,55
7	0,65
8	0,75

A partir dos resultados do Quadro 12, obteve-se a Figura 55, que mostra o gráfico de carga e deformação do painel modular típico, funcionando como laje, em teste de cisalhamento, conforme apresentado a seguir.

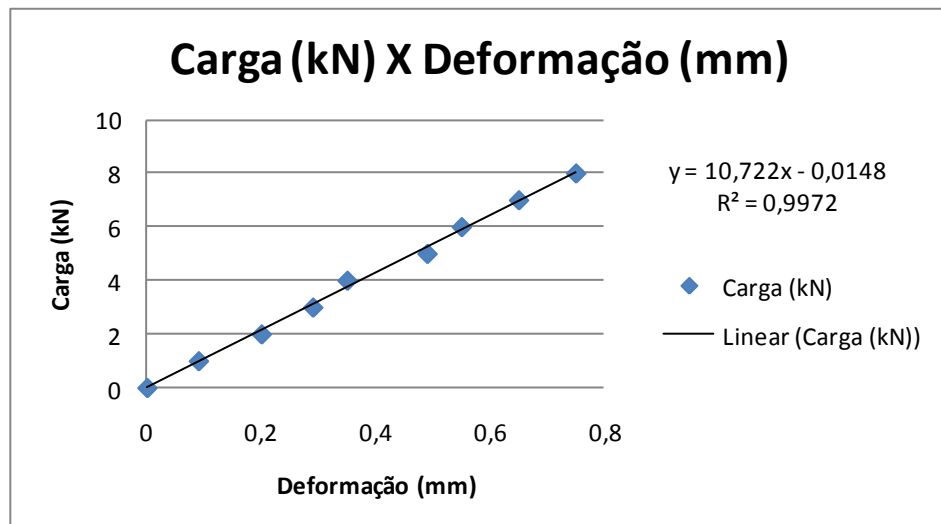


Figura 55 – Gráfico de carga e deformação do painel modular típico, funcionando como laje, em teste de cisalhamento.

Como se pode observar na Figura 57, o carregamento máximo de teste foi de 8 kN, para deslocamento vertical de 0,8 mm. Ainda dentro de uma região de linearidade, demonstrando que o carregamento foi ainda inferior àquele que

poderia ultrapassar o ponto limite de proporcionalidade, demonstrando certa segurança do processo. Contudo, o valor máximo imposto foi superior ao preconizado em norma para uma laje de piso com acesso ao público. Desta forma, o painel atende com folga para sua utilização como laje de casa residencial, mesmo sendo de piso.

6. CONCLUSÃO

O painel de argamassa armada, para atender à medida modular de 1,05 m foi definido para ser construído com 1,04 m de largura, 2,75 m de altura, 0,15 m de espessura e com sistema fêmea nas extremidades laterais e superior.

O traço da argamassa em peso, para atender à trabalhabilidade, adensamento, $F_{ck} = 25 \text{ Mpa}$ aos 28 dias e economicidade, correspondeu a 1:2 e fator $a/c = 0,45$.

Os painéis modulares submetidos a ensaios de compressão horizontal foram testados até 200 kN, capacidade da célula de carga, apresentando deformações lineares, indicando estarem dentro do processo de segurança e bem distante de uma possível ruptura.

Os ensaios de compressão vertical, por meio de prismas, permitiram inferir uma resistência de ruptura de 319,76 kN para os painéis, assim como a possibilidade de utilização dos mesmos em paredes de residências de até dois pavimentos.

Nos ensaios de impacto de corpo duro, as superfícies dos painéis se mostraram-se adequadas, com ótimo desempenho, para a finalidade a que se propõem que são paredes residenciais.

Os ensaios de flexão e de cisalhamento dos painéis de laje, com carregamento máximo de 8 kN e deslocamentos verticais adequados, permitiram concluir que a laje pode ser utilizada como piso, inclusive para acesso ao público.

A alvenaria com painéis teve o seu custo cerca de 2,5 vezes menor que as alvenarias convencionais.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, Alex Kenya. O papel do estado na habitação. **Revista Habitare**, ano 1, ago. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. **Classificação do PET**. Disponível em: <www.abipet.com.br>. Acesso em: 20-03-2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Projeto de Normas nº 02: 136.01-001 – **Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: parte 1 - Requisitos gerais**, Rio de Janeiro, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Projeto de normas nº 02: 136.01.002- **Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: parte 2 - Estruturas**, Rio de Janeiro, 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Projeto de normas nº 02: 136.01.004 - **Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: parte 4 - Fachadas e paredes internas**, Rio de Janeiro, 2004c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Coordenação modular da construção - Procedimentos**, Rio de Janeiro, 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Síntese da coordenação modular**, Rio de Janeiro, 1975.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI – 530. **Building code requirements for masonry structure**, 1992.
- BANET. **Concreto**. Disponível em: <www.banet.com.br> Acesso em: 15-03-2013
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION - BS5628. **Code of practice for structural use masonry-unreinforced masonry - Part 1**, 1992

- BRUNA, P.J.V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento - Perspectiva**. São Paulo, 1976.
- COSTA, G. P. **Potencial de uso agrícola das terras e diagnóstico**. São Paulo, 2004.
- FOLZ, R. R. **Mobiliário na habitação popular - Discussão e alternativa para melhoria da habitabilidade**, São Carlos, 2003.
- GREVEN, H. A.; BAALDAUF, A. S. F. **Introdução a coordenação modular da construção no Brasil** - Uma abordagem atualizada. Coleção Habitare/FINEP. Porto Alegre, 2007.
- COSTA JUNIOR, T. F. C. e SILVA, A. F. S. **Emprego de fôrmas de madeira em estruturas de concreto** Artigo de graduação, Escola de Engenharia, Universidade Católica de Salvador. Salvador, 2008,13p.
- LERNE, J. **Reforma agrária em destaque: Vilas rurais**, Revista Agroanalysis, v16, n3, p14-31 1996.
- MARTUCCI, R. **Projeto tecnológico para edificação habitacional --Utopia ou desafio?**, Tese de doutorado em arquitetura - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAUUSP. São Paulo,1990.
- MASCARENHAS, A. C. **Fôrmas para concreto**. UFBA. Bahia, 1989.
- NBR 5706 /1977 **Coordenações Modular Procedimentos** Rio de Janeiro, 1977.
- NBR 5725 /1992 **Ajustes modulares e tolerância**. Rio de Janeiro, 1992.
- NBR 6118-/2004 **Projeto de estrutura de concreto armado**, Rio de Janeiro, 2004.
- NBR 7211/2005 **Agregados para concreto-Especificação** Rio de Janeiro, 2005,11p
- NBR7215/1996 **Determinação da resistência a compressão**. Rio de Janeiro, 1987.

- NBR 7216/1987 **Composição granulométrica de agregados para concreto e argamassa** Rio de Janeiro, 1987.
- NBR 7217/1987 **Agregados Determinação da composição granulométrica** Rio de Janeiro , de 1987.
- NBR 7218 **Determinação do teor de argila e materiais friáveis.** Rio de Janeiro 1987.
- NBR 7219 **Determinação do teor de material pulverulento em agregados miúdo.**Rio de Janeiro,1987.
- NBR 7221/1987 **Ensaio de qualidades da areia.** Rio de Janeiro,1987
- NBR 7251/1987 **Determinação da massa unitária do agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 1987.
- NBR 9062/2007 **Projeto e execução de estruturas pré-moldadas,** Rio de Janeiro, 2007.
- NBR 11675/1990 **Divisórias internas leves, modulação verificação da resistência** Rio de Janeiro, 1990.
- NBR11173/1990 **Projeto e execução de argamassa armada,** Rio de Janeiro 1990.
- NBR15575/2010 **Edifícios habitacionais até 5 pavimentos** desempenho: Parte 1 requisitos Gerais, Rio de Janeiro, 2010. Parte 2 sistemas estruturais, Rio de Janeiro, 2010. Parte 4 Vedações internas e externas, Rio de Janeiro, 2010. Parte 5 Coberturas, Rio de Janeiro, 2010.
- NBR 15 873/2010 **Coordenação modular da construção civil,** Rio de Janeiro, 2010.
- ORDÓÑES, J. A. F. **Prefabricación: Teoria e práctica,** Barcelona, ES, Tomo 1, Editores Técnicos Asociados S.A ,1974.
- PARANÁ, **Projeto Paraná 12 Meses - Manual operativo:** Curitiba 1996, 286p.

- PEIXOTO, R. A. F. **Desenvolvimento de placas de concreto leve aplicado a coberturas de instalações para produção animal.** Projeto de pesquisa do Departamento de Engenharia Agrícola, UFV. 2002.
- PETRUCELLI, N. S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas.** Dissertação de mestrado. UFSCar, São Carlos. São Paulo, 2009, 106f.
- PROVENZANO, T. L. **Desenvolvimento de sistema construtivo em painéis pré-fabricado de argamassa e garrafa plástico para habitação de interesse social.** Dissertação de Mestrado. UFSC, Santa Catarina, 2006.
- RAMALHO, M. **Projeto de edifício de alvenaria estrutural.** Ed.PINI Ltda. São Paulo, 2003.
- RAVEL, M. **La prefabricación em la construcción,** 1 ed. Bilbao: Urmo, 457p.1973.
- ROBALINHO, V. C. **Loteamento proletário e autoconstrução - um estudo de casos no Rio de Janeiro.** Dissertação de mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia - COPPE, PUR, UFRJ, Rio de Janeiro, 1980.
- ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular.** FAUUSP, São Paulo, 1976.
- ROSSO, T. **Racionalização da Construção.** FAUUSP, São Paulo, 1980.
- VASCONCELOS, A.C. **O concreto no Brasil - Pré-fabricação de monumentos e fundações.** Vol.III. Studio Nobel. São Paulo, 2002.

APÊNDICE

Apêndice A - Composição dos Custos da Fôrma

A composição dos custos da fôrma utilizada neste trabalho está discriminada na Tabela 1A.

De acordo com esta composição, o custo da fôrma por metro quadrado de construção será, então:

$$C_{uc} = \frac{C_t}{A_c} \quad (1)$$

Em que:

C_{uc} - Custo unitário da construção, R\$.m⁻²;

C_t - Custo total da construção, R\$;

A_c - Área construída, m².

Tabela 1A - Composição dos custos da fôrma utilizada na construção do protótipo da construção proposta

Material	Unid.	Quant.	Preço unit. (R\$)	Preço total (R\$)
Peça de Pinus 15x6	m	8,32	9,30	77,37
Tubo de PVC rígido	ud	1	49,00	49,00
Aço CA50-10 mm	m	1,8	2,95	5,31
Unidades	ud	6	1,80	10,80
Parafusos/fim 5/16"	m	2,4	3,50	8,40
Porca sextavada 5/16"	ud	4	0,80	3,20
Arruela 5/16"	ud	4	0,15	0,60
Fita metálica	ud	6	0,50	3,00
Prego 17x21	kg	1	9,50	9,50
Parafuso 5/16"	ud	12	0,95	11,40
Sarrafo 3x6	m	6,3	2,30	13,80
Madeirite	m ²	1,46	21,11	30,82
Prego 12x12	kg	1	15,00	15,00
Carpinteiro	h	2,50	5,20	13,00
Servente	h	2,00	3,50	7,00
Total				258,20

Custo/m² 258,20/2,88 = 89,65

Utilização 20 vezes 258,20/20=12,91

Apêndice B - Peso do painel cego

Os dados para cálculo do peso do painel cego (parede) estão na Tabela 1B.

Tabela 1B - Dados necessários para cálculo do peso do painel cego (parede)

Elementos	Quantidade (ud)	Dimensões (m)	Volume (m ³)
Painel	1	0,15 × 1,05 × 2,75	0,43
Fêmeas	1	3,14 × 0,0375 ² × 2,75	0,01
Vazios	8	3,14 × 0,05 ² × 2,75	0,17

De acordo com os dados da Tabela 2, a quantidade de argamassa usada será:

$$Q_{\text{arg}} = (0,43 - 0,01 - 0,17) \text{m}^3 = 0,25 \text{m}^3 \quad (3)$$

O peso específico da argamassa armada, γ_{arg} , é igual a $21 \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$.

Portanto, o peso do painel, P_{pn} , será igual a:

$$P_{\text{pn}} = Q_{\text{arg}} \cdot \gamma_{\text{arg}} = 0,25 \text{m}^3 \cdot 21 \text{kN} \cdot \text{m}^{-3} = 5,25 \text{kN} \quad (4)$$

De mesma forma, o peso do painel com porta será de 2,88 kN e do painel com janela, 4,9 kN.

A Tabela 3 contém a comparação do peso do painel de garrafas de plástico (PET) desenvolvido neste trabalho com painéis de tamanho idêntico fabricados com outros materiais.

Tabela 2B - Comparação do peso do painel desenvolvido neste trabalho com painéis fabricados com outros materiais

Material do painel	Espessura (m)	Peso (kN)
Garrafas PET		5,25
Tijolo furado		5,59
Tijolo maciço		7,74

Apêndice C - Custo da Armadura

1) Painel cego

Estribos transversais 12 x 2,25m = 27m
 Estribos longitudinal 6 x 5,70m = 34,20m
 Total= 61,20m \square 12m = 6 barras de 4.2mm

Tabela 1C - Orçamento das ferragens desse painel.

Item	Material	Unidade.	Quantidade.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
01	Aço 4.2mm	Barra	6,00	15,00	75,00
02	Arame recozido	Kg	0,25	8,00	2,00
03	Tela#15x15	m	5,40	6,00	32,40
04	Armador	h	0,6	5,20	3,12
05	Servente	H	0,6	3,50	2,10
06				Total	114,63

Custo/m² 114,63/2,88m² = R\$ 39,79

2) Painel esquadria janela

Estribos transversais 7x 2,25m = 15,75m
 Estribos longitudinais (6x2,2)=(6x 1,5) = 22,2m
 Total = 37,95m =3 barras de 4.2mm

Tabela 2C - Orçamento das ferragens desse painel

Item	Material	Unidade	Quantidade.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
01	Aço 4.2mm	barra	3,00	15,00	45,00
02	Arame recozido	kg	0,60	8,00	4,80
03	Tela#15x15	M	3,20	6,00	19,20
04	Aço 5/16"	barra	2,00	21,00	42,00
04	Armador	H	0,74	5,20	3,89
05	Servente	H	0,74	3,50	2,59
06				Total	117,48

Custo/m² 117,48/2,88m² = R\$40,79

3) Painel esquadria porta

Estribos transversais	3x 2,25m =	6,75m
Estribos longitudinais	6x 1,50m =	9,00m
Total	=	15,75m/12 = 1,5 barras de 4.2mm
Verga e pilares	=	37,80m/12 = 3,5 barras de 5/16"

Tabela 3C - Orçamento das ferragens desse painel

Item	Material	Unidade.	Quantidade.	Preço unitário (r\$)	Preço total (R\$)
01	Aço 4.2mm	barra	1,50	15,00	22,50
02	Arame recozido	kg	1,00	8,00	8,00
03	Tela#15x15	M	1,20	6,00	7,20
04	Aço 5/16"	barra	3,50	21,00	73,50
04	Armador	H	1,68	5,20	8,73
05	Servente	H	1,68	3,50	5,88
06				Total	125,81

Custo/m² 125,81/2,88m² = R\$43,68

Custo da Argamassa para Cada Painel

1) Painel cego (parede)

Volume de argamassa 0,25m³, com 3 sacos de cimento e 14 latas de areia que corresponde a(14 x 0,018m³) = 0,25m³

Tabela 4C - Orçamento da argamassa desse painel

Item	Material	Unidade.	Quantidade.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
01	areia	m ³	0,25	58,33	14,69
02	cimento	sc	3,00	21,00	63,00
03	betoneira	h	2,00	7,50	15,00
04	vibrador	h	1,00	6,25	6,25
04	Pedreiro	h	1,5	5,20	7,80
05	Servente	H	1,5	350	5,25
06				Total	111,99

Custo/m² 111,99/2,88 = R\$38,88

2) Painel esquadria janela

Volume de argamassa 0,18m³ com 2,3 sacos de cimento e 10,3 latas de areia que corresponde a $(10,3 \times 0,018) = 0,18\text{m}^3$ 1 lata= 0,018m³

Tabela 5C - Orçamento da argamassa desse painel.

Item	Material	Unidade.	Quantidade.	Preço unitário (r\$)	Preço total (R\$)
01	areia	m ³	0,18	58,33	10,49
02	cimento	sc	2,30	21,00	48,30
03	betoneira	h	2,00	7,50	15,00
04	vibrador	h	1,00	6,25	6,25
04	Pedreiro	h	1,5	5,20	7,80
05	Servente	H	1,5	3,50	5,25
06				Total	93,09

Custo/m² 93,09/2,88 = R\$32,32

3) Painel esquadria Porta

Volume de argamassa 0,12m³ com 1,5 sacos de cimento e 6,7 latas de areia que corresponde a $(6,7 \times 0,018\text{m}^3) = 0,12\text{ m}^3$

Tabela 6C - Orçamento da argamassa desse painel

Item	Material	Unidade.	Quantidade.	Preço unitário (r\$)	Preço total (R\$)
01	areia	m ³	0,12	58,33	6,99
02	cimento	sc	1,50	21,00	31,50
03	betoneira	h	2,00	7,50	15,00
04	vibrador	h	1,00	6,25	6,25
04	Pedreiro	h	1,5	5,20	7,80
05	Servente	H	1,5	3,50	5,88
06				Total	72,79

Custo/m² 72,79/2,88 = R\$ 25,27

Custo Total de Cada Painel

Fôrma + armadura + argamassa

Painel cego	(12,91 +114,63 +111,99) = R\$ 239,53.
Painel esquadria janela	(12,91 +117,48 +93,09) = R\$ 223,48
Painel esquadria porta	(12,91 + 125,81+72,79) = R\$ 211,51

Custo/m² de cada painel.

Painel cego (parede) R\$ 83,17

Painel esquadria janela R\$ 77,59

Painel esquadria Porta R\$ 73,44

Comparando com a construção de painel, com as mesmas dimensões do painel desse trabalho e utilizando outros materiais convencionais temos:

Material	levante	chapisco	reboco	instalação	total
Tijolinho	135,35	37,89	65,17	47,68	286,09
Tijolo Furado	99,58	37,89	65,17	40,52	243,16
Bloco 0,10	84,85	37,89	65,17	20,58	208,49

Apêndice D – Cálculo da Resistência à Compressão, por Meio da Resistência do Prisma

1) Carga aplicada ao prisma (carga última).

$$N = 456800N = 45\,680\text{Kg} = 456,8\text{kN}$$

1) Tensão última no prisma.

$$\sigma_u = \frac{Pu}{A} \quad \text{Onde } A = 384,3\text{cm}^2, \text{ área do prisma}$$

$$\sigma_u = \frac{45680\text{kg}}{384,3\text{cm}^2} = \frac{118,8\text{kg}}{\text{cm}^2} = 11,88\text{MPa}.$$

2) Resistência característica

$$f_k = 0,7 f_p = 0,7 \times 11,88 \text{ MPa} = 8,3 \text{ MPa}. \quad \text{NBR 10 837/89}$$

3) Resistência de cálculo

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{8,3}{2,0} = 4,15 \text{ MPa} \quad \text{NBR 10 837/89}$$

$$0,2F_p \cdot R = 0,7 \times F_{pk} \cdot \frac{R}{\gamma_m \gamma_f} \quad \text{Sendo } \gamma_f = 1,4 \text{ e } \gamma_m = 2,0.$$

$$F_{pk} = 0,8F_p \quad \text{NBR 10 837/89}$$

4) Resistência do painel

$$0,2F_p = \frac{0,7 \times 11,88}{1,4 \times 2,0} = \frac{2,97}{0,2} = F_p = 14,85\text{MPa}.$$

5) Verificação da resistência à compressão

$$\frac{Nd}{A} \leq 1,0 \times \frac{0,7F_{pk} \times R}{\gamma_m} \quad \text{NBR 10 837/89}$$

$$\text{Onde } R = 1 - \left[\frac{\lambda}{40} \right]^3 \text{ e } \lambda = \frac{H_{ef}}{T_{ef}} < 30. \quad \text{NBR 10 837/89}$$

6) Solicitação de cálculo para o prisma

$$N_d = F_d \times A \times R$$

$$\lambda = \frac{275}{15} = 18,33 < 30 \text{ OK!}$$

$$R = 1 - \left[\frac{18,33}{40} \right]^3 = 1 - 0,096 = 0,904$$

$$N_d = 4,15 \times 384,3 \times 0,904 = 14\,413 \text{ kg} = 144,13 \text{ kN}$$

$$\frac{144,13}{384,3} \leq \frac{0,7 \times 11,88 \times 0,0904}{2,0} \quad 3,75 \text{ MPa} \leq 3,75 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

γ_m, γ_f *coeficiente de ponderação da resistência e das ações.*

N_d carga última de cálculo.

A área bruta da seção transversal.

F_{pk} resistência característica de compressão simples do prisma.

F_p resistência média de compressão simples do prisma.

T_{ef}, H_{ef} espessura e altura efetivas

7) Tensão máxima, NBR 10 837/89

$$0,33 \times F_p \leq 6,2 \quad 0,33 \times 14,85 \leq 6,2 \quad 4,9 \text{ MPa} \leq 6,2 \quad \text{ok!}$$

Apêndice E – Projeto Piloto com os painéis modulares

1) Planta baixa do projeto piloto

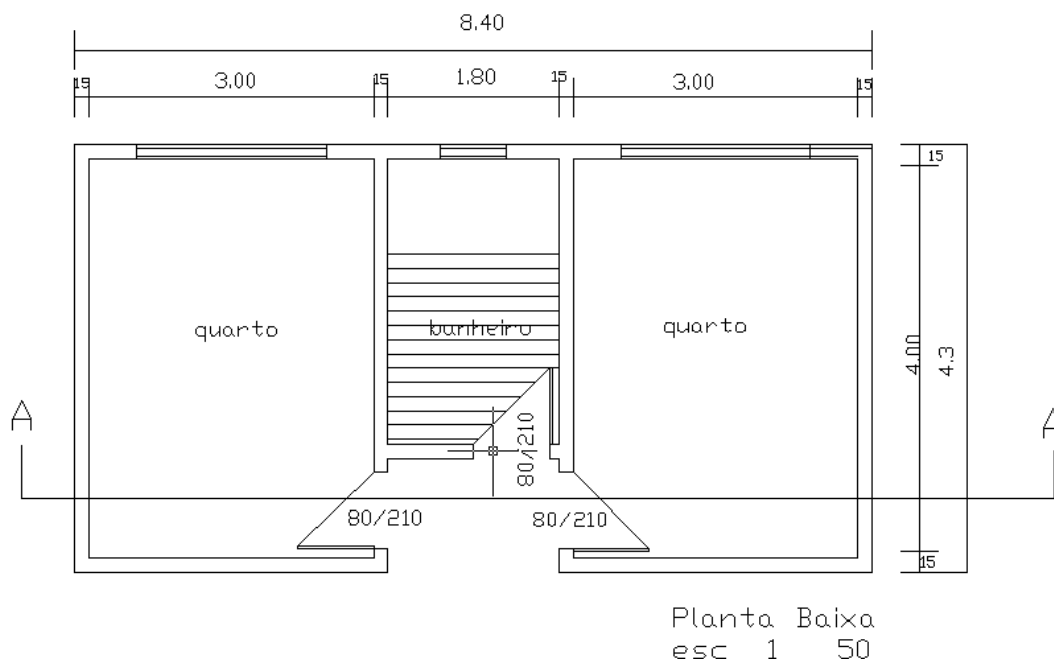
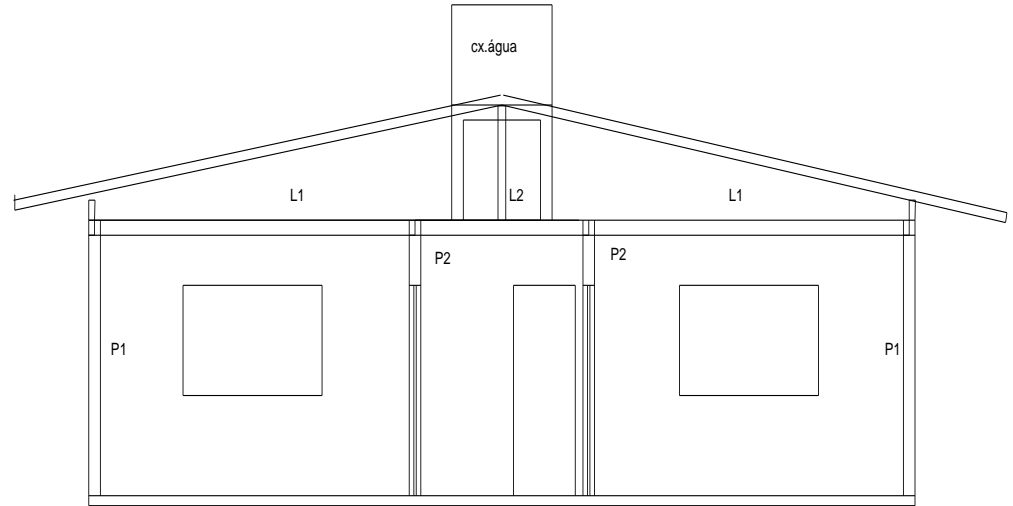


Figura 1E - Planta baixa do projeto piloto.

2) Corte transversal do projeto piloto



corte AA

Figura 2E - Corte esquemático do projeto piloto.

Apêndice F - Painéis modulares

3) Arquitetura dos três painéis que serão utilizados no p o

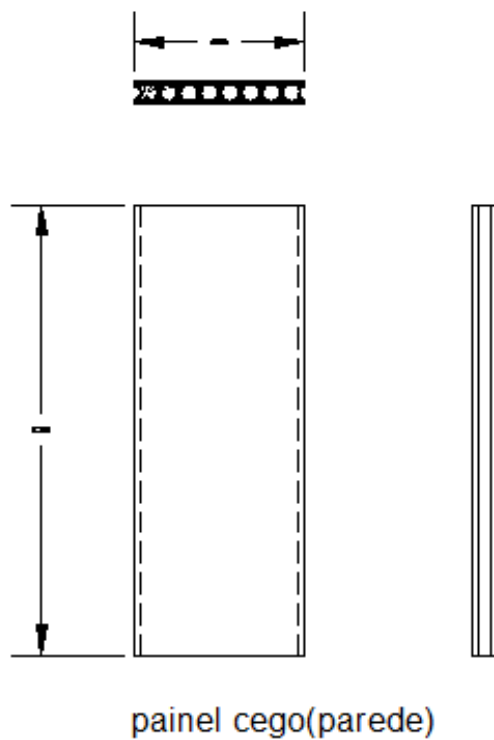


Figura 1F – Desenho do painel cego (parede).

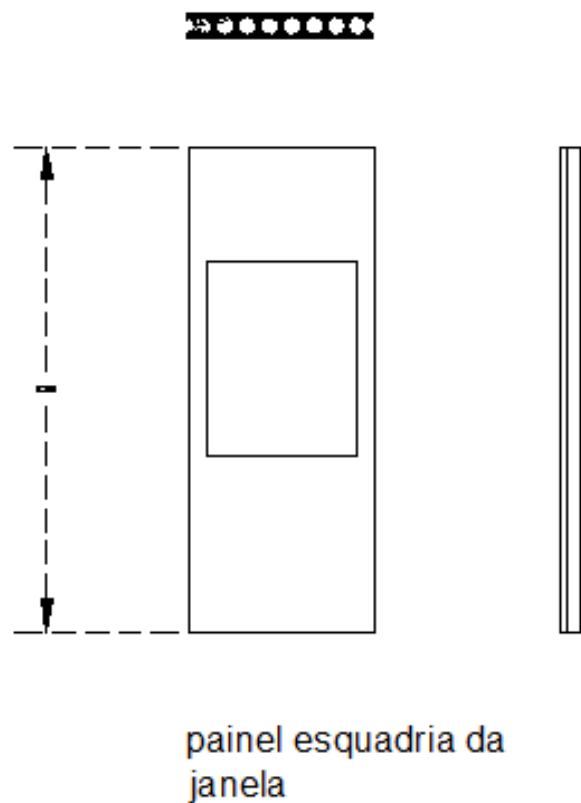
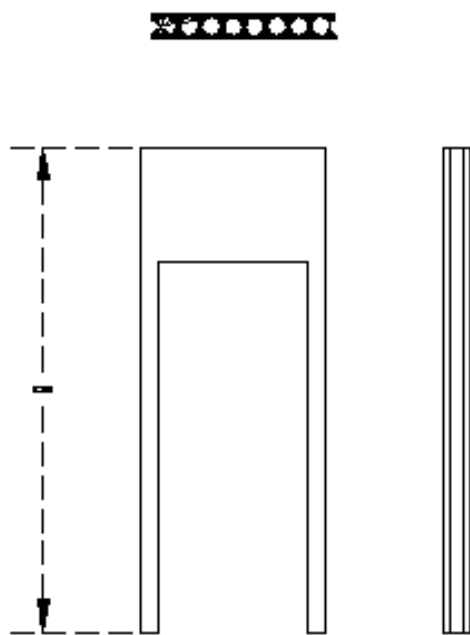


Figura 2F – Desenho do painel com janela.



painel esquadria da porta

Figura 3F – Desenho do painel com porta.

Apêndice G – Esquema de Cálculo do projeto piloto

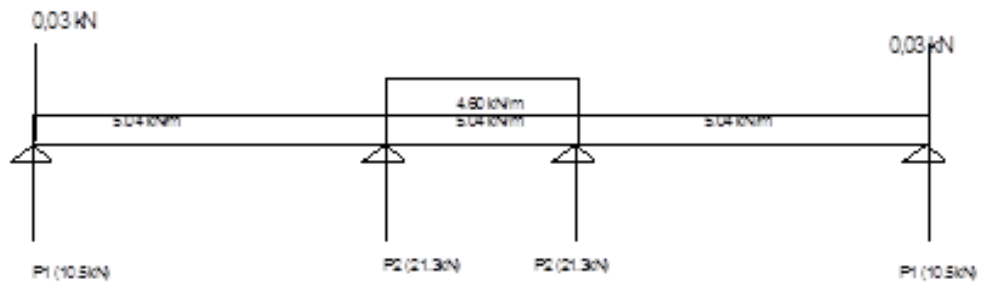


Figura 1G - Esquema de cálculo dos painéis.

1) Características Geométricas do painel

Raio das fêmeas	= 0,0375m
Diâmetro dos alvéolos	= 0,10m
Largura do painel	= 1,05m
Espessura do painel	= 0,15m
Altura do painel.	= 2,75m
Espessura dos talões	= 0,0375m

Aliq. = 903 cm ²	= 0,0903m ²
Ab = 1575cm ²	= 0,1575m ²
P = 248,55cm	= 2,485m
Ix = 0,0006m ⁴	ix = 0,054m
Iy = 0,02m ⁴	iy = 0,300m
Wx = 0,0062m ³	Ymax = 0,095m
Wy = 0,035m ³	Xmax = 0,525m

2) Carregamento vertical da laje 1

$$P_p = 0,09028m^2 \times 21kN/m^3 = 1,89kN/m$$

$$C_p = 0,05m \times 21kN/m^3 = 1,05kN/m$$

$$Rev. = \text{-----}$$

$$S_c = 1,05m \times 2,0kN/m^3 = 2,10kN/m$$

$$\text{Total} = 5,04kN/m$$

3)Carregamento vertical da laje 2.

Laje 1	=5,04kN/m
Cx.agua+estrutura .	=,4,60kN/m
Total	=9,64kN/m

Tabela 1G - Comprimento e carregamento dos painéis

Painel	Comp.(m)	Laje (kN/m)	Pp (kN/m)	Tot.distr. (kN/m)	Total (kN)
P1	1,05	3,15	1,89	5,04	5,29
P2	1,05	7,75	1,89	9,64	10,12

$$3,15(\text{kN})+1,89(\text{kN})=5,04\text{kN}$$

$$1,05(\text{m}) \times 5,04(\text{kN})=5,29\text{kN}$$

4)Momento Max. $Ql^2/8$

$$Pp= 1,89\text{kN/m} \quad M = 1,89 \frac{x^4,15^2}{8} = 4,06\text{kNm}$$

$$Cp =1,05\text{k/m} \quad M = 1,05 \frac{x^4,15^2}{8} = 2,26\text{kN}$$

$$Sc= 2,10\text{kN/m} \quad M = 2,10 \frac{x^4,15^2}{8} = 4,52\text{kNm}$$

$$Cx.=4,60\text{kN/m} \quad M = 4,60 \frac{x^4,15^2}{8} = 2,53\text{kNm}$$

5)Pré-dimensionamento no (ELU)

Y=1, 3 para carga permanente.

Y=1, 4 para carga acidental.

$$M_{max.} = 1,3 \times 4,06 + 1,4(2,26 + 4,52 + 2,53) = 18,31\text{km}$$

$$M_{max.} = 1,3 \times 4,06 + (2,26 + 4,52) = 14,81\text{kNm}$$

6)Tensão Normal

Tabela 11 - Tensão normal nos painéis isolado no térreo

Painel	Carga(kN/m)	Tensão(kN/m ²)	Tensão(MPa)	Resist. Do painel(MPa)
P1	5,04	26,52	0,030	4,90
P2	9,64	50,73	0,051	4,90

$$\sigma = \frac{5,04k \left(\frac{N}{m}\right)}{0,19m} = \frac{26,52kN}{m^2} = 26,52 \frac{x0,1}{100} = 0,026 = 0,03MPa$$

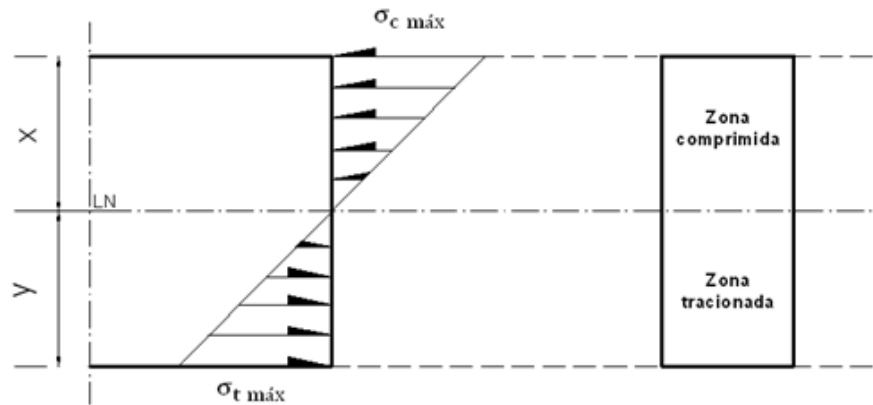


Figura 2G - Diagrama das tensões máximas na seção.

7) Tensão normal de flexão da laje 1

A) laje 1

$$\sigma_{cmax} = \sigma_{tmax} = \frac{M * X}{J}$$

$$\sigma_c = \sigma_{tmax} = \frac{18,31 \times 10^3 N \cdot m \times 0,095 m}{0,0006 m^4} = \frac{1,74 \times 10^3 N}{0,0006 m^2} = \frac{2,9 N}{m^2} = 2900 Pa = 0,003 MPa$$

B) laje 2

$$\sigma_c = \sigma_{tmax} = \frac{14,8 \times 10^3 N \cdot m \times 0,095 m}{0,0006 m^4} = \frac{1,41 \times 10^3 N}{0,0006 m^2} = \frac{2,35 N}{m^2} = 2350 Pa = 0,0023 MPa$$

Supondo a LN passando pela capa de 5 cm de espessura e utilizando dados da tabela B1 anexo B com a Equação A1 Anexo A Carvalho & Figueiredo Filho (2004), tem-se para a laje 1:

$$KMD = \frac{Md}{bd^2 * \frac{Fcd}{1,4}}$$

$$KMD = \frac{91,4 \times 18,310}{1,05 \times (0,24 - 0,025)^2 * 35000} = 25,634 / (1,05 \times 0,215^2 \times 35000) = 0,015$$

E por interpolação temos

$$Kx = 0,099$$

$$Kz = 0,99$$

8) Verificação da posição da LN

$$x = K_x \cdot d = 0,09 \times 0,215 = 0,019 = 1,9 \text{ cm} < 5 \text{ cm}$$

Portanto a LN, passa na capa de concreto sobre o painel laje L1 ok!

E para a laje 2 temo

$$KMD = (14,8 \times 1,4) / (1,05 \times 0,0215^2 \times 35000) = 0,01$$

$$K_x = 0,0148$$

$$K_z = 0,09941$$

Posição da LN

$$x = K_x \cdot d = 0,0148 \times 0,215 = 0,0031 \text{ m} = 0,31 \text{ cm} < 5 \text{ cm}$$

Portanto passa a 0,31 cm na capa ok!

(Petrucci, 2009)

Apêndice H – Valores de KX e KZ

Tabela 1H - Valores de KX e KZ para o cálculo da LN

KMD	KX	KZ	e_c	e_s
0,0100	0,0148	0,9941	0,1502	10,000
0,0200	0,0298	0,9881	0,3068	10,000
0,0300	0,0449	0,9820	0,4704	10,000
0,0400	0,0603	0,9759	0,6414	10,000
0,0500	0,0758	0,9697	0,8205	10,000
0,0550	0,0836	0,9665	0,9133	10,000
0,0600	0,0916	0,9634	1,0083	10,000
0,0650	0,0995	0,9602	1,1056	10,000
0,0700	0,1076	0,9570	1,2054	10,000
0,0750	0,1156	0,9537	1,3077	10,000
0,0800	0,1238	0,9505	1,4126	10,000
0,0850	0,1320	0,9472	1,5203	10,000
0,0900	0,1403	0,9439	1,6308	10,000
0,0950	0,1485	0,9406	1,7444	10,000
0,1000	0,1569	0,9372	1,8611	10,000
0,1050	0,1654	0,9339	1,9810	10,000
0,1100	0,1739	0,9305	2,1044	10,000
0,1150	0,1824	0,9270	2,2314	10,000
0,1200	0,1911	0,9236	2,3621	10,000
0,1250	0,1998	0,9201	2,4967	10,000
0,1300	0,2086	0,9166	2,6355	10,000
0,1350	0,2175	0,9130	2,7786	10,000
0,1400	0,2264	0,9094	2,9263	10,000
0,1450	0,2354	0,9058	3,0787	10,000
0,1500	0,2445	0,9022	3,2363	10,000
0,1550	0,2536	0,8985	3,3391	10,000
0,1600	0,2630	0,8948	3,5000	9,8104
0,1650	0,2723	0,8911	3,5000	9,3531
0,1700	0,2818	0,8873	3,5000	8,9222
0,1750	0,2913	0,8835	3,5000	8,5154
0,1800	0,3009	0,8796	3,5000	8,3106
0,1850	0,3106	0,8757	3,5000	7,7662
0,1900	0,3205	0,8718	3,5000	7,4204
0,1950	0,3305	0,8678	3,5000	7,0919
0,2000	0,3405	0,8638	3,5000	6,7793
0,2050	0,3506	0,8597	3,5000	6,4814
0,2100	0,3609	0,8556	3,5000	6,1971
0,2150	0,3714	0,8515	3,5000	5,9255
0,2200	0,3819	0,8473	3,5000	5,6658
0,2250	0,3925	0,8430	3,5000	5,4170
0,2300	0,4033	0,8387	3,5000	5,1785
0,2350	0,4143	0,8343	3,5000	4,9496
0,2400	0,4253	0,8299	3,5000	4,7297
0,2450	0,4365	0,8254	3,5000	4,5181
0,2500	0,4479	0,8208	3,5000	4,3144
0,2550	0,4594	0,8162	3,5000	4,1181
0,2600	0,4711	0,8115	3,5000	3,9287
0,2650	0,4830	0,8068	3,5000	3,7459
0,2700	0,4951	0,8020	3,5000	3,5691
0,2750	0,5074	0,7970	3,5000	3,3981
0,2800	0,5199	0,7921	3,5000	3,2324
0,2850	0,5326	0,7870	3,5000	3,0719
0,2900	0,5455	0,7818	3,5000	2,9162
0,2950	0,5586	0,7765	3,5000	2,7649
0,3000	0,5721	0,7712	3,5000	2,6179
0,3050	0,5858	0,7657	3,5000	2,4748
0,3100	0,5998	0,7601	3,5000	2,3355
0,3150	0,6141	0,7544	3,5000	2,1997
0,3200	0,6287	0,7485	3,5000	2,0672
0,3300	0,6590	0,7364	3,5000	1,8100
0,3400	0,6910	0,7236	3,5000	1,5652
0,3500	0,7249	0,7100	3,5000	1,3283
0,3600	0,7612	0,6955	3,5000	1,0983
0,3700	0,8003	0,6799	3,5000	0,8732
0,3800	0,8433	0,6627	3,5000	0,6506

Carregamento nos painéis verticais no térreo

Ver tabela abaixo.

Tabela 2H - Carregamento dos painéis vertical no térreo

Painel	Carga (kN/m)	Resultante (kN)	Tensão (kN/m ²)	Tensão (MPa)
P1	10,5	11,0	12,2	0,012
P2	21,3	22,4	24,7	0,025

$$\frac{10,5kN}{m} \times 1,05m = 11,0kN$$

$$\frac{11,0kN}{0,903m^2} = 12, \frac{kN}{m^2} = 0,012MPa$$

Tabela 3H - Carregamento total dos painéis no térreo

Painel	Carga (kN/m)	Próprio (kN/m)	Cinta (kN/m)	Total (kN)	Resultante (kN)
P1	10,50	1,89	0,30	12,70	13,30
P2	21,30	1,89	-----	23,20	24,36

Dados do painel 1(painel externo)

L= 275 cm.

N= 13,3 kN. Digite a equação aqui.

Al= 903 cm².

Fck= 35 MPa.

Aço CA-60 -4.2mm.

Cobrimento 2,5 cm.

Carga de serviço Nd= Nk(*1,4*1,3) =13,3x1,4x1,3=24,2 kN

Nd= Nk(*1,4*1,3) =13,3x1,4x1,3=24,2 kN

Apêndice I – Dimensionamento do painel

Esquema de carregamento do painel

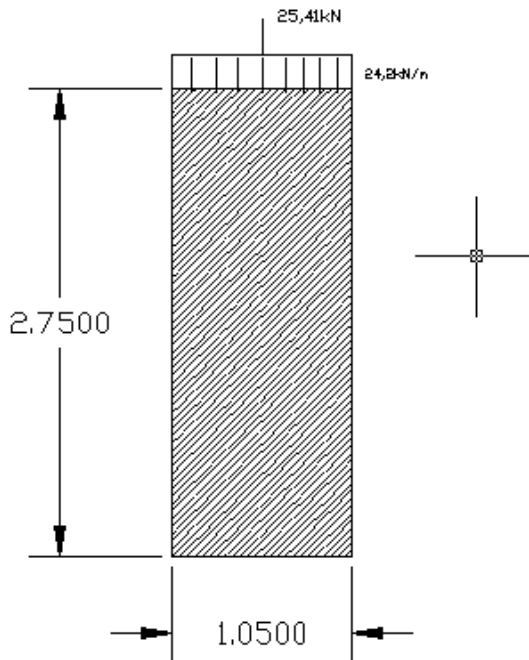


Figura 11 - Carregamento do painel cego.

Dimensionamento como um pilar vazado de 0,15 m x 1,05 m

a) Esbeltez

$$\lambda = \frac{l}{i} \quad \{ix = 5,4 \text{ cm e } iy = 30 \text{ cm}\}$$

$$\lambda_x = \frac{275}{5,4} = 50,9 > 40, \text{ pode flambar nessa direção}$$

$$\lambda_y = \frac{275}{30} = 9,1 < 40. \text{ não flamba nessa direção}$$

Como $40 < \lambda < 80$. Temos:

b) Cálculo de $\ddot{\gamma} \geq 0,7$

$$\ddot{\gamma} = \frac{Nd}{Ac} * Fcd = \frac{24,2 \times 1,4}{0,0903 \times 35000} = 0,01 < 0,7.$$

não pode ser dimensionado à compressão centrada.

c) Flexão em torno de X ($e_2y = 0$) e ($e_1 = 0$)

$$e_{ay} \geq \{2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m} \text{ ou } \frac{h}{30} = \frac{15}{30} = 0,5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m} \quad e_{ay} = 0,02 \text{ m}$$

$$Nd = 24,2 \text{ kN} \times 0,02 \text{ m} = 0,484 \text{ kNm}$$

$$\frac{d'}{h} = \frac{2,5}{15} = 0,16 \text{ usar } d' = 0,15h$$

$$\mu = \frac{0,484 \times 0,02 \times 1,4}{0,0903 \times 0,15 \times 35000} = 2,8 \times 10^{-5}$$

com $\ddot{Y} = 0,01$ e $\mu = 2,8 \times 10^{-5}$ no diagrama de interacción adimensionales

Hormigón Armado p, 18 valores deram fora do diagrama daí utilizar armadura mínima.

$$A(\min) = 0,08\% A_c = (0,08 \times 903 \text{cm}^2) / 100 = 0,72 \text{cm}^2$$

6Ø 4.2mm

c) Tensão Max.

$$\sigma_{max} = \frac{24,2 \times 1,4}{0,0903} = \frac{375 \text{kN}}{\text{m}^2} = 0,37 \text{MPa}$$

d) Estribo

Utilizar Ø=4.2mm c-25.

Dimensionamento como painel utilizando as equações do prisma (ELU)

a) Tensão $\sigma = \frac{24,2 \times 1,4}{0,0903} = 375 \text{kN} = 0,37 \text{MPa}$

$f_k = 0,7 f_p = 0,7 \times 0,37 \text{MPa} = 0,26 \text{MPa}$.

$$f_d = \frac{f_k}{1,4} = \frac{0,26}{1,4} = 0,18 \text{MPa}$$

b) Resistência do painel à compressão

$$0,20 f_p = \frac{0,7 \times 0,37}{1,4 \times 2} \quad f_p = 0,46 \text{MPa}$$

$$f_{pk} = 0,8 f_p = 0,8 \times 0,46 \text{MPa} = 0,37 \text{MPa} = \sigma_{\max}. \text{ ok !!!}$$

c) Verificação da resistência à compressão,

$$\frac{Nd}{A} \leq \frac{1,0 \times 0,7 \times f_{pk} \times R}{\gamma_m}$$

$$Nd = f_d \times A \times R$$

$$R = 1 - \left[\frac{\lambda}{40} \right]^3$$

$$\lambda = \frac{275}{15} = 18,33 < 30 \text{ ok!!-} \quad R = 1 - \left[\frac{18,33}{40} \right]^3 = 1 - 0,091 = 0,904$$

$$Nd = 0,18 \times 903 \times 0,904 = 14,7 \text{kN}$$

$$\frac{14,7}{903} \leq \frac{0,7 \times 0,37 \times 0,904}{2} \quad 0,01 \leq 0,01 \quad \text{ok!!!!}$$

$$\sigma_{\max.} = 0,33f_p \leq 6,2 \quad 0,33 \times 0,46 \leq 6,2 \quad 0,15 \leq 6,2 \quad \text{ok!!!}$$

$$\frac{1,4 \times 24,2}{0,0903} \leq \frac{1,0 \times 0,7 \times f_{pk} \times 0,91}{2}$$

$$750,38 \leq 0,637f_{pk} \quad f_{pk} = 1\,178,39 \text{ kN/m}^2 \quad f_{pk} = 1,2 \text{ MPa}$$

(Ramalho, 2003).

Apêndice J – Detalhamento da ferragem dos painéis

Detalhamento das armaduras dos painéis

a) Painel cego (parede)

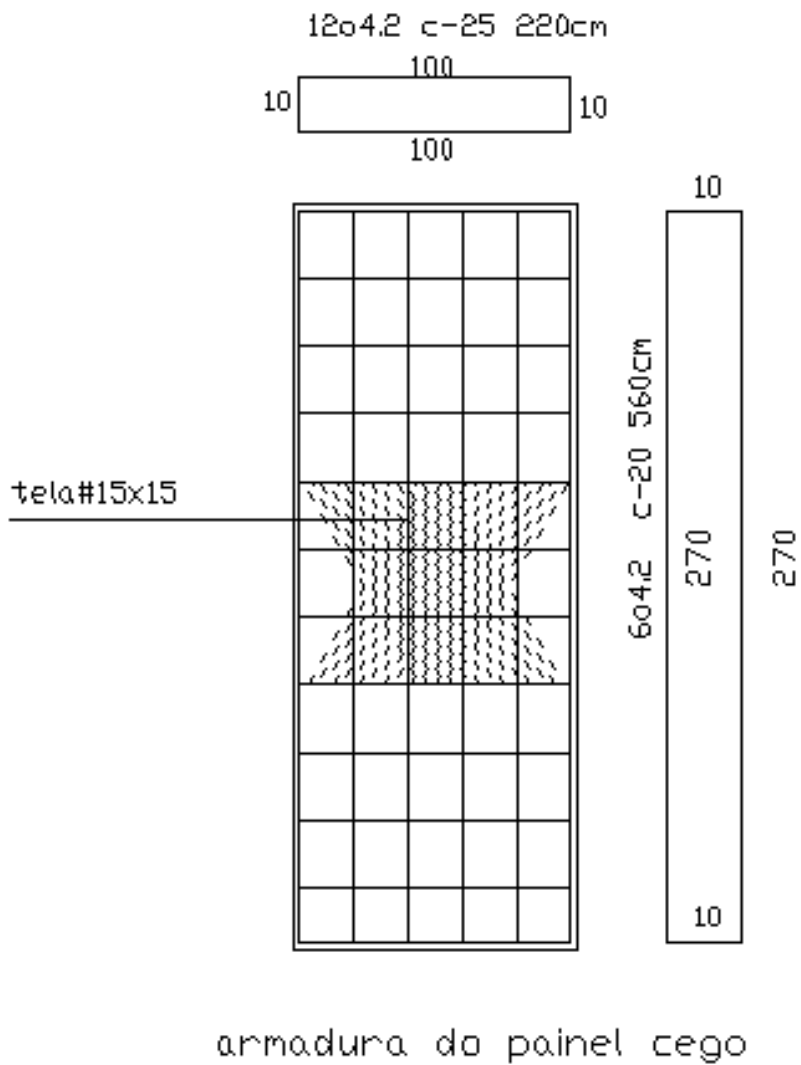


Figura 1J - Detalhamento das ferragens do painel cego.

b) Painel com janela

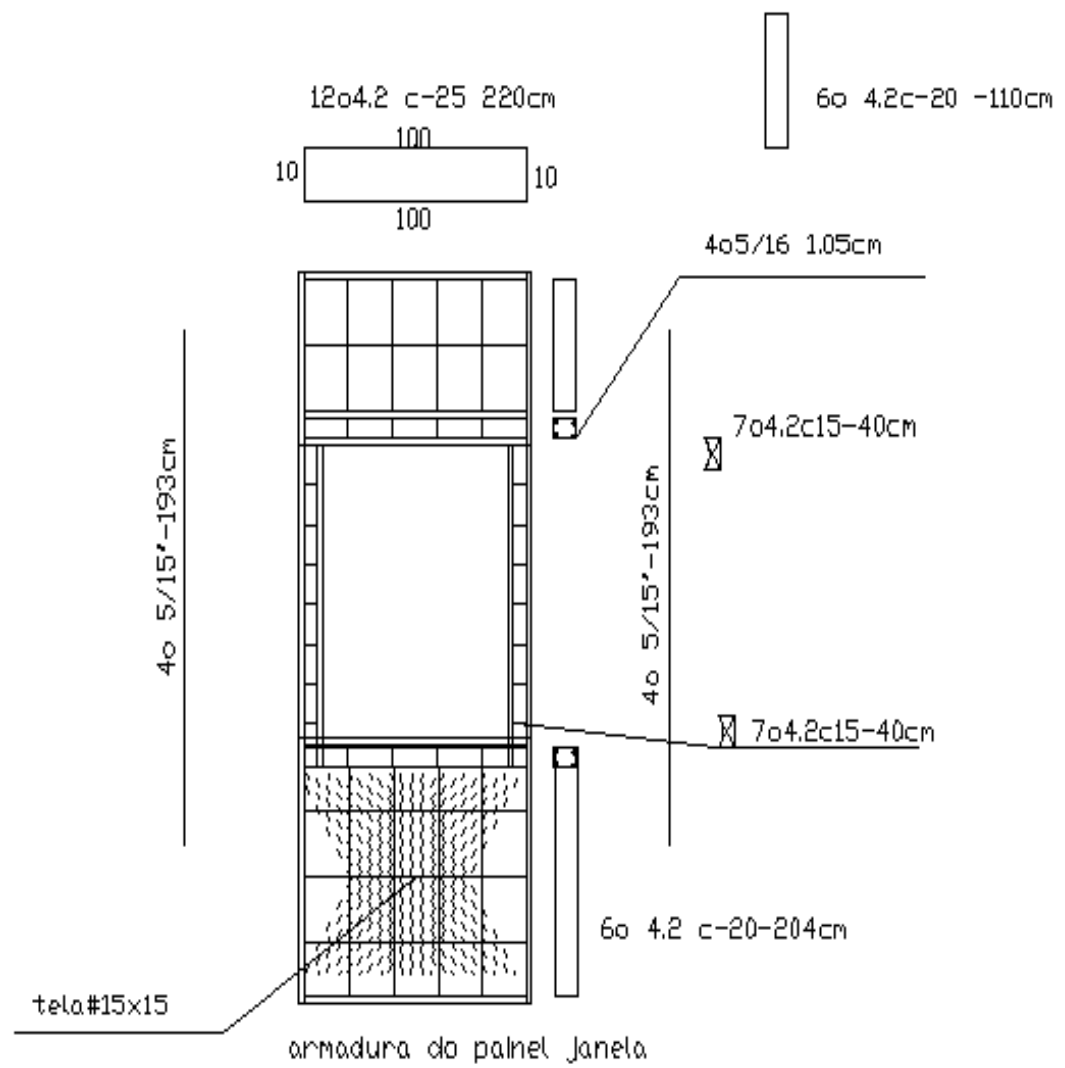


Figura 2J - Detalhamento das ferragens do painel com janela.

c) Painel com porta.

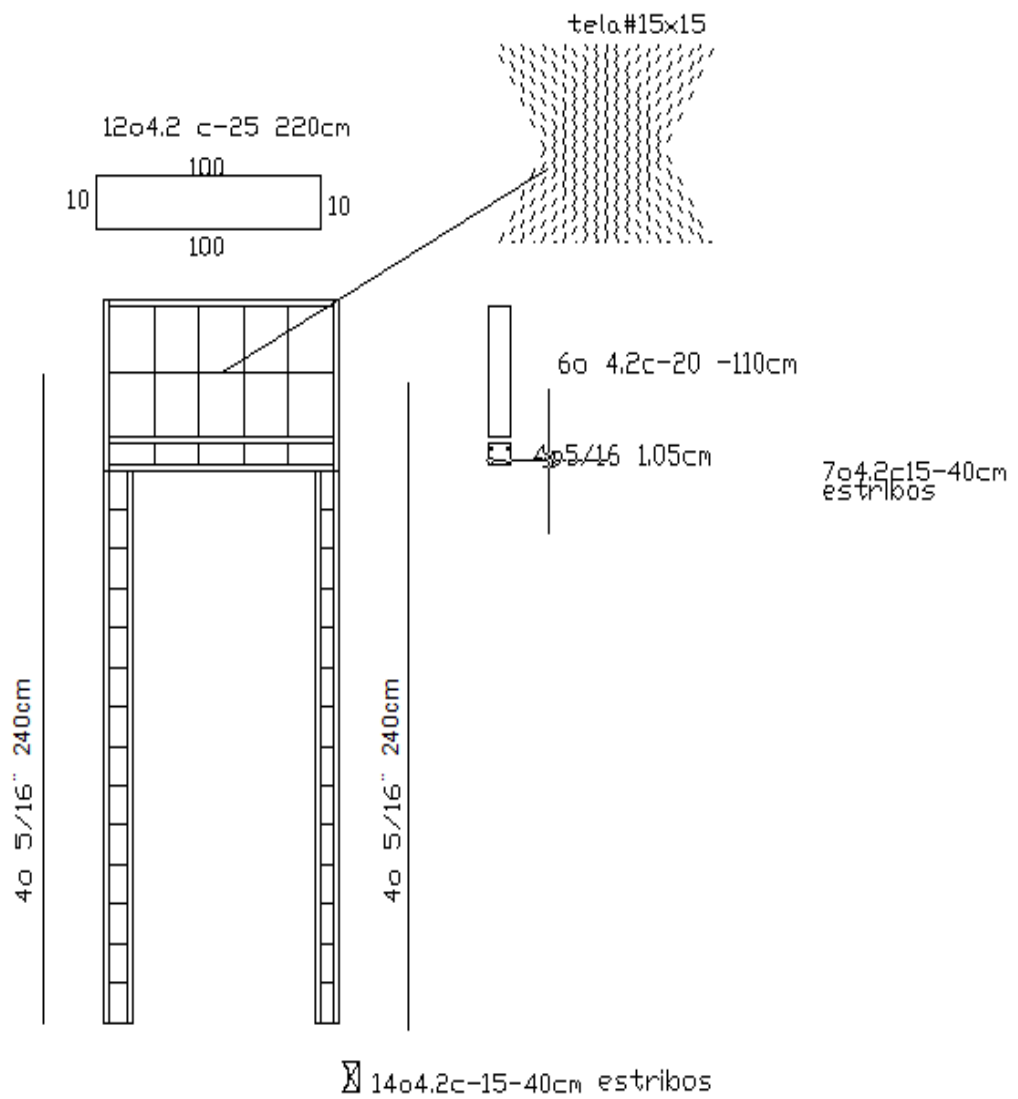


Figura 3J - Detalhamento das ferragens do painel porta.