



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

**DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS
COM BLOCOS CERÂMICOS**

Autor: Cristina Guimarães Cesar

Orientador: Humberto Ramos Roman, Ph.D.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos de obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil

Florianópolis, abril de 2007

Cristina Guimarães Cesar

**DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS
COM BLOCOS CERÂMICOS**

Esta Tese foi julgada adequada e aprovada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Florianópolis, abril de 2007.

Prof. Glicério Trichês
Coordenador do Programa

Tese defendida e aprovada em 20 / 04 /2007, pela comissão examinadora:

Prof. Humberto Ramos Roman, Ph.D. – (ECV – UFSC) - Orientador

Prof. Dr. Márcio Roberto Silva Corrêa – (SET-EESC-USP)

Prof. Dr. Wilson Jesus da Cunha Silveira – (ARQ-UFSC)

Prof. Dr. Luiz Gómez – (ECV – UFSC)

Prof. Dr. Hélio Adão Greven – (UFRGS / ULBRA)

Existe somente uma idade para a gente ser feliz, somente uma época na vida de cada pessoa em que é possível sonhar e fazer planos e ter energia para realizá-los a despeito de todas as dificuldades e obstáculos.

Tempo de entusiasmo e coragem em que todo desafio é mais um convite à luta, que a gente enfrenta com toda disposição de tentar algo novo, de novo, de novo, e quantas vezes for preciso. Essa idade tão fugaz na vida da gente chama-se “Presente” e tem a duração do instante que passa.

Mário Quintana

DEDICO

*Aos meus pais, Israel e Mirian (in memoriam),
e ao meu noivo Álisson.
A vocês, dedico esta conquista com a mais profunda gratidão.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em todos os momentos de minha vida.

“Felizes os que confiam no Senhor [...] São como árvores plantadas às margens de um rio, cujas raízes alcançam águas profundas. Tais árvores não são afetadas pelo calor nem se preocupam com largos meses de seca. Suas folhas permanecem verdes e produzem fruto delicioso”

Jeremias 17.7,8

Faltam-me palavras para demonstrar neste momento minha gratidão a várias pessoinhas especiais que foram essenciais para o término deste trabalho.

A meu pai que foi essencial em todos os momentos e minha mãe (minha vida, meu tudo – ETERNAS SAUDADES), amo vocês.

Ao meu amado noivo Álisson, presença constante, *Thank You* por tudo, sem você tudo seria mais difícil.

Ao Professor Humberto Ramos Roman, pelo incentivo, pela orientação, pelas oportunidades e sobretudo pela amizade.

As sisters do meu coração, Carine e Claudia, pelo carinho, orações e presença constante em minha vida. E as luzinhas da minha vida, meus sobrinhos Kétlin, Thiéry e Camily.

A toda minha família e amigos de Passo Fundo...pelo carinho, pela torcidaSaudades constantes!!!

Meu muito (obrigado)³ ao amigo Rodrigo da Mata, que com muita paciência me ensinou a usar o SAP. Valeu meu amigo!!!!

Ao amigo João Dirceu Nogueira de Carvalho pela ajuda e amizade em todos os momentos.

As amigas Michele Fossatti, Tatiana Amaral e Margaret Martyn pela presteza em ler meus rascunhos.

Aos meus pupilos (bolsistas), Felipe, Junior, Kleber, Nestor, Luana, Thiago e Luis Franken pela ajuda nos ensaios. E destes meus sinceros agradecimentos aos bolsistas Wellington, Everton e Bianca (*in memoriam*), pela incansável ajuda durante a construção do protótipo...Bia...saudades!!!

Aos meus professores e amigos da Universidade de Passo Fundo, Mário Paluch e Luciana Marcondes Pandolfo pelo incentivo.

Aos meus amigos Marcelo e Margaret pelos convites aos domingos para dar uma escapadinha da Tese e pela amizade sincera e constante...Obrigaduuuu!!

À Bosse pelos blocos fornecidos para a pesquisa.

Ao Zenildo sempre prestativo em fornecer a argamassa polimérica.

À Cimentos Itambé, pelo fornecimento do cimento utilizado na pesquisa.

À Belgo Mineira pelo fornecimento das telas soldadas.

Ao LEE – Laboratório de Experimentação em Estruturas – por fornecerem a infra-estrutura para o desenvolvimento dos trabalhos.

Ao Gustavo Lacerda pela paciência em ajudar-me com os “probleminhas” do Catman.

Ao professor Narbal pela presteza em amparar-me nos ensaios realizados no LEE.

Aos amigos do GETEC em especial: Giovana, Ju Casali, e Deniz pelo empréstimo dos equipamentos necessários ao término desta pesquisa e pelas dúvidas esclarecidas.

Ao amigo Fernando Avancini Tristão pela ajuda na definição dos traços e principalmente pela amizade, carinho e paciência.

Ao professor Fernando Barth pela fundamental ajuda durante a moldagem e montagem do protótipo.

Ao professor Luiz Gómez pelas dúvidas esclarecidas em relação a instrumentação e interpretação dos resultados.

Aos amigos do LMCC – Luiz, Renato e Roque pela cordialidade e presteza, e de fazer das longas horas no laboratório menos difíceis.

À Floripa, sem dúvida nenhuma a ilha da magia, com seus encantos que fez minha estada nesta terra os anos mais inesquecíveis de minha vida.

Um agradecimento especial às amigas: Juliana Dornelles, Mariana Coutinho Melo, Débora Gois, Alessandra Maioli, Eunice Motta e Niubis Luperon, com quem compartilhei as minhas dúvidas, cansaço e alegrias durante estes anos.

Aos amigos Odilar, Cledison, Jenner e Carlos pelo convívio diário e pelas palavras amigas na hora certa.

Enfim, a todos os amigos do GDA que tive a felicidade de conviver durante estes anos.

Finalmente, o meu agradecimento a CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

A todos.....

Obrigada!!!!!!!!!!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	VIII
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	4
1.3 OBJETIVOS	7
1.3.1 Objetivo Geral.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 INDUSTRIALIZAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	10
2.1.1 Industrialização da Construção.....	10
2.1.2 Racionalização Construtiva	13
2.2 PRÉ-FABRICAÇÃO	14
2.3 PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS COM BLOCOS CERÂMICOS	17
2.3.1 Experiência internacional.....	18
2.3.2 Experiência Nacional	26
2.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL	37
2.5 ESFORÇOS SOLICITANTES DA ALVENARIA	40
2.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	41
2.6.1 Ensaios em unidades de alvenaria	42
2.6.2 Ensaios em prismas.....	43
2.6.3 Ensaios com painéis de alvenaria	44
2.6.4 Fatores que afetam a Resistência à Compressão	46
2.7 RESISTÊNCIA À FLEXÃO	52
2.7.1 Métodos de ensaio.....	53
2.7.2 Fatores que afetam a resistência à flexão da alvenaria.....	59
3 CARACTERIZAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES DOS PAINÉIS	64

3.1 INTRODUÇÃO	64
3.2 BLOCOS CERÂMICOS	64
3.2.1 Ensaio de Análise Dimensional	66
3.2.1.1 Resultados da análise dimensional	67
3.2.2 Ensaio de Absorção de Água	69
3.2.2.1 Resultados do ensaio de absorção	70
3.2.3 Ensaio de Sucção Inicial.....	70
3.2.3.1 Resultados do Ensaio de Sucção Inicial	71
3.2.4 Determinação da Área Líquida	71
3.2.4.1 Resultados da Área Líquida	72
3.2.5 Massa Unitária dos Blocos	72
3.2.5.1 Resultados da massa unitária dos blocos	73
3.2.6 Resistência à Compressão de Blocos	73
3.2.6.1 Resultados de resistência à compressão	75
3.2.7 Resistência à Tração	76
3.2.7.1 Resultados de resistência à tração	77
3.2.8 Módulo de elasticidade dos blocos	78
3.2.8.1 Resultados módulos de elasticidade dos blocos	79
3.3 ARGAMASSA POLIMÉRICA	80
3.4 ARGAMASSA ARMADA	85
3.4.1 Especificação dos Materiais:	86
3.4.2 Resistência à compressão da argamassa armada	90
3.4.3 Módulo de elasticidade	92
3.5 PRISMAS	94
3.5.1 Moldagem dos prismas.....	94
3.5.2 Resistência à compressão.....	95
3.5.2.1 Resultado da resistência à compressão dos prismas	96
3.5.2.2 Modo de ruptura	97
3.5.3 Módulo de elasticidade	98
3.5.3.1 Resultados do módulo de elasticidade.....	100
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL	102
4.1 INTRODUÇÃO	102
4.2 ENSAIO PILOTO	103
4.3 GEOMETRIA DOS PAINÉIS.....	106

4.4 MOLDAGEM DOS PAINÉIS	107
4.5 DETALHAMENTO DOS DISPOSITIVOS DOS ENSAIOS.....	112
4.6 ENSAIOS REALIZADOS	114
4.6.1 Ensaio de Resistência à Compressão	114
4.6.2 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão.....	117
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	120
5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PAINÉIS.....	120
5.1.1 Fissuração	122
5.1.2 Fator eficiência	123
5.1.3 Análise Teórica da deformação dos painéis	126
5.1.4 Resultados obtidos	129
5.1.5 Modo de ruptura	136
5.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	144
6 ANÁLISE NUMÉRICA POR ELEMENTOS FINITOS	147
6.1 INTRODUÇÃO	147
6.2 MODELAMENTO EM ELEMENTOS FINITOS	148
6.3 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS	151
6.4 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ELEMENTOS FINITOS.....	153
6.4.1 Painel PB01	153
6.4.2 Painel PB02	157
6.4.3 Comparação entre os dois tipos de painéis	160
6.5 CORRELAÇÕES DAS ANÁLISES EXPERIMENTAL E NUMÉRICA	163
7 CONCLUSÕES	167
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172
APÊNDICE 1	183
APÊNDICE 2.....	205

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (Edifício Blue Tree Tower – Morumbi) (OLIVEIRA, 2002).....	12
Figura 2 – Orange County Professional Building, Santa Ana –California – EUA (SCHNEIDER E DICKEY (1994).....	15
Figura 3 – (a) e (b) – Movimentação de painel por meio de guindaste móvel.	16
Figura 4 – Serpentinhas utilizadas para calefação dos painéis (REVEL,1973).....	19
Figura 5 – Disposição dos blocos do sistema <i>Costamagna</i> (REVEL,1973).	19
Figura 6 – Painel <i>Costamagna</i> (REVEL,1973).....	20
Figura 7 – Detalhe do painel <i>Technove</i> , (REVEL, 1973).....	20
Figura 8 – Moldagem do painel em fôrma basculante (REVEL, 1973).....	21
Figura 9 (a) e (b) – Içamento e montagem das abóbadas com o sistema <i>ARCave</i> ..	21
Figura 10 – Apanhador pneumático de tijolos (RIHANI e BERNOLD, 1994)	23
Figura 11 – (A) Forma de confecção dos painéis e (B) Painel pronto para transporte (HOBBS E DAWOOD, 2000).	24
Figura 12 – Assentamento do sistema de blocos <i>JUWO Poroton Planziegel</i> , A - Bloco sendo erguido para a fiada com ferramenta especial de fixação, B – Aplicação da argamassa na base do bloco, onde será usada uma fina camada de argamassa, C – A argamassa adere a cerâmica, D – Assentamento do bloco sobre a fiada (HENDRY, 2001).	25
Figura 13 – Tipos de componentes do processo construtivo do IPT (MITIDIERI FILHO e CAVALHEIRO, 1988).	27
Figura 14 – Painel com as nervuras, quadro de concreto armado e juntas verticais preenchidas com argamassa (IPT,2003).	28
Figura 15 – Painéis pré-fabricados sendo içados do local de armazenamento (IPT,2003)	29
Figura 16 – (A) e (B)Etapas da montagem e (C) Casa do Lago (UNICAMP) concluída (SARRABLO,2001)	31
Figura 17 – (A) Aplicação da argamassa com rolo e (B e C) Tela metálica sendo posicionada (Fonte: acervo próprio).....	33

Figura 18 – (A) Desenho do protótipo de painel grauteado nas extremidades e (B) Gancho grauteado ao painel para auxiliar no içamento	34
Figura 19 – Protótipo gerado no Archicad com telas metálicas (BARTH E CARDOSO, 2003).....	35
Figura 20 – (A) Moldagem do painel, (B) Detalhamento da tela metálica junto com o inserte e (C) Tipologia final do painel (BARTH E CARDOSO, 2003)	36
Figura 21 – Painéis de parede, de cobertura plano e cobertura curvo.....	37
Figura 22 – Ação de cargas sobre um prédio (ROMAN <i>ET.AL.</i> , 2003).....	41
Figura 23 – Ensaio em escala real em uma pedreira em desuso, <i>University of Edinburgh</i> (SINHA E HENDRY, 1976).....	45
Figura 24 – Colapso progressivo Ronan Point (SINHA 2002).....	46
Figura 25 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos, construída com blocos vazados com relação h/t entre 2 e 4. (BS 5628: Part 1, 1992)	48
Figura 26 – Variação da resistência da parede em função da resistência da argamassa (FRANCO, 1987).....	49
Figura 27 – Tipos suportes e rupturas para paredes sob carga lateral (BS5628, 1978).....	52
Figura 28 – Aparato para determinação da resistência à tração (ROMAN, 1989)	53
Figura 29 (a) – Esquema do ensaio de flexão simples para um prisma de quatro blocos e (b) – Esquema de colocação dos blocos de carregamento (fiadas pares e ímpares)	54
Figura 30 – Seção transversal de unidade com argamassamento total da face (TECHNICAL NOTES 39B, 1988).....	56
Figura 31 – Assentamento de argamassa somente nas faces externas longitudinais do bloco (Face Shell) (TECHNICAL NOTES 39B, 1988)	56
Figura 32 – Aparato para ensaio de resistência de aderência na flexão, prescrito pela ASTM C 1072 (ASTM C 1072).....	57
Figura 33 - Método de ensaio com paredinhas para determinação da resistência à flexão característica da alvenaria segundo a BS 5628 (BS 5628, 1978).	59
Figura 34 – Variação aderência tijolo/argamassa com o conteúdo de umidade no momento do assentamento (HENDRY, 1981).	61
Figura 35 – Métodos de ensaio para determinação da resistência à tração em ensaio de flexão (SANTOS, 2001).....	62

Figura 36 – Modos de ruptura em ensaio de flexão de corpos-de-prova com juntas preenchidas e não preenchidas (SANTOS, 2001)	63
Figura 37– Determinação das dimensões do bloco (NBR 7171, 1992).....	67
Figura 38 – Forma de ruptura dos blocos tipo B1 e B02.	76
Figura 39 – Esquema de realização do ensaio de resistência à tração indireta do bloco	77
Figura 40 – Instrumentos utilizados para medição do módulo de elasticidade	79
Figura 41 – Forma de aplicação da argamassa polimérica no corpo-de-prova.....	81
Figura 42 – Equipamento utilizado para determinar a carga máxima de ruptura.	82
Figura 43 – Forma de ruptura dos corpos-de-prova	83
Figura 44 – Tensão média de aderência conforme mistura – condição de molhagem.	84
Figura 45 – Granulometria da areia usada segundo BS 1200 (1976)	87
Figura 46 – Armadura difusa componente do painel.....	89
Figura 47 – Armadura discreta componente do painel.....	90
Figura 48 – Forma de moldagem dos corpos-de-prova de argamassa armada.....	90
Figura 49 – Forma de ruptura corpos-de-prova de argamassa armada.....	92
Figura 50 – Instrumentação dos corpos-de-prova para obtenção do módulo de elasticidade	93
Figura 51 – Tipos de prismas ensaiados.....	94
Figura 52 – Chapa para ensaio de resistência à compressão de blocos e prismas, (a) chapa superior e (b) chapa inferior (ROMAGNA, 2000).	95
Figura 53 – Modo de ruptura do prisma de junta prumo de bloco tipo B01 e B02	97
Figura 54 – Modo de ruptura do prisma de junta amarrada de bloco tipo B01 e B02	98
Figura 55 – Esquema de obtenção das deformações (medidas em mm)	99
Figura 56 – Forma de leitura das deformações com extensômetro mecânico	100
Figura 57 – (A) Viga antiga e (B) Viga confeccionada para a execução dos experimentos.....	103
Figura 58 – Painel com contrafiado na vertical (stack bond).....	104

Figura 59 – Descolamento apresentado na interface bloco e argamassa armada .	105
Figura 60 – Posicionamento dos transdutores indutivos de deslocamento no painel-piloto	105
Figura 61 – Microfissura vertical ocasionada por movimentações.	106
Figura 62 – Vista frontal da geometria final dos painéis.....	107
Figura 63 – Mesa metálica reclinável e forma em madeira	108
Figura 64 – Tipo de fixadores usados nos painéis	108
Figura 65 – Aplicação do desmoldante	109
Figura 66 – Detalhe em corte do painel	109
Figura 67 – Espaçadores para reforço perimetral e seqüência do assentamento dos blocos.....	110
Figura 68 – Detalhe inserte metálico junto à tela soldada galvanizada.....	110
Figura 69 – Enchimento do contorno	111
Figura 70 – Desmoldagem e procedimento para içamento.....	111
Figura 71 – Modelo do dispositivo de ensaio de compressão (visto em corte).	112
Figura 72 -Tipo de transdutores de deslocamento utilizados nos ensaios.	113
Figura 73 – Esquema de instrumentação dos painéis.....	115
Figura 74 – Visão geral da instrumentação.....	116
Figura 75 – Esquema estático da aplicação de carga no ensaio de flexão.....	118
Figura 76 – Disposição do corpo-de-prova no local de ensaio.....	119
Figura 77 – Distribuição do carregamento no conjunto argamassa armada/alvenaria	127
Figura 78 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02.....	130
Figura 79 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04.....	130
Figura 80 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada.....	131
Figura 81 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)	131

Figura 82 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02.....	132
Figura 83 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04.....	132
Figura 84 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada.....	133
Figura 85 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)	133
Figura 86 – Gráfico tensão x média das deformações específicas – comparação entre resultados calculados e obtidos experimentalmente.....	134
Figura 87 – Gráfico Tensão x deformações específicas referentes aos transdutores TD03 E TD04 do painel PB01-01	137
Figura 88 – Gráfico tensão x deformações específicas referentes aos transdutores TD03 E TD04 do painel PB02-04.....	137
Figura 89 – Forma de ruptura dos painéis PB01.....	138
Figura 90 – Forma de ruptura dos painéis PB02.....	139
Figura 91 – Interface argamassa armada e alvenaria	140
Figura 92 – Moldagem painel com junta armada no centro.	141
Figura 93 – Gráfico Tensão x deformações específicas referentes aos transdutores TD01 e TD02.....	141
Figura 94 – Gráfico Tensão x deformações específicas referentes aos transdutores TD03 e TD04.....	142
Figura 95 – Gráfico Tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada.....	142
Figura 96 – Gráfico Tensão x deslocamento horizontal (flecha)	143
Figura 97 – Forma de ruptura ocorrida pelo painel com junta de argamassa armada	144
Figura 98 – Formas de ruptura apresentadas pelos prismas de blocos B01 e B02.	146
Figura 99 – Rede de elementos finitos (Assan, 2003).....	147
Figura 100 – Modelos para alvenaria estrutural: (a) elementos da alvenaria, (b) modelo micro detalhado, (c) modelo micro simplificado, (d) modelo macro (LOURENÇO, 1996).	149
Figura 101 – Sistema de eixos de referência globais.....	151

Figura 102 – Modelos de blocos utilizados para cada painel	152
Figura 103 – Geometria e malha do painel BT01	153
Figura 104 – Distribuição de tensões σ_x ao longo do plano (x, z) do painel PB01 (vista frontal)	154
Figura 105 – Distribuição de tensões σ_z ao longo do plano (x, z) do painel PB01 (vista frontal)	154
Figura 106 – Vista Frontal e superior das seções A e B.	155
Figura 107 – Distribuição de tensões σ_x ao longo do comprimento do painel PB01 (seção A).....	155
Figura 108 – Distribuição de tensões σ_z ao longo do comprimento do painel PB01 (seção A).....	156
Figura 109 – Distribuição de tensões σ_x e σ_z ao longo da altura do painel PB01 (seção B).....	156
Figura 110 – Geometria e malha do painel PB02.....	157
Figura 111 – Distribuição de tensões σ_x ao longo do plano (x, z) do painel PB02 (vista frontal)	157
Figura 112 – Distribuição de tensões σ_z ao longo do plano (x, z) do painel PB02 (vista frontal)	158
Figura 113 – Vista Frontal e superior das seções A e B.	158
Figura 114 – Distribuição de tensões σ_x ao longo do comprimento do painel PB02 (seção A).....	159
Figura 115 – Distribuição de tensões σ_z ao longo do comprimento do painel PB02 (seção A).....	159
Figura 116 – Distribuição de tensões σ_x e σ_z ao longo da altura do painel PB02 (seção B).....	160
Figura 117 – Comparação entre os painéis PB01 e PB02 ao longo do comprimento (seção A).....	161
Figura 118 – Comparação entre os painéis PB01 e PB02 ao longo do comprimento (seção A).....	161
Figura 119 – Comparação entre os painéis PB01 e PB02 ao longo da altura (seção B).....	162

Figura 120 – Comparação entre os painéis PB01 e PB02 ao longo da altura (seção B).....	162
Figura 121 – Localização dos transdutores no painel	164
Figura 122 – Gráfico tensão x deformação específica referente aos transdutores TD01 e TD02 do painel PB01-05. Resultados experimentais e numéricos.....	165
Figura 123 – Gráfico tensão x deformação específica referente aos transdutores TD03 e TD04 do painel PB01-05. Resultados experimentais e numéricos.....	165
Figura 124 – Gráfico tensão x deformação específica referente aos transdutores TD01 e TD02 do painel PB02-05. Resultados experimentais e numéricos.....	166
Figura 125 – Gráfico tensão x deformação específica referente aos transdutores TD03 e TD04 do painel PB02-05. Resultados experimentais e numéricos.....	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos de desempenho e características funcionais das vedações verticais (Franco, 1998).....	39
Tabela 2 – Resistência à compressão (NBR 7171).....	42
Tabela 3 – Classificação dos blocos em relação à área útil (ABCI, 1990).	43
Tabela 4 – Fator de eficiência para diferentes tipos de unidades (CAMACHO, 1995).	48
Tabela 5 – Resultados dos ensaios para resistência à tração (ROMAN,1989).....	60
Tabela 6 – Ensaio realizados nos blocos e normas utilizadas	65
Tabela 7– Tipos de blocos utilizados na pesquisa	66
Tabela 8 – Resumo da análise dimensional dos blocos utilizados nos ensaios.....	68
Tabela 9 – Resumo das medidas de planeza e esquadro dos blocos.	68
Tabela 10 – Resumo do ensaio de absorção inicial	70
Tabela 11 – Resumo do ensaio de sucção inicial	71
Tabela 12 – Resultados dos ensaios de área líquida.....	72
Tabela 13 – Resultados dos ensaios de massa unitária.	73
Tabela 14 – Resistência à compressão dos blocos	75
Tabela 15 – Resistência à tração dos blocos.....	77
Tabela 16 – Relação entre a resistência à tração e compressão.....	78
Tabela 17 – Módulo de deformação blocos cerâmicos tipo B01e B02.....	80
Tabela 18 – Tensão média de aderência e as porcentagens de cada forma de ruptura para cada mistura e condição de molhagem.	84
Tabela 19 – Resultados compressão e módulo de deformação da argamassa polimérica.....	85
Tabela 20 – Massa unitária do cimento, NBR 7251 (1982).....	86
Tabela 21 – Composição granulométrica da areia, NBR 7217 (1987)	87

Tabela 22 – Características físicas da areia.....	88
Tabela 23 – Características do traço piloto	88
Tabela 24 – Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos-de-prova prismáticos e cilíndricos.	91
Tabela 25 – Módulo de elasticidade argamassa armada	93
Tabela 26 – Ensaio de compressão de prismas de junta prumo.....	96
Tabela 27 – Ensaio de compressão de prismas de junta amarrada.....	96
Tabela 28 – Módulo de deformação de prismas de junta prumo.....	100
Tabela 29 – Módulo de deformação de prismas de junta amarrada	101
Tabela 30 – Dimensões efetivas dos painéis	107
Tabela 31 – Resumo dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos painéis.....	120
Tabela 32 – Resumo das resistências à compressão da argamassa dos painéis PB01.	121
Tabela 33 – Resumo das resistências à compressão da argamassa dos painéis PB02.	121
Tabela 34 – Resumo estatístico para os dois tipos de blocos.....	122
Tabela 35 – Análise ANOVA para as resistências à compressão para os dois tipos de blocos.....	122
Tabela 36 – Relações entre carga de ruptura e carga de fissuração	123
Tabela 37 – Valores de eficiência parede-bloco (Ramalho e Corrêa, 2003).	123
Tabela 38 – Eficiência dos painéis PB01.	124
Tabela 39 – Eficiência dos painéis PB02.	124
Tabela 40 – Resistência à compressão e correlações de interesse das paredes ensaiadas.....	125
Tabela 41 – Porcentagens do carregamento total absorvido pela argamassa armada e alvenaria.....	128
Tabela 42 – Módulos de elasticidade teórico e experimental da argamassa armada e alvenaria.....	134
Tabela 43 – Tensão de aderência para prismas B01	144

Tabela 44 – Tensão de aderência para prismas B02.....	145
Tabela 45 – Comparação entre as tensões de aderência na área bruta e líquida com as resistências dos blocos e dos prismas de junta prumo.	145
Tabela 46 – Valores utilizados na modelagem.....	152
Tabela 47 – Comparação entre as deformações específicas numéricas e experimentais.....	164
Tabela 48 – Relação entre as deformações específicas nos modelos numéricos e experimentais.....	164

RESUMO

CESAR, C.G. **Desempenho estrutural de painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos**. Florianópolis, 2007. 243 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

Um novo processo de construção em painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos foi desenvolvido pelo Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria – GDA, da Universidade Federal de Santa Catarina. Como parte do desenvolvimento foi feita a avaliação do desempenho estrutural à compressão e flexão dos painéis pré-fabricados. Nos ensaios de resistência à compressão dos painéis foram extraídos resultados de resistência, análise teórica, fator eficiência, módulo de elasticidade e curva tensão x deformação. A análise numérica foi realizada através do método de elementos finitos admitindo-se um comportamento elástico-linear dos materiais envolvidos. Com base nas análises dos resultados, conclui-se que o comportamento estrutural dos painéis pré-fabricados é adequado e suficiente para o uso em habitações. O desempenho à compressão dos mesmos foi similar ao de paredes de alvenaria estrutural em cerâmica. Observou-se também, que o processo permite o uso de blocos de vedação com função estrutural, desde que com os furos assentados na direção vertical. Em relação à flexão, o desempenho é melhor que os apresentados em ensaios com painéis convencionais de alvenaria estrutural. Apontam-se também outros aspectos que ainda devem ser investigados e melhorados para garantir o melhor entendimento, e confirmar as expectativas em relação aos mesmos.

Palavras – chave: resistência à compressão, painéis pré-fabricados, bloco cerâmico.

ABSTRACT

A new construction process in prefabricated masonry panels was developed by Group of Development of Systems in Masonry – GDA.

As part in the development, an evolution of compression and flexural structural performance of prefabricated masonry panels was carried out. On the panels of compressive strength of the panels was extracted results of resistance, theoretical analysis, efficiency factor, modulus of elasticity and curve tension x deformation. The numerical analysis was performed by using the finite element method being admitted and elastic – linear analysis behavior of the involved materials. Based in the results analysis, was concluded that the structural behavior of the developed prefabricated masonry panels is appropriate to habitation use. The compression performance of the material described was similar to the one of structural ceramic masonry walls. It was also observed, that the process allows the use of cladding blocks with structural function, since used with its roles seated in the vertical direction. In flexural, the performance is better than the conventional structural masonry panels. This work also points other aspects that still must be investigated to improve the panels behavior understanding and to confirm the expectations in relation of prefabricated.

Keywords: compressive strength, prefabricates panels, ceramic block.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No Brasil é relativamente recente o processo de cálculo e execução em alvenaria estrutural (final dos anos 60), e nos dias de hoje ainda é pouco conhecida pela maioria dos profissionais da área de Engenharia Civil. No entanto, o aparecimento de novos grupos de pesquisa sobre o tema, assim como o surgimento de novas fábricas de materiais fazem com que os construtores cada dia mais utilizem e se interessem por este processo.

Devido às vantagens como flexibilidade, velocidade de construção, economia, produtividade e qualidade, a alvenaria estrutural para edifícios de muitos pavimentos tornou-se uma opção de processo construtivo, muito empregado no mundo. O processo de alvenaria estrutural permitiu reduzir custos das construções e desperdícios de materiais.

Segundo a Fundação João Pinheiro (2005), o déficit habitacional brasileiro é superior a 7,2 milhões de unidades aproximadamente, e esta escassez de moradias juntamente com a falta de recursos financeiros, faz com que aumente a necessidade de novos processos construtivos. Esta busca por processos construtivos mais econômicos deve ser valorizada, assim como a utilização de materiais, mão-de-obra e técnicas locais para a construção de núcleos habitacionais.

A necessidade de novos processos construtivos fez com que a alvenaria estrutural superasse a etapa artesanal e fosse reconhecida como uma opção de tecnologia moderna, eficiente e econômica.

Segundo Franco (1992), a aplicação das diretrizes de racionalização construtiva se constituiu em uma alternativa para a evolução tecnológica dos processos e sistemas construtivos. E tudo depende da definição da execução de tarefas, pois nelas devem estar embutidos os conceitos ligados à construção.

A racionalização de construções em alvenaria estrutural deve ser aplicada às técnicas e métodos construtivos, alcançando, assim, melhores desempenhos no

empreendimento. O desenvolvimento de novos produtos cerâmicos para alvenaria estrutural, além de possuírem aspectos técnicos favoráveis, tem relevância econômica significativa no contexto brasileiro. A abundância e qualidade das jazidas de argila existentes no país, especialmente na região sul, tornam os produtos cerâmicos bastante competitivos.

Assim sendo, as construções em alvenaria de tijolo e bloco cerâmico têm muitas vantagens. A primeira é o fato de um único elemento poder cumprir várias funções tais como: estrutural, proteção ao fogo, isolamento térmico e isolamento acústico, proteção contra as intempéries e subdivisão dos espaços. Além de reunir estas propriedades, o processo construtivo é, se empregado adequadamente, mais econômico que os processos em aço e concreto.

A segunda vantagem diz respeito à durabilidade do material, que com adequada seleção, pode durar muitas décadas ou séculos com reduzida manutenção. Conforme o projeto arquitetônico, a alvenaria oferece vantagens em termos de grande flexibilidade na forma da planta, facilidade para projetar e detalhar e na composição do espaço.

Hendry (2001), enfatiza que as vantagens da alvenaria são, portanto consideráveis. Porém, a pequena resistência à tração das alvenarias torna-se um fator limitante para as situações onde é exigido esforço lateral da parede e também aberturas de grandes vãos. Para a primeira situação fazendo um rearranjo das paredes é possível solucionar o problema.

Nas últimas décadas, notadamente na Europa tem surgido a alternativa de uso de construções em painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. Estes painéis apresentam vantagens em relação ao uso de alvenaria estrutural convencional, destacando-se entre estas a maior velocidade de execução, a possibilidade de criação de ambiente ergonomicamente mais adequado para os montadores e a maior possibilidade de controle de qualidade.

Devido ao fato de ser um processo relativamente novo, torna-se necessário o conhecimento completo do desempenho dos painéis em blocos cerâmicos estruturais. Para isso é preciso desenvolver pesquisas específicas com estes materiais.

A utilização de todo potencial dos painéis executados com bloco cerâmico só será possível através do conhecimento real das características dos componentes e principalmente da maneira correta de sua aplicação. Para isto, é necessária a realização de estudos específicos sobre o comportamento mecânico destes painéis em relação aos esforços de compressão e flexão.

A realização deste trabalho se justifica em si, pelo interesse no desenvolvimento de novas soluções construtivas otimizadas na forma de painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos que terão a finalidade de contribuir para a melhoria da qualidade, redução dos desperdícios e custos, e aumento de produtividade e competitividade, tanto para o setor cerâmico quanto para o da construção.

As presumidas vantagens no uso de processos construtivos em painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos parecem suficientes para justificar o desenvolvimento de pesquisa nesta área, notadamente na industrialização, através da pré-fabricação, dos processos em alvenaria. Ao mesmo tempo em que se utiliza um material bastante conhecido e completamente aceito pelos usuários, incorpora-se ao processo maior velocidade, controle de qualidade mais efetivo e redução de custo. A necessidade de uso de elementos padronizados levará, necessariamente, ao aperfeiçoamento da cadeia produtiva, desde o produtor do material cerâmico, passando pelo fornecedor de argamassa e atingindo os fornecedores de fixadores e acabamentos. Portanto, o setor cerâmico nacional poderá beneficiar-se por meio da possibilidade de oferta de um processo competitivo.

É importante lembrar que a Construção Civil Brasileira, mais especificamente o setor da construção de edifícios caracteriza-se, ainda hoje, por um elevado índice de desperdícios, acompanhado por índices de produtividade modestos, quando comparada aos de outros segmentos industriais. Outra característica da indústria da construção é a aplicação de vários processos construtivos, sem a realização prévia de estudos que os adequem aos materiais e mão-de-obra do país. Contabilizam-se, assim, vários fracassos em “inovações da construção”. O fato de o processo construtivo em painéis pré-fabricados com cerâmicos ter como material básico, o bloco cerâmico, abundante e de baixo custo, e que permite um elevado potencial de racionalização, parece ser ideal para a realidade brasileira.

Em contrapartida ao fato de serem preferidos pela grande maioria da população, as construções com blocos cerâmicos, apresentam como regra geral processos de fabricação artesanais e processos construtivos com muitas improvisações no canteiro de obras. Esta situação acarreta a necessidade de grande quantidade de mão-de-obra no canteiro e os tempos de execução ficam sujeitos a imprevistos próprios dos processos e às incertezas climáticas. Os processos atuais de construção de alvenaria são artesanais demandando alta quantidade de mão-de-obra e tempo de execução.

O uso deste processo de construção visa, ao mesmo tempo, conservar as vantagens funcionais e estéticas das construções em alvenaria e eliminar os problemas mais significativos deste processo, que se relacionam com as perdas de tempos devido à chuva, dificuldade de implementação de métodos de estocagem de materiais e de controle de qualidade de construção e da diminuição do número de assentadores qualificados.

Os procedimentos de industrialização da alvenaria exigem que os produtos (unidades) sejam adequados aos processos e projetos e que o controle de qualidade seja relacionado ao tempo e custo. Além disto, a pré-fabricação pode também absorver os alguns aspectos relacionados com a teoria de construção enxuta (*lean construction*) e a dinâmica moderna de padronização, diminuindo os custos do processo e reduzindo a incerteza de qualidade do produto.

Este processo depende também da organização da cadeia de fornecedores. Esta, quando bem organizada, é importante para a redução de tempo e custo da produção. Da mesma forma, as perdas dos processos, devidas a atividades que não agregam valor aos mesmos, podem ser removidas sem prejuízos da qualidade do acabamento e do valor da construção.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Nos últimos quarenta anos diversos programas têm sido implementados pelos governos na tentativa de acabar ou diminuir o déficit habitacional. No campo da construção civil, o que se pode observar nesta trajetória é que, apesar de todas as dificuldades, o atraso tecnológico que caracteriza o setor vem sendo superado progressivamente por meio de constantes transformações que têm sido introduzidas

em seu processo de produção, configuradas em inovações tecnológicas que buscam principalmente a racionalização e otimização dos processos envolvidos na construção.

A economia brasileira enfrenta nestes últimos anos momentos críticos, que refletem, diretamente no setor da Construção Civil resultando em uma das suas maiores crises, ouve-se na maioria dos setores produtivos, as palavras de ordem que são mudança, modernização e eficiência. E estes são os caminhos apontados, segundo Franco (1992), para que se possam reverter estas e outras situações adversas na construção civil brasileira.

Com o advento da globalização, aumento da competitividade, maiores exigências dos clientes/usuários, desenvolvimentos tecnológicos, as inovações por parte da indústria de materiais e componentes, e mudanças culturais no setor, a construção civil também tem passado por diversas mudanças nos últimos anos, exigindo das empresas procedimentos de gestão rigorosamente associados à qualidade e produtividade.

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

Uma das alternativas para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural, baseada no incremento do seu nível de racionalização e industrialização, baseia-se nos métodos de pré-fabricação e pré-montagem de painéis estruturais. Existem atualmente no mercado várias construtoras, que utilizam painéis pré-fabricados de fachada, mas estes na maioria dos casos atuam somente como elemento de vedação. Existe ainda um largo campo de pesquisa para painéis pré-fabricados estruturais compostos por elementos cerâmicos.

Desde o ano de 2001, pesquisadores do Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria (GDA) do Núcleo de Pesquisas em Construção Civil (NPC)

da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), contando com a participação da Universidade de Teeside (Inglaterra), vêm desenvolvendo a “Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Construtivos Industrializados em Cerâmica Estrutural”. O presente trabalho é parte integrante desta pesquisa, dedicando-se exclusivamente ao estudo do Desempenho Estrutural dos painéis com função estrutural, que são originados a partir da utilização deste processo construtivo.

Além deste estudo, também estão sendo desenvolvidas pesquisas em paralelo, das quais algumas já se encontram concluídas, e são relacionadas abaixo:

- desenvolvimento de processo construtivo, incluindo a definição dos materiais, tipos de painéis, modulação e formas de conexão e de montagem;
- desenvolvimento de um protótipo de edificação com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos, onde foi realizado um levantamento do processo construtivo, desde a fundação até o acabamento;
- estudo dos tipos habitacionais adequados a estes painéis, apontando as melhores soluções espaciais, e respeitando primordialmente os padrões exigidos de habitabilidade e funcionalidade, procurando também incorporar a estes espaços um alto grau de flexibilidade arquitetônica.
- pesquisa e desenvolvimento de argamassas para preenchimento e acabamento dos painéis;
- avaliação do desempenho estrutural -trabalho em questão-, quando solicitados à compressão e tração na flexão, onde a partir do conhecimento das propriedades em análise poderão ser estabelecidos critérios para posterior utilização dos painéis como parede estrutural.

Existe, portanto, a necessidade de avaliação de desempenho desta solução inovadora.

Segundo Mitidieri Filho (1998) “não se pode empregar novas tecnologias, novos processos e sistemas de construção, sem antes ter ensaiado ou avaliado”.

Dentro deste contexto, pode-se assegurar que o ineditismo deste trabalho se concentra no fato de que existem poucos trabalhos científicos realizados com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos no mundo e, principalmente no Brasil. Deve-se acrescentar que os processos construtivos em painéis desenvolvidos na

Europa possuem diferentes características, tanto em relação aos materiais utilizados quanto às exigências construtivas, como por exemplo, a necessidade de paredes duplas para isolamento térmico. Estas exigências não se aplicam ao problema brasileiro e, portanto a pura e simples importação de processos, não é possível por questões econômicas e operacionais.

Do ponto de vista estrutural, o processo construtivo em desenvolvimento na UFSC também prevê o uso de juntas horizontais e verticais com camada fina de argamassa polimérica (2 à 3 mm) e presença de elementos enrijecedores como telas metálicas com argamassa (argamassa armada) no contorno do painel. Por estas características próprias do processo, verifica-se a escassez de referências bibliográficas específicas, o que reforça a necessidade de pesquisa e a certeza do ineditismo do trabalho.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho foi a avaliação do comportamento estrutural de painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos quando solicitados à compressão e à flexão. E partir do conhecimento das propriedades e análise do seu desempenho, possibilitar a utilização como parede estrutural em habitações.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar a resistência à compressão de blocos cerâmicos, prismas e painéis e seus módulos de elasticidade.
- Estudar o modo de ruptura de blocos, prismas e painéis;
- Avaliar o desempenho da argamassa armada (de contorno), nas propriedades mecânicas dos painéis;
- Determinar o desempenho dos prismas moldados com argamassa polimérica à tração na flexão;
- Comparar resultados numéricos e experimentais no regime elástico dos materiais.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A tese está estruturada em seis capítulos, que detalham a seqüência da pesquisa realizada.

A revisão da literatura, no **capítulo 2**, abrange a investigação sobre industrialização, racionalização, pré-fabricação, experiências nacionais e internacionais sobre painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos, avaliação do desempenho estrutural e uma revisão sobre o comportamento da alvenaria à compressão e à flexão.

No **capítulo 3** são estabelecidas as caracterizações dos materiais e componentes dos painéis incluindo:

- análise dimensional dos blocos;
- absorção d'água (imersão por 24 horas);
- sucção inicial;
- área líquida;
- resistência à compressão e tração de blocos;
- resistência à compressão de prismas;
- módulo de elasticidade longitudinal de prismas;
- resistência à compressão da argamassa armada;
- módulo de elasticidade da argamassa armada;

Prosseguindo o **capítulo 4** consta de uma descrição detalhada do programa experimental desenvolvido, incluindo equipamentos, instrumentação e procedimentos de ensaios empregados.

No **capítulo 5** estão apresentados os resultados do programa experimental.

A análise numérica realizada utilizando o método dos elementos finitos é descrita no **capítulo 6**, onde são apresentadas as comparações entre os resultados teóricos e os resultados experimentais obtidos.

As conclusões são apresentadas no **capítulo 7** assim como sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, está apresentada toda a bibliografia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa e os apêndices contendo tabelas e gráficos referentes aos trabalhos realizados.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDUSTRIALIZAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

2.1.1 Industrialização da Construção

Franco (1992), relata que a industrialização resolveria todos os problemas do déficit habitacional, não só em nível de produção mas também relativamente aos custos. Nunca se chegou, no entanto, a um consenso quanto ao entendimento do que vem a ser industrialização, nem mesmo na atualidade, onde existem várias interpretações a respeito deste conceito.

Inicialmente os profissionais envolvidos ligavam a industrialização a sistemas que utilizavam elementos e componentes pré-fabricados e um maior nível de mecanização. A definição proposta por Davison (1975), mostra esta tendência em associar a industrialização à pré-fabricação. Este autor enuncia industrialização como “um método construtivo baseado na mecanização e em um processo organizado de caráter repetitivo que requer continuidade”.

Para Testa (1972), “a industrialização é um processo pelo qual, através de avanços tecnológicos, conceitos e métodos organizacionais e investimento de capital, tende-se a aumentar a produtividade e a melhorar o desempenho”.

Segundo Duarte (1981), a industrialização aumentou consideravelmente a produção e o consumo de quase todos os bens materiais que conhecemos. Entretanto, esta mudança de tecnologia, com a passagem de processos artesanais para processos industriais de produção, tem sido lenta no campo da construção de edificações. Este atraso na indústria da construção em relação aos demais ramos industriais pode ser explicado pela natureza do seu produto final, o edifício. Em comparação com os produtos das demais indústrias, cada edificação é praticamente única, pois deve ser construída sob determinadas especificações, medidas e com materiais do seu local de origem, sendo esta a razão da dificuldade de produção em massa.

Existe a necessidade de adaptação dos sistemas industrializados às características dos materiais e mão-de-obra encontrados no país, aumento da capacidade de investimento das empresas e também a necessidade de um sistema financeiro e mercado habitacional estável.

Em 1978, foi explícita esta preocupação pelo extinto BNH (Banco Nacional da Habitação), em relação aos sistemas pré-fabricados, onde em um documento afirma que “somente uma sólida garantia de mercado em níveis de economia em escala, irá viabilizar o empreendimento” (FRANCO, 1992)

No Brasil, existe a necessidade de aumento de eficiência e resolução de graves problemas, tais como os impostos para suprir-se a carência de habitações dignas. Quando são citadas as edificações para populações de baixa renda, as quais muitas vezes são feitas em série para ter um custo “menor”, sempre se pensa em casas de baixa qualidade com produtos de qualidade inferior, sendo este um dos grandes problemas dos fracassos das produções em série para habitações populares. Estas edificações muitas vezes apresentam precocemente problemas patológicos, que comprometem aspectos como de segurança e habitabilidade. Outras vezes ocorrem estados de degradação generalizados em prazos curtos de tempo.

Mitidieri Filho (1998) expõe que isso pode resultar no descrédito na construção industrializada, o que só poderá ser revertido com uma nova consciência sobre a avaliação de desempenho e as formas subseqüentes de controle de fabricação e execução ou montagem, que irá contribuir para a homologação de produtos e processos na construção civil, baseada em procedimentos de avaliação de desempenho como mecanismo de melhoria contínua da qualidade dos produtos inovadores.

Para Greven (2000), a comunidade técnica ligada à construção civil como um todo (os arquitetos e engenheiros em particular), assim como todas as cadeias produtivas de materiais de construção, possuem conhecimento e capacidade capazes de enfrentar o desafio de proporcionar habitações dignas a milhões de brasileiros. Segundo o autor, o governo deve fazer sua parte, proporcionando as condições necessárias e imprescindíveis para que se possa desenvolver a industrialização da construção e assim tentar minimizar pelo menos um pouco o déficit habitacional brasileiro.

No Brasil, a partir da década de 90, alguns empresários dos setores industrial, comercial e hoteleiro, começaram a se interessar pelo avanço da industrialização, e passaram a utilizar alguns tipos de painéis pré-fabricados em seus empreendimentos.

Esse interesse surgiu devido à necessidade dos ramos comercial e hoteleiro em obterem mais requinte nos seus acabamentos e fachadas, para maior valorização dos empreendimentos. Ressurgiu o interesse de utilizar os painéis pré-fabricados e fachada para edifícios de múltiplos pavimentos que incorporam detalhes construtivos e revestimentos em seu acabamento: os chamados painéis arquitetônicos. O uso destes painéis confere um aumento na velocidade de execução da construção e maior qualidade estética do produto final. Um exemplo de edificação do ramo hoteleiro de São Paulo (construído em 1997) é mostrado na Figura 01. Esta foi uma das primeiras edificações do ramo utilizando painéis pré-fabricados arquitetônicos. A partir de então vem crescendo sua utilização como alternativa ao emprego das alvenarias nas fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos (OLIVEIRA, 2002).



Figura 1- Fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (Edifício Blue Tree Tower – Morumbi) (OLIVEIRA, 2002).

2.1.2 Racionalização Construtiva

A distinção encontrada por Sabbatini (1989) para os conceitos de racionalização construtiva e racionalização da construção está em que há um caráter mais abrangente na racionalização da construção, o que a torna de grande complexidade e importância. Já o segundo termo possui um enfoque micro-econômico, e se refere à racionalização de técnicas construtivas, ou seja, está restrita apenas às atividades de produção de um empreendimento.

Barros (1996) enfatiza que a racionalização pode ser entendida como o esforço para tornar mais eficiente a atividade de construir, o esforço para se buscar a solução ótima para os problemas específicos.

Para alguns autores, este conceito é muito abrangente e extrapola a aplicação de medidas de otimização às fases dos empreendimentos da construção civil. Sendo assim, a mesma passa pela mudança de todo o setor da construção e depende de muitas ações institucionais, como adoção por todo o setor de normalização e padronização.

Sabbatini (1989), por sua vez destaca que “a racionalização é entendida como um processo complexo, de fundamental importância para a atividade construtiva e com reflexos econômicos e sociais importantíssimos na sociedade como um todo”. Isto também pode ser entendido como a otimização das atividades, em que são aplicadas as técnicas e os métodos construtivos como uma forma de se alcançar um melhor resultado no desenvolvimento destes empreendimentos em específico.

Alguns autores também entendem a racionalização como parte ou instrumento da industrialização (FRANCO,1992).

Como um exemplo claro de busca por maior racionalização construtiva pode-se citar os painéis pré-fabricados, que transformam a execução da obra em um processo de montagem, visto que os mesmos são concebidos sob os princípios da coordenação modular, o que traz uma maior otimização à construção e confere maior racionalização do processo construtivo.

2.2 PRÉ-FABRICAÇÃO

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

Koncz (1995) define pré-fabricação como sendo um método industrial de construção em que elementos fabricados em grandes séries pelos métodos da construção em massa são montados nas obras mediante aparatos e dispositivos elevadores.

Para Hogg *et. al* (2002), a alvenaria pré-fabricada tem sido introduzida na indústria da construção com o objetivo de aumentar a eficiência, produção e a inovação dos projetos das obras.

De acordo com BIA – *Brick Industry Association* (1987), os métodos de pré-fabricação em alvenaria têm sido desenvolvidos por vários segmentos da indústria de blocos: empreiteiros, fabricantes de blocos, fabricantes de equipamentos e outros segmentos associados à indústria. Trazem vários desenvolvimentos recentes, que fazem a pré-fabricação de alvenaria de blocos possível. Outros fatores, como a pesquisa com melhores e novos tipos de unidades de tijolo e argamassa, têm ajudado no progresso rápido do processo de pré-fabricação nos EUA.

Segundo Schneider e Dickey (1994), a pré-fabricação oferece vantagens como baixo custo inicial e curto tempo de construção em uma edificação e tem possibilidades de versatilidade em função do espaço, oferecendo também expressão arquitetônica.

Avanços tem sido desenvolvidos para o uso efetivo de painéis pré-fabricados de alvenaria, os quais utilizam os benefícios deste método para certos tipos de construção, dentre os quais pode-se citar:

- agilidade de construção do painel;
- assentamento econômico da alvenaria executado por pequenas equipes de trabalho;
- estéticas e padrões de assentamento, que não poderiam ser possíveis na construção *in loco*;
- interface mínima com outras operações de local de edifício e facilitação do trabalho de outros comércios de edifício.

A Figura 2 mostra um recente exemplo de pré-fabricação em Santa Ana – Califórnia – EUA.

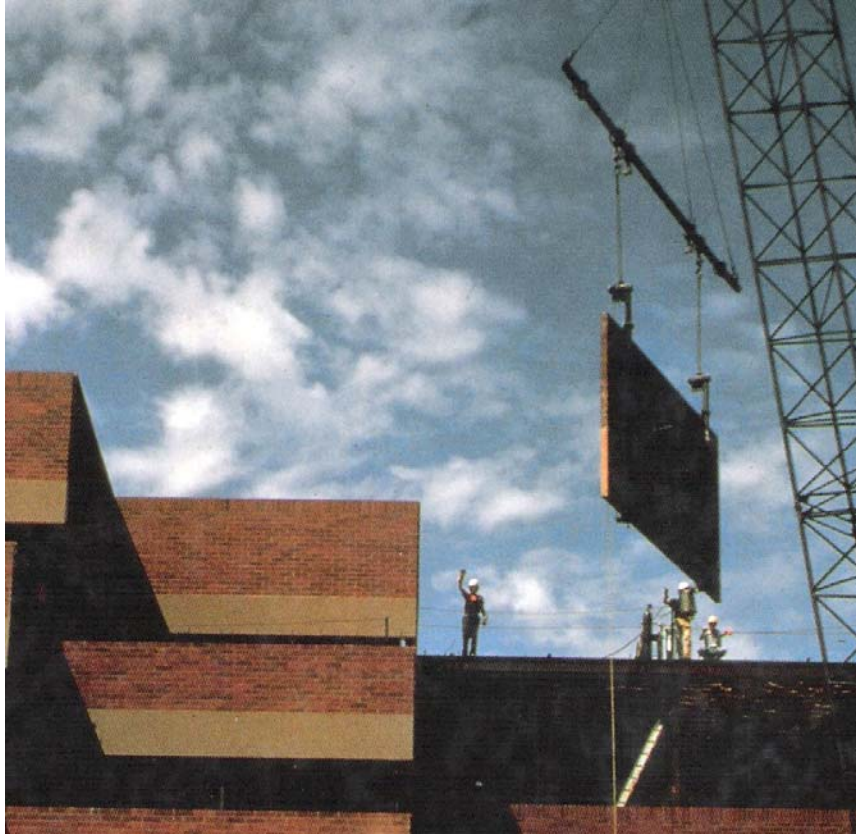


Figura 2 – Orange County Professional Building, Santa Ana –California – EUA (SCHNEIDER E DICKEY (1994).

Um dos possíveis meios para incrementar os níveis de industrialização do setor da construção civil é a pré-fabricação, pois a eficiência em seu processo de produção é função do cumprimento de tarefas como organização e planejamento, redução no consumo de materiais e mão-de-obra, aumento de produtividade e ganho de qualidade.

Por mais de 40 anos, os processos construtivos utilizados na construção de edifícios em alvenaria provaram ser um método de construção seguro. A racionalização e a administração da qualidade das obras se torna cada dia mais importante na construção das edificações. Com o uso de elementos de parede pré-fabricados, a velocidade da construção pode ser aumentada, e com a ajuda de equipamentos industriais automatizados, os componentes das edificações são produzidos em fábrica de forma que a edificação inteira pode ser montada posteriormente no local da construção do edifício dentro de um espaço muito curto de tempo (KRECHTING, 2004).

Este mesmo autor cita as vantagens alcançadas na pré-fabricação e argumenta que para se obter êxito neste mercado, é decisivo e de extrema importância, mostrar aos usuários e fabricantes sobre os benefícios alcançados em se utilizar este tipo de processo construtivo.

Os processos de alvenaria pré-moldada podem ser divididos em duas categorias: processo total de pré-moldagem e processos de pré-fabricação parcial. Este último pode variar da fabricação de itens simples até a de paredes de vedação combinando partes pré-moldadas juntamente com o processo convencional. As técnicas de pré-fabricação mostram a necessidade de um local seco e de equipamentos adequados para o transporte das peças. Na obra, a movimentação pode ser feita com guindastes móveis (Figura 3).



Figura 3 – (a) e (b) – Movimentação de painel por meio de guindaste móvel.

Os procedimentos de industrialização da alvenaria exigem que os produtos (unidades) sejam adequados aos processos e projetos e que o controle de qualidade seja relacionado ao tempo e custo.

Além disto, a pré-fabricação pode também absorver os aspectos positivos da teoria de construção enxuta (*lean construction*) e a dinâmica moderna de padronização, diminuindo os custos do processo e garantindo a certeza de qualidade do produto.

Este processo construtivo com painéis pré-fabricados depende também da organização da cadeia de fornecedores. Esta, quando bem organizada, é importante

para a redução de tempo e custo da produção. Da mesma forma, as perdas dos processos, devidas a atividades que não agregam valor aos mesmos, podem ser removidas sem prejuízos da qualidade do acabamento e do valor da construção. O contínuo melhoramento do processo ocasiona melhorias de desempenho, qualidade dos acabamentos e valor do processo.

De acordo com Roman (2000), os benefícios potenciais do processo são:

- menor custo de construção, tanto para painéis estruturais quanto para painéis de vedação de estruturas de concreto;
- benefícios financeiros pela antecipação da construção, ocupação e vendas;
- aumento do controle de qualidade associado à maior velocidade de construção e produção efetiva de elementos simultaneamente;
- possibilidade de construção sem restrições climáticas;
- redução do custo de aluguel de andaimes e aceleração das tarefas seguintes;
- melhor entendimento dos riscos de projetos e desperdícios associados a estes, com conseqüente redução de custo dos mesmos;
- maior efetividade na monitoração do produto com eliminação de desperdício;
- possibilidade de uso de sistemas de fixação padronizados para os painéis de alvenaria;
- possibilidade de colocação de painéis com os acabamentos todos incorporados;

A pré-fabricação de painéis de alvenaria com blocos cerâmicos é um campo que está em rápido desenvolvimento e promete mais inovações para o futuro, as quais poderão afetar grandemente seu valor como uma solução de projeto (BIA, 1987).

2.3 PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS COM BLOCOS CERÂMICOS

Os processos de construção em painéis pré-fabricados com elementos em cerâmica têm sido utilizados cada vez mais em países como Inglaterra, Estados Unidos da América, Alemanha e outros. O uso deste processo construtivo visa, ao mesmo tempo, conservar as vantagens funcionais e estéticas das construções em alvenaria e eliminar os problemas mais sérios deste processo, ou seja, perdas de tempos devido à chuva, dificuldade de implementação de métodos de estocagem de materiais e de controle de qualidade das construções.

A situação dos painéis pré-fabricados na Europa é melhor e diferente de muitos outros países, como os exemplos apresentados no item a seguir demonstrarão.

2.3.1 Experiência internacional

A partir da segunda guerra mundial a execução das alvenarias começou a ser transferida para fora do canteiro de obra, após ter passando por estágios sucessivos de evolução tecnológica ao longo do tempo.

Em 1963, a França estabelece novas normas e incentivos para a introdução no mercado de elementos pré-fabricados dentro do processo aberto de produção. As construtoras são obrigadas a escolher, entre outros produtos, painéis de vedação, portantes ou de fachadas que obedeçam aos rígidos critérios de coordenação modular e qualidade. O objetivo destas novas normas era aumentar a produção de elementos pré-fabricados e baixar os custos das edificações. Após verificar que a estrutura financeira das empresas construtoras privadas não permitia investimentos consideráveis foi criado um novo setor chamado “Setor de Desenvolvimento de Novos Sistemas”, com contribuição financeira estatal através de contratos de invenção e desenvolvimento de produtos para a construção civil. Esse modelo foi adotado nos países europeus e nos Estados Unidos. Revel (1973), em sua publicação *La Préfabrication Dans La Construction*, cita alguns sistemas de pré-fabricação com painéis cerâmicos que foram aplicados na Europa, dentro da lógica da industrialização fechada que prevalecia nesse período

CASO 1

O processo construtivo *Costamagna* de pré-fabricados foi um dos primeiros a utilizar blocos cerâmicos vazados na França, em substituição aos painéis que utilizavam concreto em sua conformação. Este processo foi considerado uma evolução devido às exigências de conforto térmico, pois os painéis de concreto eram obrigados a utilizar serpentinas para a calefação dos elementos de fachada dos edifícios (Figura 04), ou a utilização de espessas camadas de isolantes térmicos em sua composição (REVEL, 1973).

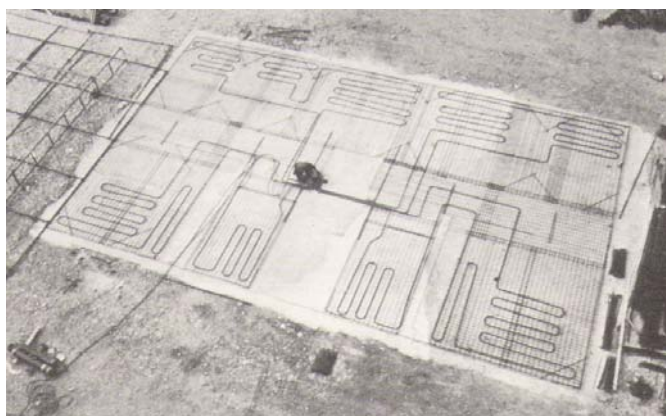


Figura 4 – Serpentinhas utilizadas para calefação dos painéis (REVEL,1973).

Em todos os tipos de painéis do processo construtivo *Costamagna* eram utilizados blocos cerâmicos vazados com os septos posicionados na vertical, explorando ao máximo as potencialidades de sua resistência mecânica e também permitindo a convecção térmica no interior dos elementos. Para a disposição dos blocos, o assentamento era feito em amarrações contrafiada e após eram moldados com uma camada de argamassa que permitia a variação dimensional dos comprimentos e espessura das paredes (Figura 5).

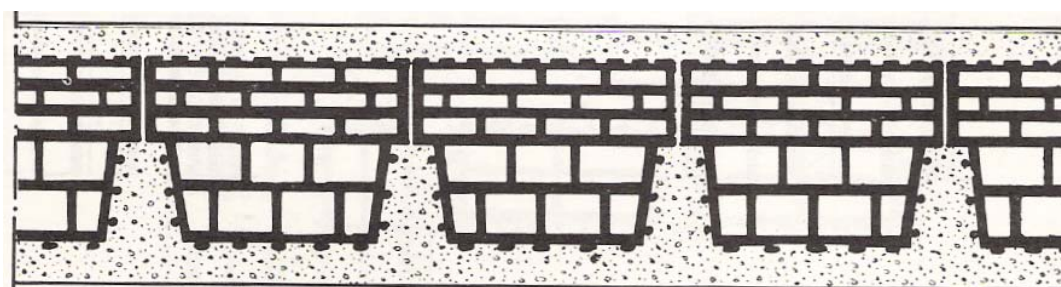


Figura 5 – Disposição dos blocos do sistema *Costamagna* (REVEL,1973).

Os painéis portantes possuíam encaixe nas laterais que permitia o ajuste no momento das fixações e que também servia para a proteção das ligações e para proteção dos materiais selantes (Figura 6). As juntas horizontais eram moldadas de cimento plastificado e nas verticais de um tipo de selante plástico- betuminoso. Para o selamento das juntas, utilizava-se um tipo de cilindro de “goma esponjosa” a qual era aplicada sob pressão nas faces internas dos painéis. Em quase todas as obras executadas com o sistema, utilizavam-se nos painéis acabamentos laváveis e portanto de fácil manutenção, como os mosaicos de cerâmica esmaltada, as pedras polidas ou tijolos a vista.

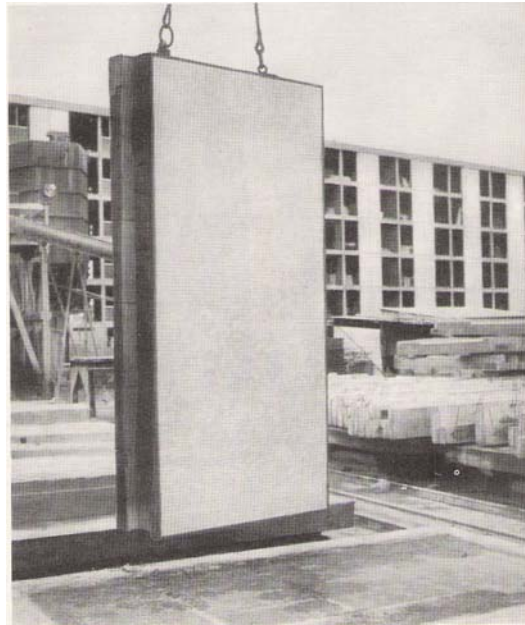


Figura 6 – Painel Costamagna (REVEL,1973).

CASO 2

Outro processo construtivo constituído de painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos e também desenvolvido na França foi o *Technove*. Este processo construtivo se constituía em uma camada dupla de blocos cerâmicos interligados por uma camada de argamassa com argila expandida (Figura 07).

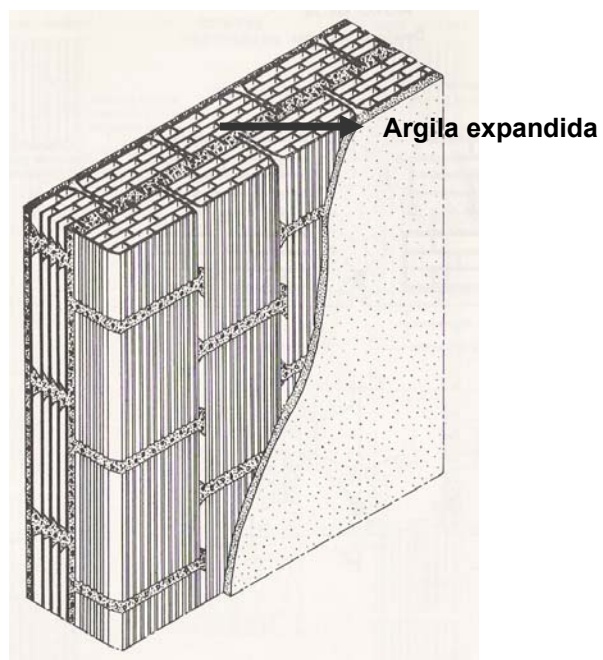


Figura 7 – Detalhe do painel *Technove*, (REVEL, 1973).

Os blocos eram assentados com juntas de amarração e esse processo construtivo se caracterizava por não possuir armaduras, exceto as ancoragens de içamento. Para a moldagem eram utilizadas fôrmas metálicas basculantes que se ajustavam de acordo com as dimensões (Figura 08) e permitiam a incorporação de tubulações e acessórios para instalações hidráulicas e elétricas quando necessário.



Figura 8 – Moldagem do painel em fôrma basculante (REVEL, 1973).

CASO 3

Na Alemanha a empresa *ARCave* é especializada na construção de abóbadas cerâmicas pré-fabricadas para adegas, apresentadas na Figura 09. As abóbadas são montadas mediante a união das mesmas cuja diretriz de seção forma uma envolvente contínua de paredes retas que se curvam configurando assim uma abóbada semi-circular

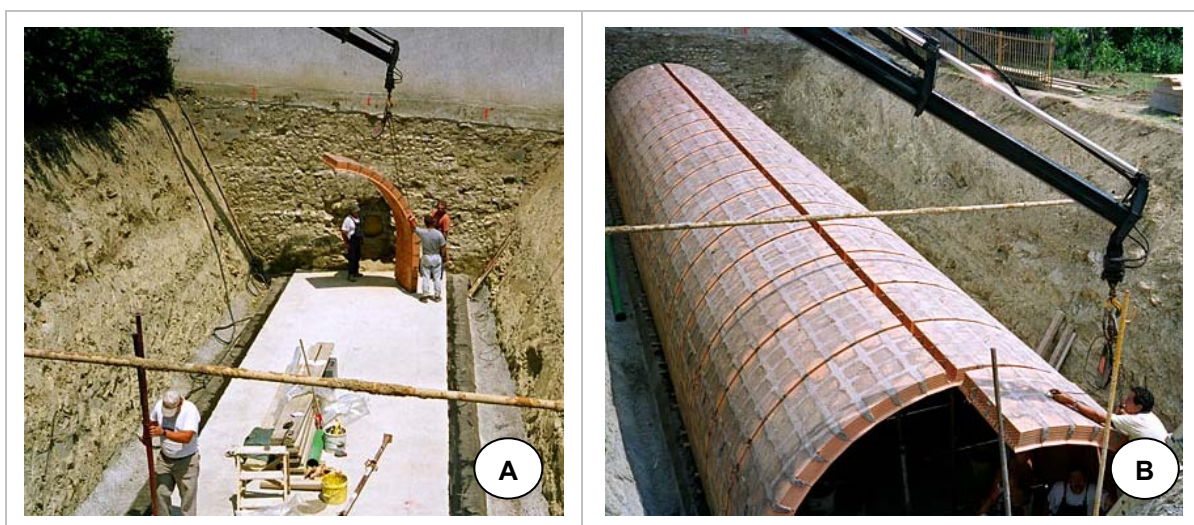


Figura 9 (a) e (b) – Içamento e montagem das abóbadas com o sistema *ARCave* (Sarrablo, 2001)

As dimensões das seções são variáveis, mas basicamente se compõem por unidades cerâmicas de aproximadamente 100 cm de largura, cuja longitude pode ser de 1,80m até 9m, com raios desde 0,90m até 4,50m e espessura variando de 16,5 a 24 cm (sem contar o capeamento).

De acordo com Parizotto (2004), este é um exemplo de flexibilidade na pré-fabricação, pois os painéis podem apresentar dimensões variadas, sem variar significativamente o sistema de produção, mas configurando um sistema de fabricação com ajustes modulares, que permitem uma flexibilidade formal e compositiva.

CASO 4

Os dois casos relatados a seguir fazem parte de uma pesquisa realizada pelo professor Brian Hobbs da Universidade de Teeside (UK), que descreveu 22 estudos de caso de obras em alvenaria (HOBBS e DAWOOD, 2000). Os dois casos relatados a seguir tratam de obras em painéis de alvenaria cerâmica pré-fabricada. O objetivo principal deste estudo foi elevar a consciência do potencial da alvenaria para a melhoria da construção, mantendo sua competitividade no mercado local e sua habilidade para satisfazer às necessidades de mudança dos clientes e após apresentar e discutir as descobertas feitas durante os estudos de caso.

ANLIKER GmbH, Reidlingen, Alemanha

Em 1986, Franz Anliker fundou na Alemanha, uma fábrica que possui um sistema totalmente automatizado de assentamento das fiadas dos blocos, associado a uma plataforma de desenho *CAD/CAM*, onde o assentamento é comandado eletronicamente por uma máquina (Figura 10). A máquina é capaz de produzir alvenaria na velocidade de 30 a 40 m² por hora, e este tipo de produção de alvenaria trouxe algumas vantagens como diminuição do tempo de produção, eliminação do oneroso fator habilidade (necessário para os assentadores nas atividades de assentamento), minimização do trabalho necessário para as atividades e redução dos desperdícios.

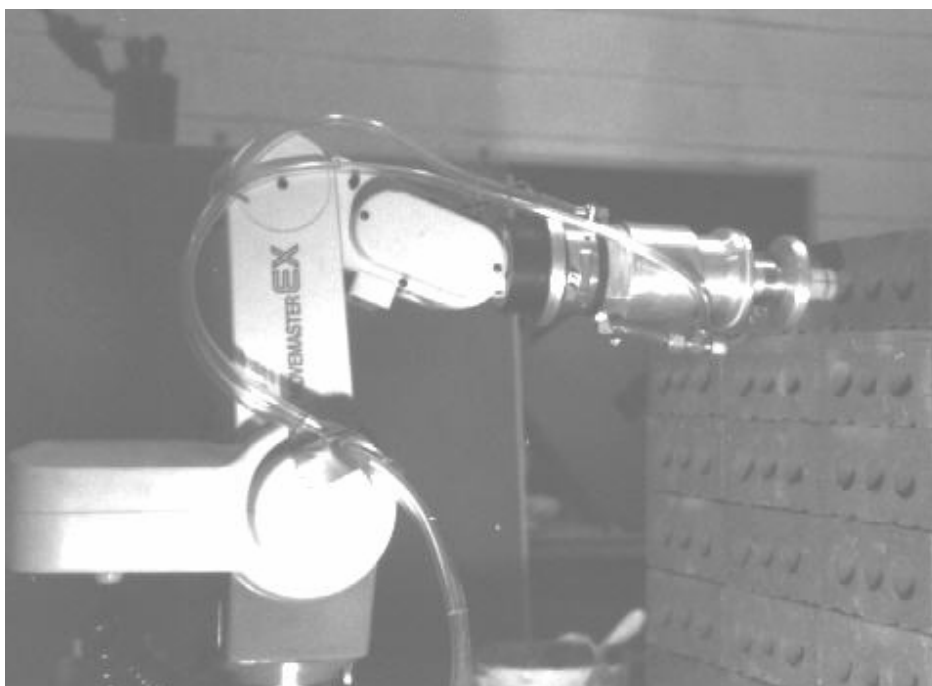


Figura 10 – Apanhador pneumático de tijolos (RIHANI e BERNOLD, 1994)

Para Anlikers, o software “WANDPLAN” – utilizado no sistema automatizado possui uma interface eficaz entre o projeto de arquitetos e os detalhes de produção.

A máquina utilizada neste processo – Multistone 800 – é totalmente automatizada e composta por uma mesa giratória para assentamento dos tijolos. É operada apenas por um homem. Com o uso do CAM (*Computer Aided Manufacture*), a máquina pode identificar argamassas, necessidades de cortes, localização de reforços, detalhes de portas e janelas, especificação de vergas e pontos de içamento do painel. Todas essas operações são acabadas dentro da fábrica, livre das condições de restrições climáticas (BLEY e ANLIKERS, 1994).

Vet-O-Vitz, Brunswick, Ohio, Estados Unidos

Vet-O-Vitz-O-Vitz Inc. é uma empresa de alvenaria que opera na costa leste dos Estados Unidos e especializou-se em painéis pré-fabricados de alvenaria, os quais vêm sendo produzidos por aproximadamente 30 anos. Neste período a empresa fabricou e edificou aproximadamente 300 projetos num total de 9.000 painéis. O engenheiro de projeto da empresa esclarece que devido à montagem da alvenaria ser realizada na fábrica, o processo traz um maior controle de qualidade e a economia obtida neste processo é o maior fator de atração.

Segundo o engenheiro de projetos da fábrica pode-se relatar as vantagens da utilização deste processo construtivo, descritas a seguir (HOBBS e DAWOOD, 2000).

- o arquiteto pode adicionar ao projeto mais detalhamentos a um custo reduzido;
- alta flexibilidade no processo, associada à fabricação fora do canteiro de obras e a um rígido controle de qualidade que resulta em economia;
- substancial redução no tempo de construção;
- redução de custos preliminares e menor congestionamento de pessoal no canteiro de obras.
- os custos preliminares são reduzidos, assim como o congestionamento no local de acesso ao edifício, devido às etapas construtivas que são executadas em fábrica.

A Figura 11 abaixo mostra alguns detalhes do processo, como a forma em que são confeccionados em fábrica e após o painel pronto para ser transportado. Os perfis de aço são inseridos no interior do painel e servem para melhorar a sua resistência mecânica, fixação do painel na estrutura do edifício e também são auxiliares no transporte. O sistema explora a modulação do bloco, com aparência de um tijolo maciço comum, podendo os elementos serem aplicados na obra sem o revestimento externo.

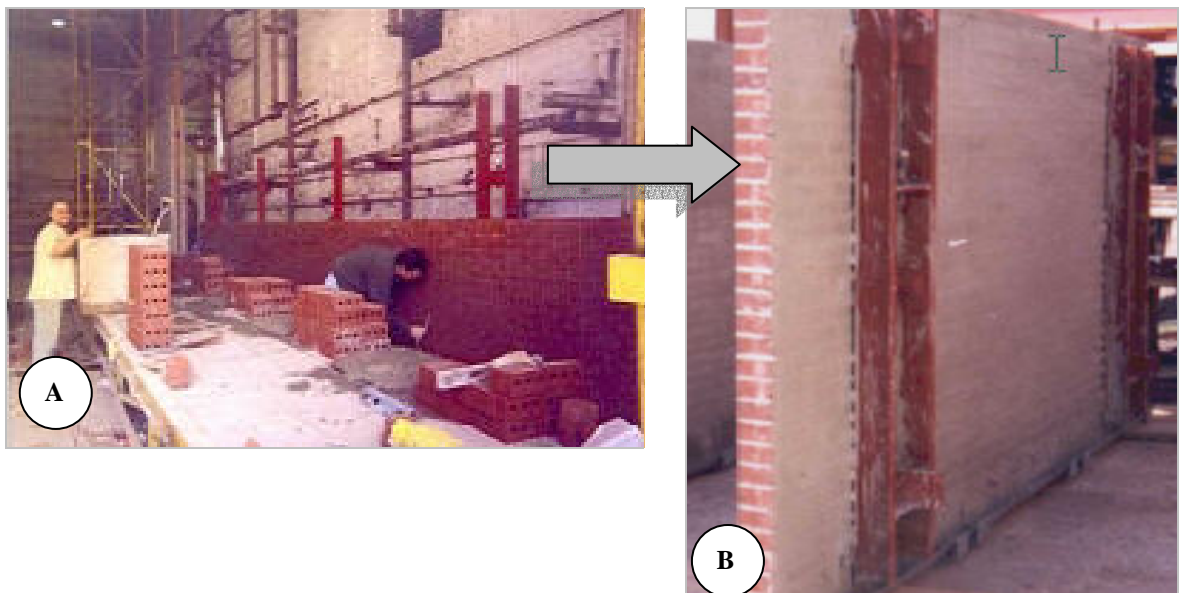


Figura 11 – (A) Forma de confecção dos painéis e (B) Painel pronto para transporte (Hobbs e Dawood, 2000).

CASO 5

Os blocos cerâmicos da indústria JUWO Poroton na Alemanha, estão disponíveis em tamanhos de 490x300x238 mm (comprimento x espessura x altura). Estes são produzidos pela mistura de poliestireno expandido com a mistura de cerâmica, antes da extrusão, o que torna seu peso mais leve, e resulta em um aumento das propriedades térmicas. Os cuidados com a base superior e inferior (retificados) destes blocos é bem maior, para que possa ser útil para o uso de uma fina camada de argamassa.

Para aplicação da argamassa no assentamento destes blocos, um novo procedimento foi desenvolvido, o qual é mostrado na Figura 12. Esta nova maneira de assentar os blocos é uma tentativa de economia de tempo sobre o assentamento convencional. O uso desta fina camada de argamassa se torna mais vantajoso pois a mesma fixa rapidamente, ou seja, sua cura é em tempo bem menor do que uma argamassa de assentamento convencional. Isto, permite a alvenaria ser içada em um curto tempo após o assentamento e admite também imediato reboco (HENDRY, 2001).

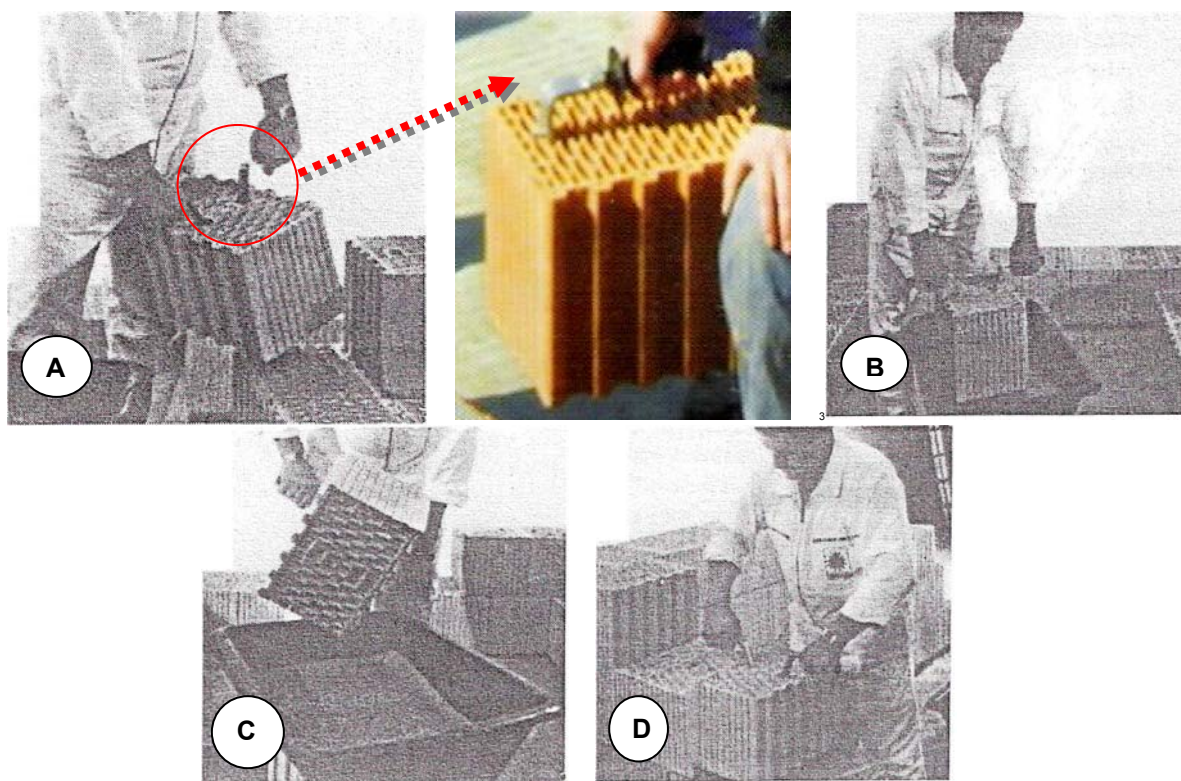


Figura 12- Assentamento do sistema de blocos *JUWO Poroton Planziegel*, A – Bloco sendo erguido para a fiada com ferramenta especial de fixação, B – Aplicação da argamassa na base do bloco, onde será usada uma fina camada de argamassa, C – A argamassa adere a cerâmica, D – Assentamento do bloco sobre a fiada (HENDRY, 2001).

2.3.2 Experiência Nacional

Serão descritas a seguir algumas experiências nacionais em painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos, encontradas em bibliografias consultadas.

Processo Construtivo IPT – São Paulo

Para enfrentar os problemas habitacionais no país, o IPT, na década de 80 desenvolveu um processo construtivo baseado em painéis pré-fabricados com o uso intensivo de elementos cerâmicos.

Mitidieri Filho e Cavalheiro (1988) relatam que para enfrentar os problemas habitacionais é necessária a adoção de medidas eficazes de natureza não só política, mas também administrativa. Desenvolver um processo construtivo que possibilite construir a baixo custo um grande número de habitações e em curto espaço de tempo. O estudo realizado pelo IPT também almejava um desempenho satisfatório da unidade habitacional, fator muitas vezes deixado de ser levado em consideração. Os autores citam um ponto principal que deve ser ponderado sempre que se pretende utilizar processos construtivos de outros países ou até mesmo de outros estados, o qual trata das características de cada região no que se refere a materiais, mão-de-obra disponíveis, recursos financeiros e clima. Estes fatores devem ser analisados, pois sempre haverá processos mais viáveis adequados dependendo das características técnicas e econômicas de cada região.

Para o desenvolvimento do processo construtivo IPT, estudos foram efetuados e em uma primeira fase indicaram a viabilidade do emprego destes painéis na composição de habitações térreas. A partir deste momento se passou para a segunda fase dos estudos, o desenvolvimento do processo, que estava de acordo com a metodologia do artigo intitulado “Desenvolvimento de Sistemas Construtivos em Painéis Cerâmicos” (MITIDIERI FILHO e CAVALHEIRO, 1988).

Esta segunda fase da pesquisa desenvolvida pelo IPT constou de:

- elaboração do anteprojeto do processo construtivo;
- desenvolvimento de componentes cerâmicos para a fabricação de painéis;
- desenvolvimento do processo de produção dos componentes do sistema;

- fabricação experimental dos componentes;
- construção de um protótipo no campus do IPT;
- pré-avaliação dos custos de produção dos painéis e de montagem;
- construção do protótipo;
- avaliação do desempenho do processo construtivo.

Este processo construtivo era constituído basicamente, pelos seguintes componentes pré-fabricados: painel-parede, painel-laje e pilarete de junção, conforme Figura 13. Esses componentes associados a outros materiais e componentes, cumpriam as funções de vedação, estruturais e de compartimentação da edificação, tendo sido projetados também para atender às demais exigências de comportamento térmico e acústico e resistência à ação do fogo.

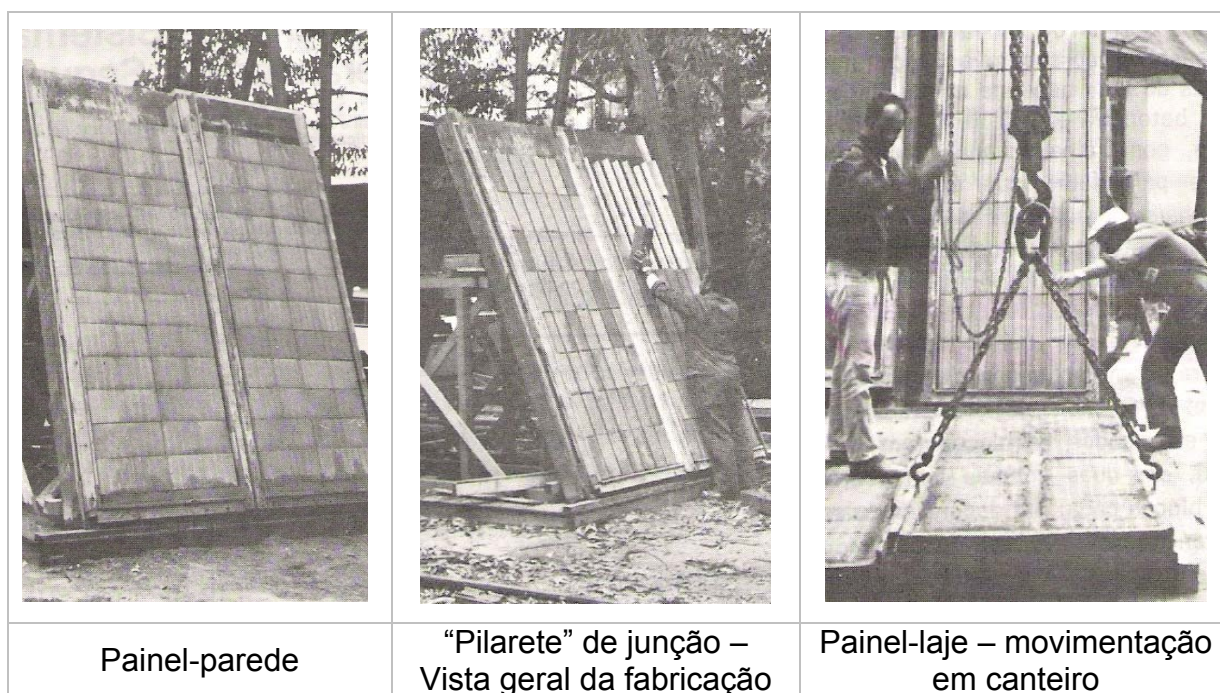


Figura 13 – Tipos de componentes do processo construtivo do IPT (MITIDIARI FILHO e CAVALHEIRO, 1988).

Com estes painéis foi construído um protótipo para facilitar a verificação da versatilidade do processo e os pontos que ainda necessitam de algum desenvolvimento. Após a construção do protótipo com base em uma quantificação preliminar dos custos de produção dos painéis e de execução do protótipo, os autores chegaram à conclusão de que o processo é economicamente viável. Em uma pré-avaliação econômica, o processo indicou um custo que atingiu cerca de 75% do custo unitário de unidades térreas autônomas (padrão baixo) construídas no processo

convencional. Em relação ao aspecto estrutural, os painéis apresentaram desempenho satisfatório, principalmente no que se relaciona à resistência a cargas verticais e a impactos de corpo mole. Os painéis do tipo laje apresentaram flechas superiores às admissíveis, necessitando de algum desenvolvimento adicional.

Mitidieri Filho e Cavalheiro (1988) concluíram após estudo realizado, que o processo construtivo ao ser colocado à disposição do setor da construção civil poderia representar uma importante alternativa na solução do déficit habitacional do país.

Kit Casa Pré-Fabricada Ltda – Painéis JET CASA – São José do Rio Preto –SP

IPT (2003) faz uma descrição dos painéis cerâmicos pré-fabricados “JET CASA”, destinados à construção de paredes de unidades habitacionais térreas isoladas. Estes painéis são constituídos de blocos cerâmicos vazados e nervuras de concreto armado. As paredes das unidades habitacionais caracterizam-se pela união entre os painéis pré-fabricados, que são devidamente apoiados sobre a fundação já executada.

Os painéis são executados em linha de produção horizontal fixa na indústria. Nestes painéis são empregados elementos regionais, como os blocos cerâmicos, e materiais como concreto, aço e argamassa, utilizados na conformação das nervuras e juntas, conforme a Figura 14.

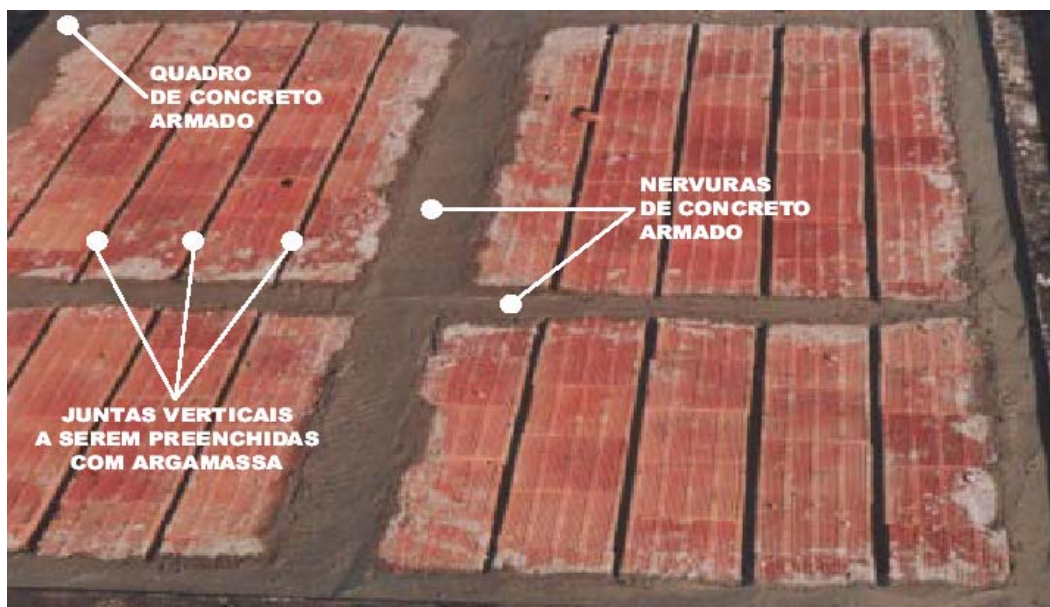


Figura 14 – Painel com as nervuras, quadro de concreto armado e juntas verticais preenchidas com argamassa (IPT,2003).

A ligação mecânica entre os painéis é realizada por meio de soldas de barras e chapas de aço especialmente posicionadas para esta finalidade, protegidos por argamassa ou selante.

Os componentes hidráulicos e elétricos como tubulações, caixas elétricas e conexões são embutidos no painel na sua fabricação. Os painéis acabados incluindo o revestimento possuem espessura final de 11 cm, altura de 2,8 à 3,10m e seu comprimento pode variar de 1,3 a 3,2m.

Após a fabricação e cura, os painéis são transportados até o local da obra, sendo descarregados e assentados sobre a fundação com auxílio um caminhão com lança telescópica ou grua (Figura 15).



Figura 15 – Painéis pré-fabricados sendo içados do local de armazenamento (IPT,2003)

Morada estudantil Unicamp – SP

Em 1982, o arquiteto Joan Villá iniciou no Laboratório de Habitação do curso de Arquitetura da Faculdade de Belas Artes de São Paulo o desenvolvimento de um processo construtivo composto de painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos, e contando com a ajuda de outros profissionais na sua concepção e desenvolvimento (PARIZOTTO,2004).

Movimentos sociais pela habitação eram realizados nesta época e a população exigia soluções de auto-gestão para a produção habitacional. Neste contexto e

objetivando o desenvolvimento de propostas inovadoras para a produção habitacional de interesse social, o Laboratório de Habitação do curso de Arquitetura da Faculdade de Belas Artes de São Paulo entrava com os serviços de engenharia e arquitetura.

A opção pela cerâmica foi devido à qualidade tradicional deste material, e também por se apresentar como um material conhecido pela população. Observando esta tecnologia desenvolvida no Uruguai, onde boa parte das cooperativas de construção por ajuda mútua já vinha edificando habitações com tecnologia de pré-fabricação que buscava a diminuição de custos e aumento da velocidade de construção, Villá resolveu aplicá-la no Brasil. No desenvolvimento deste processo resolveu substituir os tijolos maciços por blocos vazados do tipo tabelas, que são mais leves, e aplicá-los não somente na construção de lajes, mas também na construção de paredes, escadas, etc.

Em 1984, devido à situação econômica, o Laboratório de Habitação da Faculdade Belas Artes foi fechado e Joan Villá (autor do processo construtivo) transferiu-se para a Universidade Estadual de Campinas, dando início à fase em que o seu processo construtivo teve o maior desenvolvimento.

Durante o ano de 1985 o laboratório desenvolveu diferentes tipos de painéis (parede, cobertura e escada) e assim ficou definida a família de painéis que viriam a permitir a produção de unidades térreas e de pavimentos, constituindo assim uma pré-fabricação cerâmica integral.

Durante os meses de março de 1986 a março de 1987 foi montado um canteiro experimental constituído de dois protótipos: um térreo e outro de dois pavimentos. A partir da demanda pelo processo, foi propiciada a construção da morada estudantil, moradia dos funcionários, restaurante e creche, dentro do próprio campus da Unicamp e todos eles com o mesmo processo de pré-fabricação com cerâmica vermelha.

Para a composição dos painéis modulares, o processo baseava-se na coordenação modular de materiais tradicionais de cerâmica vermelha, como blocos e telhas. A seguinte tipologia construtiva foi definida para a família dos painéis: painéis curvos, painéis de cobertura com telhas, painéis de escada, painéis de parede estrutural, painéis de parede vedação, painéis de parede com instalações embutidas e painéis de laje plano para forro e piso. A Figura 16 mostra as etapas de montagem da laje de cobertura curva e a edificação (Casa Lago – UNICAMP) concluída.



Figura 16 – (A) e (B)Etapas da montagem e (C) Casa do Lago (UNICAMP) concluída (Sarrablo,2001)

Villà (1995) relata que ao se utilizar este processo construtivo foram observadas as seguintes vantagens: componentes fáceis de construir, bom acabamento sem a necessidade de revestimento, estrutura e fechamentos definidos concomitantemente, flexibilidade garantindo um amplo espectro de soluções e facilidade de produção tanto em escala industrial como em equipes.

Painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos GDA/LABSISCO/UFSC – SC

Os pesquisadores do Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria (GDA) e do Laboratório de Sistemas Construtivos (LABSISCO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com consultores nacionais e internacionais da Universidade de Teeside (Inglaterra), vêm desenvolvendo desde o ano de 2001 a “Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Construtivos Industrializados em Cerâmica Estrutural”. Esta pesquisa objetiva oferecer ao mercado soluções construtivas otimizadas na forma de painéis cerâmicos estruturais pré-fabricados, a partir da fábrica e/ou montados nos canteiros-de-obras, com a finalidade de contribuir para a melhoria da qualidade, redução dos desperdícios e custos, e

aumento da produtividade e competitividade, tanto para o setor cerâmico quanto para o da construção.

O processo consiste basicamente na pré-fabricação de painéis estruturais de parede e de cobertura, constituídos por blocos cerâmicos vazados, argamassa armada, argamassa colante, argamassa de revestimento e elementos de fixação. Foram concebidos para atender além da função estrutural, a função de vedação e de isolamento termo-acústico (CESAR, 2004).

A fase de desenvolvimento deste processo construtivo foi evoluindo até se obter o tipo final.

Inicialmente, foram estipulados os seguintes parâmetros para o desenvolvimento do processo construtivo de painéis pré-fabricados:

- bom desempenho estrutural;
- possibilitar o posterior encaixe entre os painéis;
- permitir o grauteamento posterior do painel, o que propicia amarração estrutural para o conjunto;
- otimizar o transporte e acomodação do mesmo tanto em fábrica como *in situ*;
- possibilitar a acoplagem de dutos elétricos e hidráulicos que compõe a edificação.

Para tentar obter os parâmetros almejados foi iniciada a moldagem de alguns protótipos. O primeiro protótipo de painel possuía as seguintes dimensões 15 (espessura) x 50 (largura) x 260 (altura).

Neste protótipo, primeiramente os blocos eram assentados com auxílio de mesa inclinada (construída em madeira) e uma espécie de fôrma foi utilizada para aprumar os blocos. Após a colocação da primeira fiada de blocos a argamassa era aplicada com o auxílio de um rolo de pintura (Figura 17 – A) e em seguida era posicionada uma tela metálica em cima da fiada (Figura 17 – B). Estas telas foram utilizadas para que se evitassem os esforços diferenciais atuantes no momento do transporte e que podem ocasionar fissuras no painel.

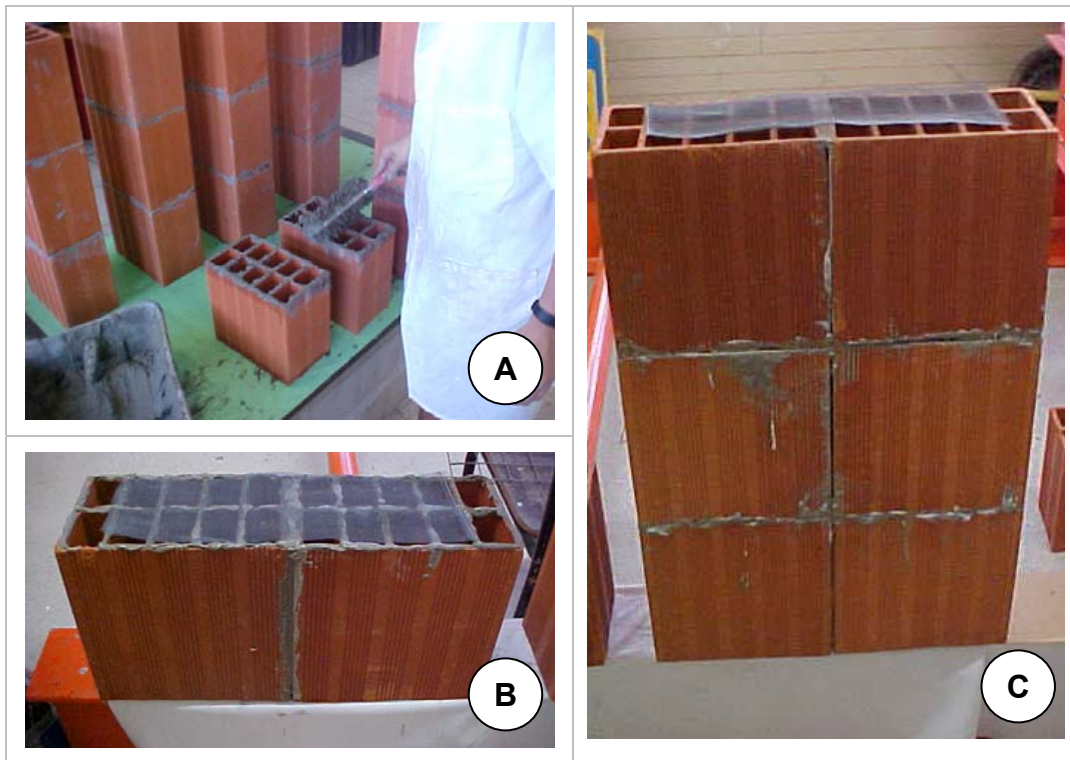


Figura 17 – (A) Aplicação da argamassa com rolo e (B e C) Tela metálica sendo posicionada (Fonte: acervo próprio)

Esta idéia foi logo descartada, pois não haveria como içar os painéis, a tela tinha um custo elevado, havia dificuldade em cortá-la, e pela falta de planicidade da superfície era necessária uma camada maior de argamassa.

Em decorrência destes problemas, buscou-se no mercado e em pesquisas, novos materiais e soluções que favorecessem o processo e novas idéias acerca do problema foram surgindo.

O segundo protótipo de painel foi moldado, e neste foi dada continuidade a mesma técnica utilizada para o assentamento dos blocos com argamassa colante passada com rolo. Nesta nova fase após o painel ser moldado, dava-se início ao grauteamento dos dois furos mais ao extremo de cada lado (Figura 18 –A). Como se procurava também melhor desempenho estrutural foram colocadas uma barra de aço em cada lado do painel (Figura 18 – B). Esta barra, colocada em U invertido permitia que o painel fosse levantado.

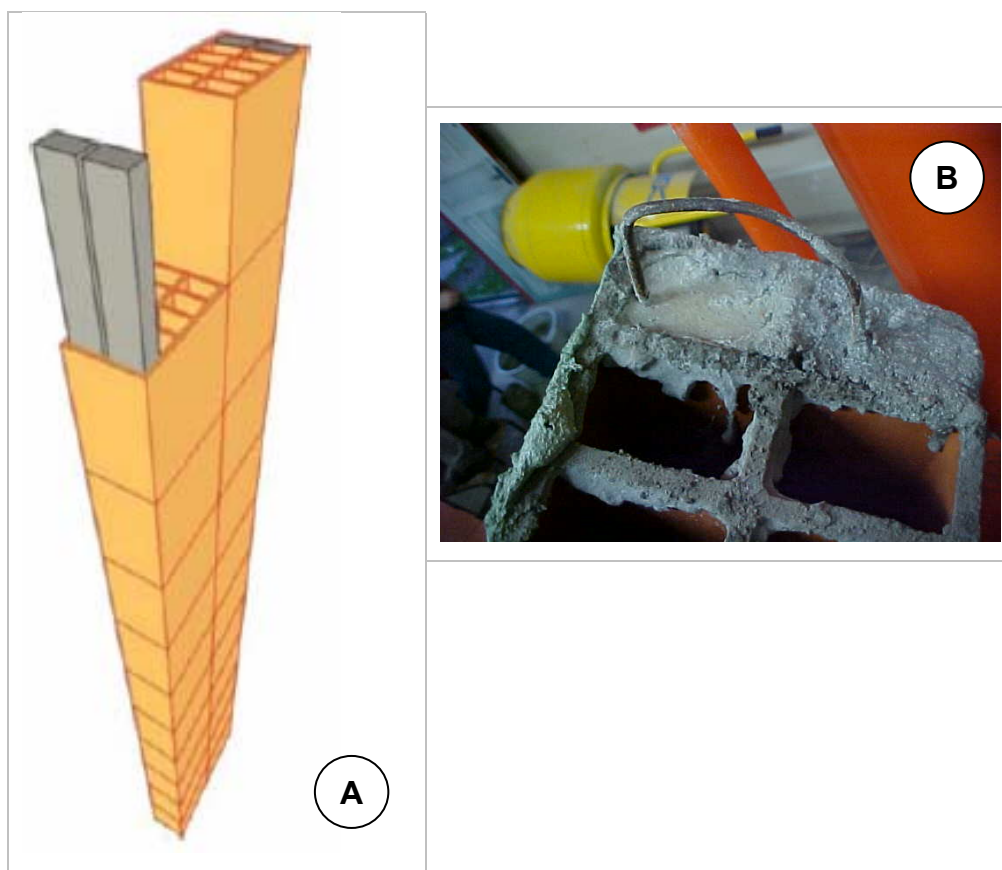


Figura 18 – (A) Desenho do protótipo de painel grauteado nas extremidades e (B) Gancho grauteado ao painel para auxiliar no içamento

Pode-se observar na Figura 18 -B que o tamanho reduzido dos furos dificultava o processo de colocação do graute. O método mostrou ser inadequado pois demandava muito tempo para a execução.

Os dois estudos preliminares, mostraram a necessidade de utilização de um quadro rígido envolvendo o painel. Este além de facilitar a fabricação, favoreceria a movimentação e permitiria a fabricação de painéis maiores.

Assim foi dado início ao projeto de um novo painel. Inicialmente, a prioridade estava ligada à iniciativa de ampliação nas dimensões do painel. Este procedimento fora tomado no intuito de diminuir o número de juntas entre os painéis prontos e reduzir o custo da fabricação da peça.

O primeiro protótipo elaborado (Figura 19) era feito com um quadro rígido no contorno do painel utilizando telas metálicas nas extremidades superior e inferior, bem como uma outra no rodapé. Este protótipo fazia uso do bloco cerâmico de 12cm de largura (3cm a menos do que os blocos das fiadas subseqüentes). Em ambas as laterais, treliças metálicas faziam o fechamento deste quadro rígido envoltório. Uma

argamassa de reforço, desenvolvida por outros pesquisadores do grupo, seria aplicada sobre estes componentes metálicos. Basicamente o quadro rígido em questão desempenharia dupla função: suportar os esforços solicitantes na obra já concluída e evitar as fissuras decorrentes da movimentação do painel em algumas das etapas do processo seja na fabricação, acomodação ou transporte.

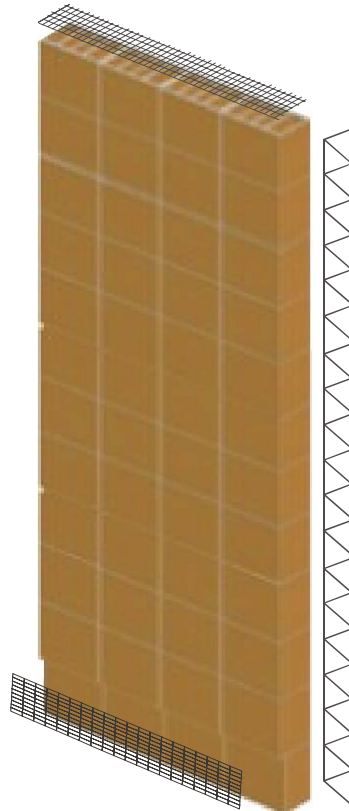


Figura 19 – Protótipo gerado no Archicad com telas metálicas (BARTH E CARDOSO, 2003)

Optou-se pela utilização de um único material (a tela metálica) na elaboração do quadro rígido (Figura 20). A seguir expõe-se a alteração efetuada no painel-protótipo, bem como o detalhamento do processo de fabricação dos mesmos.



Figura 20 – (A) Moldagem do painel, (B) Detalhamento da tela metálica junto com o inserte e (C) Tipologia final do painel (BARTH E CARDOSO, 2003)

O tipo final do painel foi resultado da busca por maior produtividade e economia do processo, trazidas pelo aumento das dimensões adotadas. A função principal deste quadro com argamassa no perímetro do painel é melhorar o quadro de enrijecimento do painel, visando aumentar a sua capacidade portante.

Como resultado final desta primeira etapa da pesquisa os painéis adquiriram as seguintes configurações (Figura 21):

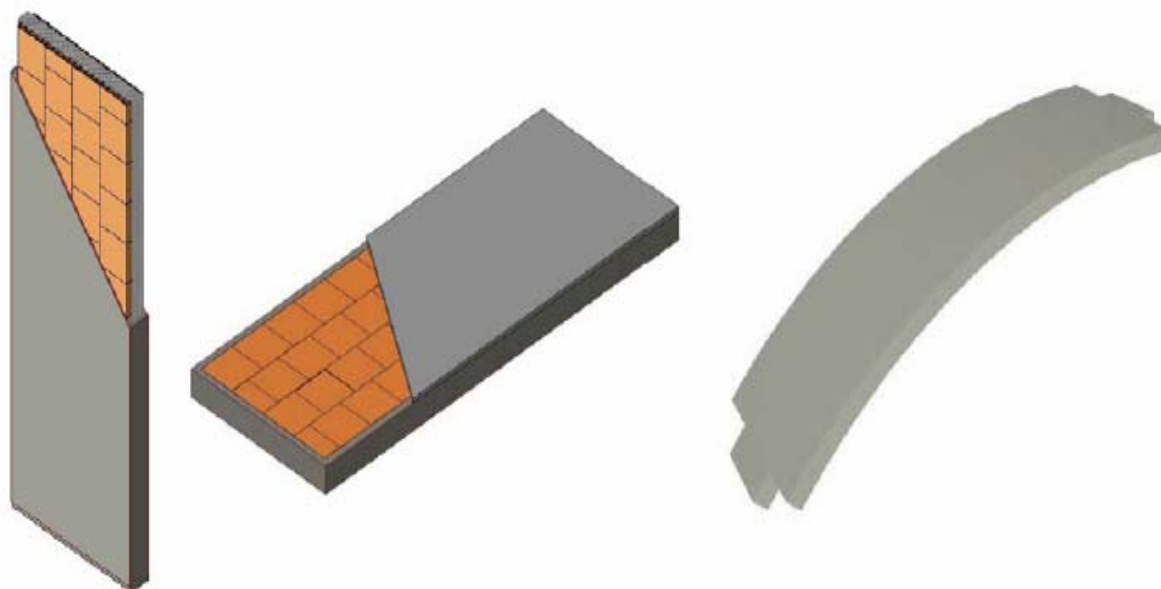


Figura 21 – Painéis de parede, de cobertura plano e cobertura curvo

Para o lançamento e içamento dos painéis deste processo construtivo, também é necessária à utilização de caminhão com lança telescópica e dependendo do tamanho do painel é necessário o uso de guindaste.

Este processo construtivo continua em estudo, sendo necessário agora o estudo e melhoria de alguns pontos fracos observados durante a moldagem dos painéis e execução do protótipo, e assim aperfeiçoar o processo para posteriormente utilizá-lo em unidades habitacionais com um desempenho totalmente satisfatório.

2.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL

No Brasil, tem se verificado nas últimas décadas um crescimento acentuado quanto ao número de habitantes e a necessidade de um número cada vez maior de habitações. Este fator tem incentivado o desenvolvimento de novos materiais, componentes e processos construtivos, visando a busca de alternativas aos produtos e processos tradicionais em utilização na construção civil. Com o desenvolvimento de novos materiais e processos construtivos uma questão relevante que se coloca neste campo é a de como avaliar estes novos produtos oferecidos (SOUZA, 1988)

É possível se obter uma estimativa do provável comportamento, ou seja, estimar o comportamento potencial de novos materiais e processos, através da realização de ensaios e medidas em protótipos, e também através da utilização de modelos matemáticos que simulam o comportamento do edifício.

O conceito definido pelo CIB (*Conseil International du Bâtiment*), para o termo desempenho é “comportamento de um produto em utilização” (CIB, 1975), o que consiste em um determinado produto possuir propriedades que possam cumprir sua função durante sua vida útil. O edifício, considerando seus elementos e componentes, está sujeito a uma variedade de ações em função de fenômenos de origem natural ou da própria utilização, que são denominadas condições de exposição às quais está submetido.

Em uma habitação, primordialmente é definida a sua função de satisfazer as exigências dos usuários. Ao ser definida a tipologia de uma edificação (residencial, comercial, etc.) e as exigências que seus elementos e componentes devem atender ao serem submetidos a condições de exposição, é necessário que a edificação atenda a determinados requisitos de desempenho. Para determinar tais requisitos, é necessária a formulação de uma lista de exigências de cada elemento a partir de sua função específica, devendo ser elaborada de forma qualitativa, para atender aos requisitos a serem atingidos pelo edifício, seus elementos e componentes. Após a verificação das exigências, é necessária a quantificação destes requisitos, que irão estabelecer assim os critérios de desempenho de cada elemento ou componente de uma edificação. As principais características funcionais associadas aos requisitos de desempenho e que devem ser apresentadas pelas vedações verticais são mostradas na Tabela 1.

O desempenho do produto é o resultado do equilíbrio dinâmico estabelecido entre o produto e o seu meio, e que só ocorre com o edifício em uso. Apesar disso, é possível obter uma estimativa do seu desempenho potencial através da realização de ensaios e verificações em protótipos, da utilização de modelos matemáticos e físicos que simulem o comportamento do edifício, julgamento técnico e inspeções. Através da análise dos resultados obtidos é possível fazer a avaliação de desempenho provável do produto, ou seja, prever seu comportamento potencial, quando em utilização normal (SOUZA e MITIDIARI, 1988).

Tabela 1 – Requisitos de desempenho e características funcionais das vedações verticais (FRANCO, 1998)

REQUISITOS DE DESEMPENHO	CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS
▪ Segurança estrutural	▪ Resistência mecânica
▪ Isolação térmica	▪ Deformabilidade
▪ Isolação acústica	▪ Estabilidade dimensional
▪ Estanqueidade	▪ Propriedades térmicas
▪ Segurança ao fogo	▪ Resistência à transmissão sonora
▪ Estabilidade	▪ Resistência ao fogo
▪ Durabilidade	▪ Resistência à penetração de água
▪ Estética	▪ Resistência a agentes agressivos
▪ Economia	▪ Custos adequados de produção e manutenção

O desempenho estrutural de edificações, de seus componentes e elementos, deve ser analisado do ponto de vista dos estados limites últimos e de utilização. Deverão ser consideradas a resistência mecânica, a estabilidade e as deformações, como também a formação de fissuras. A análise do projeto é conduzida via cálculos analíticos, a partir de um modelo matemático e das propriedades dos materiais e componentes constituintes dos elementos. Os ensaios podem ser realizados tanto em laboratório quanto em campo, em protótipos específicos.

Pode-se chamar a avaliação do desempenho estrutural de uma maneira mais ampla, como verificação do comportamento a esforços mecânicos.

Assim, o objetivo principal desta pesquisa será avaliar o comportamento a esforços mecânicos de compressão dos painéis cerâmicos pré-fabricados.

Sabbatini (1989) generaliza o conceito de desempenho aos mais diversos setores da atividade produtiva, sendo que em um dos campos ele cita que: “a avaliação do desempenho propicia uma base objetiva e racional do desempenho provável de inovações tecnológicas”. Portanto, ao desenvolvermos um produto com um desempenho satisfatório, estaremos satisfazendo as necessidades e exigências dos usuários, sendo este o maior dos requisitos de aptidão de um produto.

As etapas de projeto, fabricação de materiais e componentes e execução, constituem o processo de produção da construção, onde se observa um conjunto de

gargalos tecnológicos com repercussões negativas na fase de uso e manutenção da construção, notadamente nos aspectos relacionados ao seu desempenho e ao seu custo global = custo inicial + custo de operação + custo de manutenção (SOUZA, 1988). Com relação a estas características gerais, nos últimos anos tem-se observado, um certo interesse entre os principais envolvidos na construção civil como: construtoras, universidades, associações, institutos de pesquisa, empresas de projeto e fabricantes de materiais, na atualização tecnológica do setor.

No empenho de modernização tecnológica deste setor, alguns passos já começam a serem realizados, como a melhoria da qualidade dos produtos finais, a modernização tecnológica via racionalização de processos e o desenvolvimento de inovações tecnológicas. Estas inovações ao serem empregadas devem possuir estudos de desempenho, sendo este um dos requisitos necessários e onde muitos materiais e processos construtivos novos ao serem utilizados sem avaliação prévia, trazem precocemente problemas patológicos muitas vezes irreversíveis ao usuário.

Segundo Mitidieri Filho (1998) isso pode perpetuar o descrédito na construção industrializada, o que só poderá ser mudado com uma nova consciência em relação ao desempenho e as formas subseqüentes de controle de fábrica, e execução ou montagem. Portanto, procedimentos devem ser montados para avaliação de desempenho, sendo estes mecanismos de melhoria continua da qualidade dos produtos inovadores.

Para avaliar o desempenho da alvenaria, Hendry (1984) descreve os ensaios: ensaios de resistência à compressão, resistência à flexão e resistência ao cisalhamento, necessários para obtenção de maiores conhecimentos sobre o comportamento dos painéis quando submetidos a tensões de carregamento. No item a seguir será descrito de forma detalhada cada um desses tipos de ensaio.

2.5 ESFORÇOS SOLICITANTES DA ALVENARIA

Os principais esforços aos quais as paredes devem resistir estão apresentados na Figura 22 a seguir.

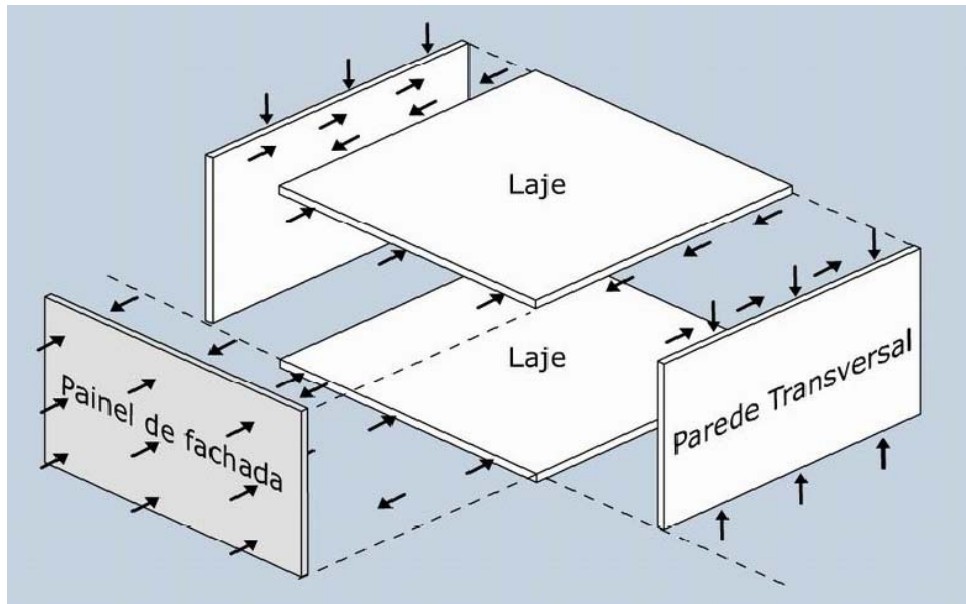


Figura 22 – Ação de cargas sobre um prédio (ROMAN ET.AL., 2003)

Devido ao peso próprio dos elementos e das cargas das lajes sustentadas pelas paredes, as paredes estão preponderantemente submetidas a esforços de compressão. Outro esforço a ser considerado nos edifícios é o proveniente das ações resultantes do vento. O vento causa forças horizontais, perpendiculares aos planos das paredes externas, ocasionando, nesses painéis, esforços de flexão e cargas paralelas aos planos das paredes resultando em esforços de cisalhamento. .

Os principais métodos de ensaio utilizados para o desempenho da alvenaria estrutural são descritos a seguir.

2.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para Franco (1998), a propriedade que melhor define o desempenho estrutural das paredes é a resistência à compressão. Junto a esta propriedade se encontra a resistência à tração, que é ligada diretamente à resistência de aderência entre blocos e argamassa, as quais determinam a facilidade das paredes fissurarem quando solicitadas.

Existem três formas básicas normalizadas de se obter a resistência à compressão da alvenaria:

- ensaios em unidades;
- ensaios em prismas;
- ensaios em painéis na escala natural.

Mas para a realização destes ensaios devem-se levar em conta a disponibilidade de equipamentos para a realização dos ensaios, as exigências quanto à precisão dos resultados, e principalmente o custo relacionado com o objetivo.

2.6.1 Ensaios em unidades de alvenaria

Os ensaios de resistência à compressão com unidades de alvenaria são usados normalmente para a obtenção da resistência do material para uso em projeto estrutural, para controle de qualidade de produção e em pesquisa (ROMAN, 1991).

Muitas pesquisas foram desenvolvidas na tentativa de se obter relações entre a resistência à compressão de blocos e argamassas existentes e a resistência à compressão das paredes, tendo em vista que as alvenarias são primeiramente submetidas à compressão.

Ensaio normalizados definem a resistência dos materiais, sendo que estes ensaios variam de país para país. Para cada característica mecânica dos materiais, os métodos de ensaio variam conforme a norma de cada país. Até mesmo as exigências que as unidades devem atingir para serem usadas em um determinado estado de tensões são distintos a cada país. Segundo Page e Shrive (1988), esta variação se dá em parte devido ao desenvolvimento independente destes códigos mas também pela extensa variedade de unidades e práticas de construção nos diferentes países.

Quanto à resistência a compressão mínima dos blocos estruturais na área bruta, a NBR 7171 – Bloco cerâmico para alvenaria, classifica-os por classes especificadas na Tabela 2. Para alvenaria estrutural executada com blocos cerâmicos portantes não são aceitáveis unidades com resistência à compressão inferior a 4MPa.

Tabela 2 – Resistência à compressão (NBR 7171)

Classe	Resistência à compressão na área bruta (MPa)
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

Para a alvenaria estrutural utilizando blocos de concreto, a NBR 6136 especifica que em relação à área bruta a resistência à compressão dos blocos, não deve ser inferior a 6MPa em paredes externas sem revestimento e 4,5 em paredes internas ou externas com revestimento.

A BS 3921/85 – *Clay bricks and blocks* é um exemplo de norma moderna de tijolos, pois a mesma apresenta uma classificação mais completa de tijolos em termos de tipo, resistência à compressão, absorção de umidade, resistência ao frio, conteúdo de sais solúveis e grau de eflorescência. Esta norma recomenda que os tijolos maciços não tenham uma área vazada inferior a 20% da área bruta, e quanto a tijolos de engenharia a sua classificação fica em A e B, sendo que os valores médios de resistência à compressão devem estar acima de 70 e 50 N/mm² respectivamente.

Quanto à classificação dos blocos em relação à sua área líquida a ABCI (1990) classifica três tipos de blocos conforme é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos blocos em relação à área útil (ABCI, 1990).

Tipo de Bloco	Área Líquida (%)	Área dos furos (%)	Área Bruta (%)
Vazado	<70	>30	100
Perfurado	70 a 100	30 a 0	100
Maciço	100	0	100

2.6.2 Ensaios em prismas

Os ensaios com prismas são bastante empregados na obtenção da resistência à compressão da alvenaria, devido às vantagens que apresentam. Entre estas vantagens se destacam a facilidade de fabricação e manuseio, a menor necessidade de recursos laboratoriais e o menor custo dos ensaios em relação aos ensaios realizados com paredes em escala natural.

Os prismas podem ter formas, tamanhos e modos de assentamento diferentes. Quanto ao assentamento, podem ser feitos com junta a prumo (1 bloco de largura) ou com amarração (mínimo de 1 bloco e meio de largura). Podem ter argamassa de assentamento em toda a superfície ou somente nas faces externas longitudinais do bloco (face Shell*) e podem ser ocós ou grauteados.

* **Face Shell:** Assentamento de argamassa somente nas faces externas longitudinais do bloco

A norma norte-americana ASTM E 447-84 (1987), recomenda que os prismas possuam pelo menos duas juntas de argamassa horizontal, já a norma brasileira NBR 8215 (1983) para prismas de bloco de concreto indica a utilização de prismas de 2 blocos de altura. Alguns pesquisadores recomendam a utilização de prismas de pelo menos três blocos de altura MAURENBRECHER (1978), SABBATINI (1984), FRANCO(1987), MULLER (1989), COLVILLE e WOLDE-TINSAE (1991), ALY (1994) E LA ROVERE e SOLIZ(1995).

Nos ensaios de compressão dos prismas também deve ser considerada a razão altura/espessura do prisma, e esta deve ser maior ou igual a 5, de maneira a limitar os efeitos de restrição pelos pratos da prensa aos movimentos laterais nas extremidades do prisma. Da mesma forma, a altura dos prismas não deve ser tal que permita a ruptura por flambagem. As normas técnicas de alvenaria estabelecem o uso de espécimes cuja parte não sujeita a restrições dos pratos da prensa represente um número suficiente de unidades e juntas, de forma a ser uma razoável representação da alvenaria (ROMAN,1991).

Alguns estudos com prismas também têm sido usados para analisar a influência de determinados fatores no resultado dos ensaios, tais como a razão altura/espessura, o efeito do capeamento, a mão-de-obra, entre outros. Na construção de prismas de alvenaria, o efeito da mão-de-obra é muito importante na resistência à compressão, pois uma junta mal preenchida pode mascarar ou acentuar a influência de determinada variável investigada. É aconselhável o uso de aparatos, na construção dos primas, para que os mesmos possibilitem a máxima homogeneidade do preenchimento e espessura das juntas.

2.6.3 Ensaios com painéis de alvenaria

Os ensaios com elementos de parede em tamanho real, geralmente são difíceis de serem executados, pois é necessária uma grande estrutura laboratorial, ou seja, grandes aparatos para montagem, prensas hidráulicas com capacidade de carga elevadas, pé direito alto e mão-de-obra treinada, e são usados em grandes projetos de pesquisa. Em alguns casos, apresenta ainda, a necessidade de introdução de fatores de correção devido à esbeltez.

Os ensaios com painéis em escala real, são no entanto, ensaios extremamente simplificados quando comparados com o estudo desenvolvido por Sinha e Hendry (1976). Os autores, entre os anos de 1967-1979, desenvolveram em *Edinburgh*, junto a uma pedreira em desuso, um edifício de 5 andares em escala natural (Figura 23), para investigar o comportamento de estruturas de alvenaria. Os ensaios foram realizados junto à pedreira pois permitiam aplicação de cargas laterais ao edifício. Os principais problemas investigados durante os ensaios foram:

- resistência ao cisalhamento das paredes de contraventamento;
- resistência à flexão de paredes de sujeitas à pré-compressão;
- interação parede/laje;
- resistência da alvenaria ao colapso progressivo em função da destruição de parte da estrutura, como por exemplo uma parede que foi sujeita a explosão de gás.

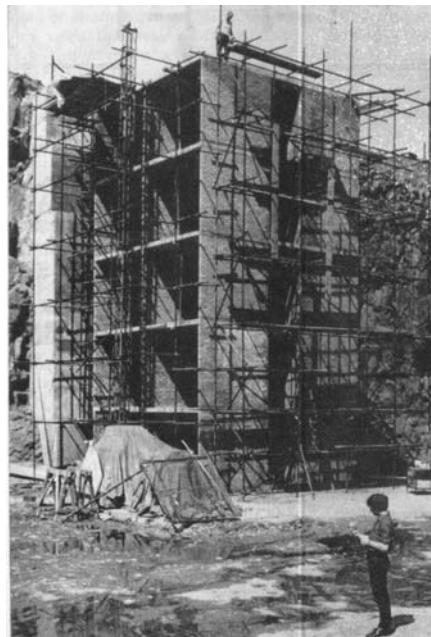


Figura 23 – Ensaio em escala real em uma pedreira em desuso, *University of Edinburgh* (Sinha e Hendry, 1976).

Também, a *British Ceramic Research Association* examinou extensivamente a resistência lateral das paredes de alvenaria. O colapso parcial do edifício Ronan Point (Figura 24), todo construído com grandes painéis de concreto, devido a uma explosão de gás, levou a *British Ceramic Research Association* a examinar o problema em edificação em cerâmica sobre situações reais.

Muitos dos resultados das pesquisas foram incorporados à norma BS 5628 (1978), que era o código mais avançado da época. Algumas de suas especificações foram incorporadas no EUROCODE 6 (1988). Seguindo a precedência do Reino Unido, ensaios em escala natural em alvenaria foram feitos na Itália e USA (SINHA, 2002).

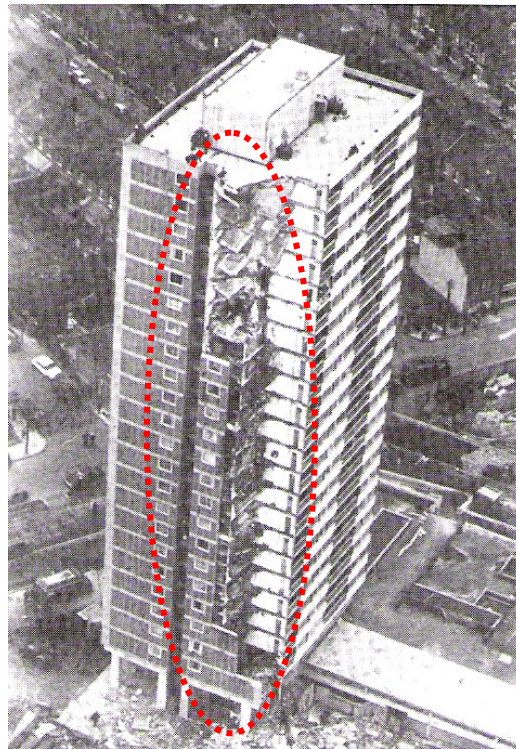


Figura 24 – Colapso progressivo Ronan Point (SINHA 2002).

Em relação a estes elementos estruturais mais complexos (ensaios em escala real em alvenaria), se torna pequena a representatividade dos blocos, prismas e paredes, mediante a estas questões de tempo e custo, o que lança mais interrogações nas investigações de certos fenômenos. Por outro lado, junto aos inconvenientes de ordem técnica, econômica e de tempo aos ensaios em estruturas reais, surge a possibilidade de se trabalhar com modelos físicos reduzidos de alvenaria, que se eficientes, permitem a realização de ensaios de maior complexidade a menor custo e tempo, exigindo sistemas de ensaios mais simples e possibilitando um melhor entendimento do complexo comportamento das estruturas de alvenaria (CAMACHO,1995).

2.6.4 Fatores que afetam a Resistência à Compressão

Com embasamento em pesquisas desenvolvidas, pesquisadores chegaram à conclusão que a resistência à compressão da alvenaria depende de alguns fatores que

podem ser divididos em dois grupos: um relacionado à resistência básica da alvenaria, ou seja, às características físicas e mecânicas dos materiais empregados e a técnica construtiva utilizada na construção; o outro relacionado à concepção dos elementos de alvenaria, dos quais se destacam a taxa de esbeltez e excentricidade de carregamento.

Embora não haja unanimidade entre os pesquisadores sobre quais os principais fatores que afetam a resistência da alvenaria, abaixo são citadas as mais importantes:

- resistência da unidade;
- resistência da argamassa de assentamento;
- geometria da unidade;
- deformação característica do bloco e argamassa;
- espessura das juntas de assentamento;
- mão-de-obra

Resistência da unidade

O fator determinante na resistência à compressão da alvenaria é a resistência à compressão dos blocos. A matéria-prima empregada, o processo de fabricação, a temperatura de cozimento, a forma e o tamanho, durante a fabricação dos blocos também exercem influência sobre a resistência da alvenaria.

A resistência da unidade cresce consideravelmente com a resistência dos blocos, entretanto esta relação não é linear, pois a resistência da parede é sempre menor que a resistência das unidades. Ramalho e Corrêa (2003), relatam que quando se trata da influência da resistência dos blocos na resistência a compressão das paredes, existe um conceito muito importante denominado “eficiência”, que é a relação entre a resistência da parede e a resistência do bloco que a compõe.

A relação abaixo formaliza matematicamente este conceito.

$$\eta = \frac{f_{par}}{f_b} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

f_{par} : resistência da parede;

f_b : resistência do bloco.

Considerando como “fator de eficiência” a razão entre a resistência da alvenaria e a resistência da unidade, observa-se que o fator diminui com o aumento da resistência das unidades e aumenta com o aumento das dimensões dos blocos. Os blocos cerâmicos apresentam uma eficiência menor que a dos blocos de concreto.

A norma BS 5628: part 1 (1992) estabelece as curvas de crescimento da resistência das paredes com a resistência dos blocos, para cada designação de argamassa, conforme mostra a Figura 25.

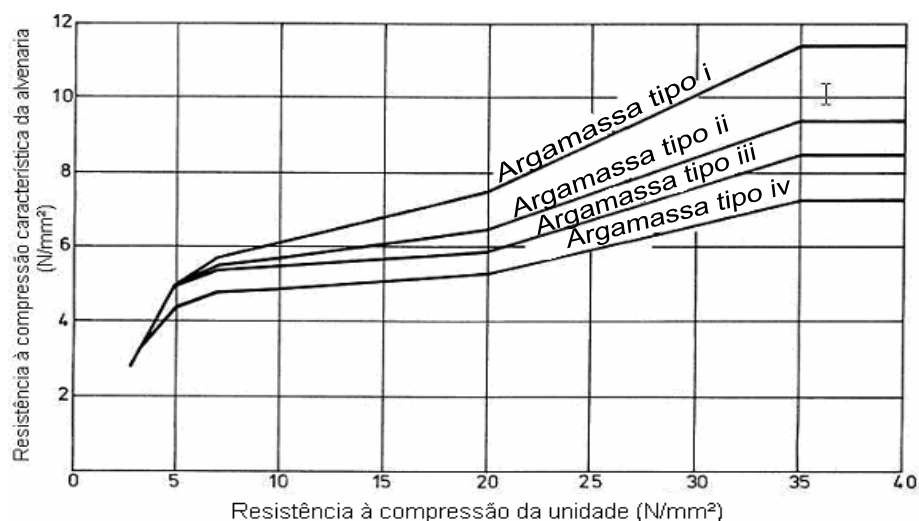


Figura 25 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos, construída com blocos vazados com relação h/t entre 2 e 4. (BS 5628: Part 1,1992)

Camacho (1995), em sua tese de doutorado apresenta o resultado da pesquisa em que vários pesquisadores como Monk, Salhin, Gomes, Prudêncio, Müller e Sutherland, fornecem valores dos fatores de eficiência para diferentes tipos de unidades, conforme mostra a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Fator de eficiência para diferentes tipos de unidades (CAMACHO, 1995).

Unidades	Fator de Eficiência (%)	Autor
Tijolo cerâmico	25 a 50	Salhin (1971)
Tijolo cerâmico	10 a 40	Monk (1967)
Tijolo cerâmico	17 a 28	Prudêncio (1986)
Bloco de concreto	60 a 90	Monk (1967)
Bloco de concreto	65 a 100	Sutherland (1981)
Bloco cerâmico	16 a 39	Gomes (1983)
Bloco cerâmico	11 a 13	Muller (1989)

Resistência da Argamassa de Assentamento

Em uma parede de alvenaria estrutural podem ocorrer esforços de toda ordem, como de compressão, tração, flexão e cisalhamento, e a função da argamassa é ajudar a alvenaria a resistir estes esforços (SOLÓRZANO, 1994). O comportamento das argamassas também é relevante, pois o mecanismo de ruptura da alvenaria está ligado à interação entre unidade e junta.

Uma argamassa com maior ou menor resistência gera uma alteração bem menos significativa na resistência da alvenaria do que aquela obtida com a variação das resistências das unidades. Sendo assim, não gera influência de forma tão significativa na resistência à compressão da parede

Para Franco (1987) a influência da resistência à compressão da argamassa de assentamento na resistência da parede é pequena. A Figura 26 mostra o trabalho desenvolvido pelo *Building Research Establishment*, citado pelo autor, e que mostra que a redução na resistência da argamassa maior que 80% provoca uma diminuição inferior a 20% na resistência da alvenaria.

Os resultados mostram a variação não linear da resistência da parede em função da resistência da argamassa.

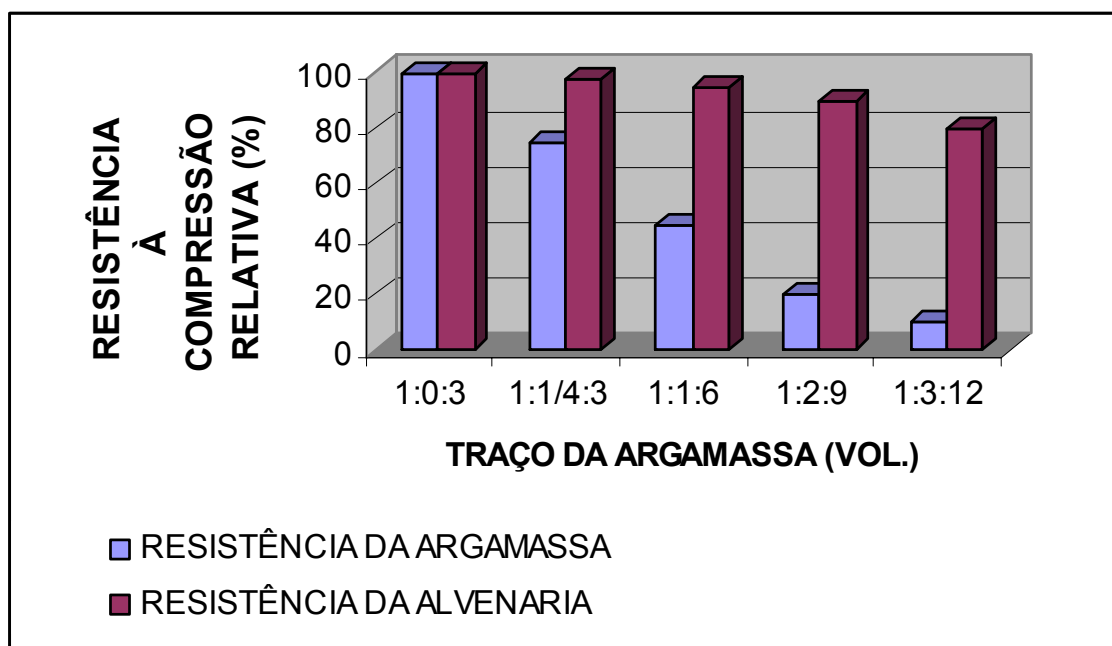


Figura 26 – Variação da resistência da parede em função da resistência da argamassa (FRANCO,1987).

Geometria da Unidade

O tamanho, a forma e a homogeneidade da alvenaria são muito importantes na resistência à compressão. A geometria do bloco e sua forma, a orientação e a espessura dos septos condicionam a capacidade resistente das paredes. A relação entre a altura do componente e sua menor dimensão horizontal, definido como fator de forma, está diretamente relacionado com a sua forma geométrica e também é considerado como um parâmetro de grande influência na resistência (HENDRY, 1981).

Através dos elementos finitos, os autores Ramamurthy e Ganesan (1992) analisaram o efeito da geometria de três diferentes blocos de concreto em prismas com junta a prumo e com junta amarrada. Após a pesquisa, concluíram que a geometria do bloco tem grande influência na resistência dos prismas, especialmente os executados com juntas amarradas.

Deformação característica do bloco e da argamassa

Para Roman (1991), quanto maior a diferença da deformação específica entre o tijolo e a argamassa, maior será o diferencial de deformação entre os materiais, originando um aumento das tensões e com isto uma ruptura da alvenaria com cargas menores. Esta ruptura se dará por tração, ao invés de compressão.

Para a alvenaria, a deformabilidade ou capacidade de acomodar deformações é definida como “a capacidade que a parede de alvenaria possui de manter-se íntegra ao longo do tempo, distribuindo as deformações internas ou externas impostas em microfissuras não prejudiciais ao seu desempenho” (FRANCO, 1998).

Espessura das juntas

Diversas pesquisas indicam que a espessura ótima para as juntas de alvenaria é de 1 cm. Valores inferiores, que teoricamente levariam a alvenarias mais resistentes, não são recomendáveis pois a junta não conseguiria absorver as imperfeições que ocorrem nas unidades.

Sahlin (1971) relata que a resistência à compressão da alvenaria diminui em aproximadamente 15% para cada 3mm de aumento nas espessuras das juntas. Um aumento na resistência da alvenaria é conseguido com o emprego de juntas de pequena espessura, ou seja, baixa relação espessura das juntas e altura da unidade.

A resistência da argamassa da junta também modifica substancialmente o comportamento resistente da alvenaria. Se o material é mais rígido que os blocos há um aumento da resistência do prisma pelo incremento do grau de confinamento dos blocos e para o contrário o efeito se dá de maneira inversa (GALLEGOS, 1989).

Entretanto, uma maior resistência à compressão da argamassa não é sinônimo de uma melhor solução estrutural. A argamassa deve ter resistência suficiente para suportar os esforços a que a parede está submetida. Os blocos utilizados também não devem ter a sua resistência excedida, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer devido às expansões térmicas ou outros movimentos da parede ocorram na junta. Para cada resistência de bloco existe uma resistência ótima da argamassa (ROMAN *ET.AL.*, 1999).

Mão-de-obra

Hendry (1990) destaca seis problemas mais comuns relacionados com a mão-de-obra e que podem interferir no desempenho mecânico das paredes:

- preenchimento incorreto das juntas de assentamento;
- ajuste incorreto das condições de sucção inicial em alvenarias cerâmicas;
- perturbação das unidades após assentamento;
- desvio de prumo ou alinhamento da parede;
- dosagem incorreta das argamassas de assentamento;
- exposição a condições climáticas adversas logo após o assentamento.

Massetto (2001) relata que o uso de diferentes ferramentas de assentamento também exercem influência sobre a resistência à compressão. Paredes assentadas com colher de pedreiro apresentam um desempenho mecânico diferente das assentadas com bisnagas, paleta ou a meia-cana.

O reamassamento da argamassa é outro problema que depende da mão-de-obra, pois o mesmo muitas vezes não é realizado pelo pedreiro. O reamassamento com acréscimo de água traz uma perda na resistência à compressão da argamassa, mas que por outro lado pode induzir a um ganho na resistência de aderência que estaria perdida se a unidade fosse assentada com uma argamassa seca, pouco plástica. Existe também a importância de se preparar e adequar a argamassa a uma determinada absorção, mediante o umedecimento da unidade, quando esta for

cerâmica e possuir alta absorção inicial. Muitas vezes os pedreiros, não levam em conta esta ação, originando perdas na resistência da alvenaria (SOLÓRZANO, 1994).

2.7 RESISTÊNCIA À FLEXÃO

A resistência à flexão é definida como a capacidade de uma parede resistir a esforços horizontais, aplicados segundo uma direção fora do seu plano, e tendo como exemplo as forças originadas pela pressão do vento em um painel (FRANCO, 1988).

Quando a flexão ocorre no plano da parede e na direção perpendicular às juntas de assentamento, a resistência da alvenaria frente a este tipo de solicitação depende somente da resistência à tração da argamassa e da aderência da argamassa aos tijolos ao longo da junta de assentamento. A resistência à tração dos tijolos costuma ser superior a da argamassa de assentamento. Por este motivo os colapsos, quando acontecem frente a este tipo de solicitação, ocorrem ao longo das juntas de assentamento, ou seja no plano de ruptura paralelo à junta de assentamento (Figura 27 – a).

Se a flexão ocorrer no plano da parede ao longo da direção horizontal (na direção paralela às juntas de assentamento dos tijolos ou blocos) a resistência da alvenaria é aumentada substancialmente pelo cisalhamento que ocorre nas interfaces junta de argamassa/tijolo da alvenaria, devido ao contrafiado dos tijolos. Neste caso o plano de ruptura é perpendicular à junta de argamassa (Figura 27 – b). Nesta direção, a resistência é 3 vezes maior do que a resistência obtida ao longo da junta de assentamento.

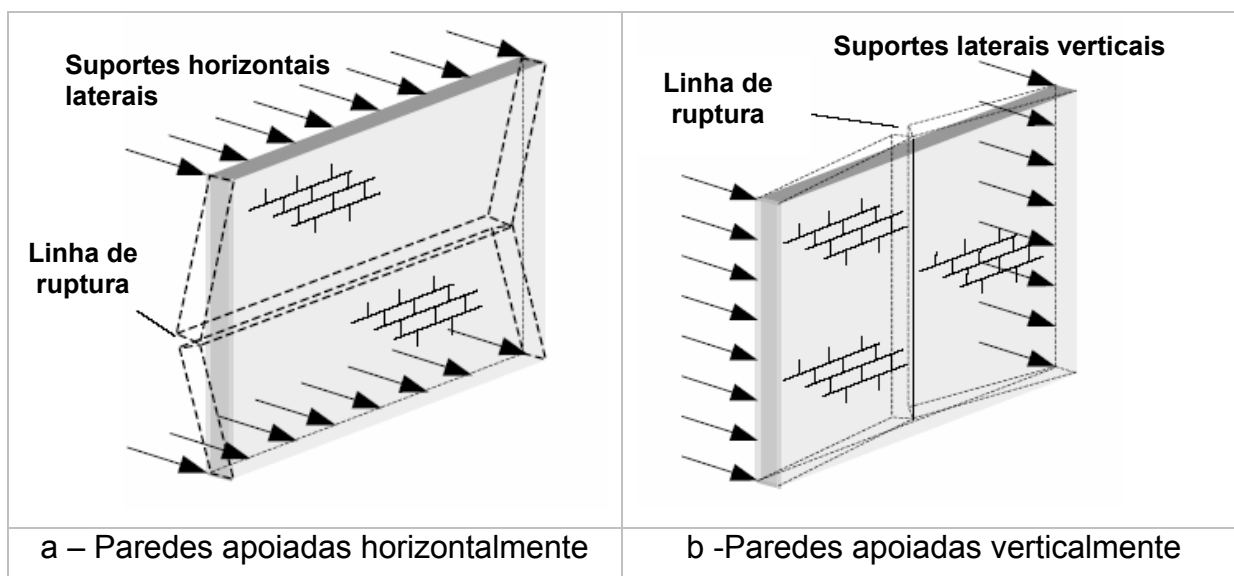


Figura 27 – Tipos suportes e rupturas para paredes sob carga lateral (BS 5628, 1978)

As diferenças de resistência devido ao plano de aplicação das cargas, no entanto, é reduzida pelo efeito do peso próprio da parede, que tenderá a reduzir a tensão de flexão desenvolvida. Com o aumento da altura da parede, as tensões de compressão devidas ao peso próprio da alvenaria também crescem. A combinação deste aumento da tensão de compressão com as tensões de flexão significa que, se a carga vertical é significativa, a parede poderá resistir a uma carga lateral maior quando apoiada entre o topo e o piso, do que quando apoiada em suportes verticais.

Qualquer outra carga permanente irá aumentar a carga de compressão na parede e aumentar sua resistência à flexão, desde que a tensão de compressão esteja dentro dos limites permissíveis.

2.7.1 Métodos de ensaio

Os ensaios de resistência à flexão são normalmente realizados com três tipos de corpos-de-prova: com uma única junta, prismas e outro com pequenos painéis de alvenaria.

Corpo-de-prova com uma única junta

A norma ASTM – E149 (1976) – *Standard test method for bond strength of mortar to masonry units* – recomenda o uso de dois tijolos ligados por uma junta de argamassa e preparado com um molde de aço de maneira a formar uma junta de exatos 10 mm. O espécime deve ser excentricamente carregado até a ruptura. A Figura 28, mostra uma variação do aparato de ensaio recomendado pela ASTM usado por Roman (1989) em sua tese de doutorado.



Figura 28 – Aparato para determinação da resistência à tração (ROMAN, 1989)

Prismas

A norma ASTM E – 518 – *Test Method for flexural bond strenght of masonry*, refere-se a prismas de quatro blocos à flexão, e tem como objetivo determinar a resistência de aderência entre o bloco e a argamassa, sendo o carregamento aplicado nos terços dos vãos

Segundo Medeiros e Sabbatini (1994), este ensaio pode ser simplificado e torna-se possível sua execução em canteiros de obras, e dispensando a utilização de equipamentos especiais. Os autores fizeram uma adaptação a este método de ensaio, que consistiu na utilização de prismas de alvenaria apoiados horizontalmente em suas extremidades sobre outros blocos, submetidos assim a um carregamento concentrado em dois pontos simétricos em relação ao centro do prisma (Figura 29).

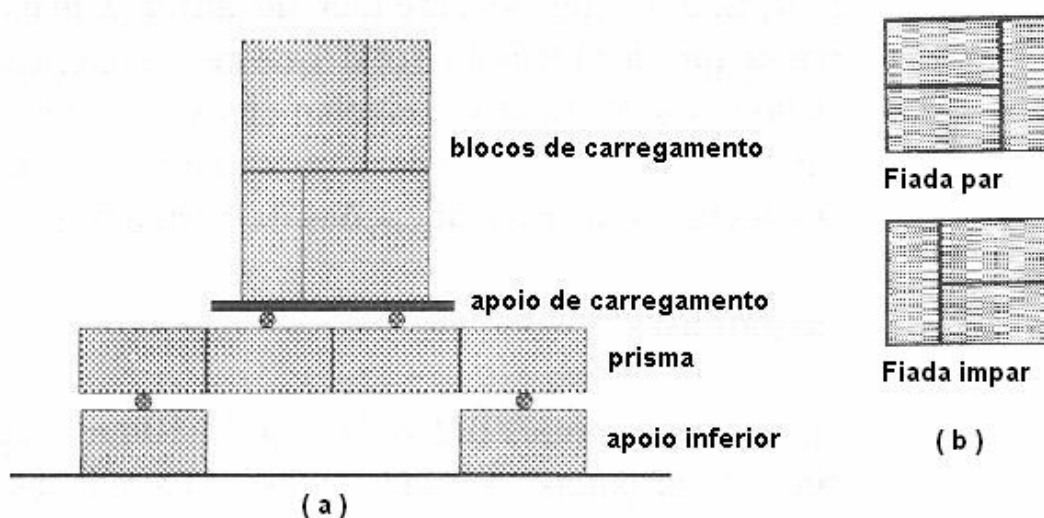


Figura 29 (a) – Esquema do ensaio de flexão simples para um prisma de quatro blocos e (b) – Esquema de colocação dos blocos de carregamento (fiadas pares e ímpares) (Medeiros e Sabbatini ,1994).

A norma MR8 – *Determination of the flexural bond strenght of masonry* da RILEM (*Technical Recommendations for the Testing and use of Constructions Materials*), é baseada na norma ASTM E – 518 -74 e segundo o método A da norma, no cálculo da tensão de ruptura deve-se levar em consideração o tipo de bloco utilizado na confecção do corpo-de-prova e o local de ruptura.

Assim, em corpos-de-prova construídos com blocos sólidos, com área líquida maior do que 75%, o cálculo da tensão de ruptura deverá ser feito pela seguinte expressão:

$$R = \frac{(P + 0,75 \times P_s) \times l}{b \times d^2} \quad (\text{Equação 2})$$

R = tensão de ruptura $\left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$

P = carga máxima aplicada no corpo-de-prova (N)

P_s = peso do corpo-de-prova (N)

l = comprimento do vão (mm)

b = largura do corpo-de-prova (mm)

d = altura do corpo-de-prova (mm).

Para espécimes confeccionados com blocos vazados (área líquida inferior a 75%), o cálculo deverá ser feito pela seguinte expressão:

$$R = \frac{(0,167 \times P + 0,125 \times P_s)}{S} \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

S = área de aplicação da argamassa, em mm^2

No cálculo do módulo da área de aplicação da argamassa, baseado na área líquida das unidades de blocos vazados, a seguinte fórmula pode ser usada para:

- Unidades com argamassamento total da face do bloco (Figura 30)

$$S = \frac{bxd^3 - (b_1xd_1^3 + b_2^3xd_2 + b_3^3xd_3 + \dots + b_nxd_n^3)}{6xd} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

b_1 = espessura do centro (mm)

d_1 = largura do centro (mm)

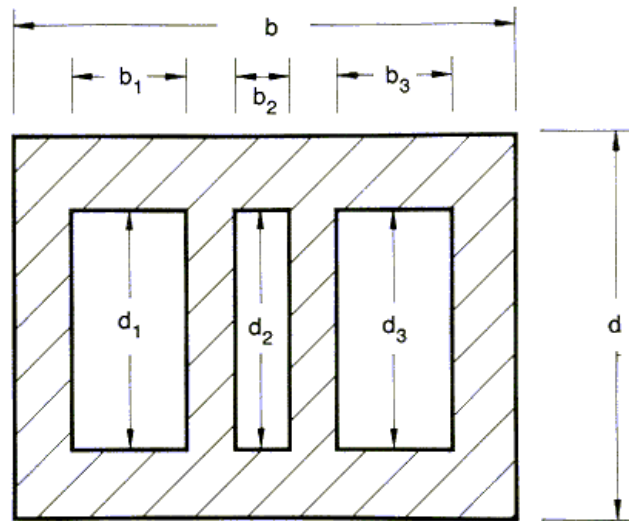


Figura 30 – Seção transversal de unidade com argamassamento total da face (TECHNICAL NOTES 39B, 1988)

- Unidades com Assentamento de argamassa somente nas faces externas longitudinais do bloco (Face Shell) (Figura 31)

$$S = \frac{bx(d^3 - d_1^3)}{6xd} \quad (\text{Equação 5})$$

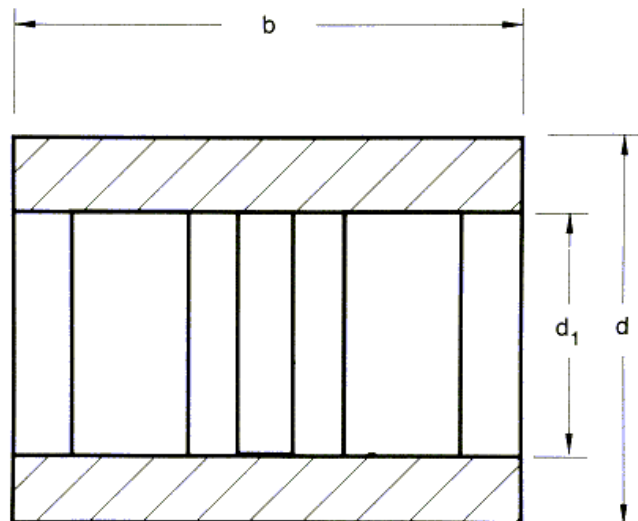


Figura 31 – Assentamento de argamassa somente nas faces externas longitudinais do bloco (Face Shell) (TECHNICAL NOTES 39B, 1988)

Neste método se a ruptura ocorrer em uma junta fora do terço médio de aplicação de carga o resultado do ensaio deverá ser desconsiderado.

Os pesquisadores Hughes e Zsebery (1980) desenvolveram outro ensaio com prismas que foi normalizado pela ASTM C 1072 – 00a. Este método de ensaio envolve a resistência de aderência na flexão na alvenaria não armada por ensaios físicos em cada junta do prisma de alvenaria. A realização do ensaio consiste em introduzir um momento fletor ao corpo-de-prova pela aplicação de uma carga excêntrica no extremo de um braço fixo ao mesmo (Figura 32). O corpo-de-prova deste tipo de ensaio é constituído de um prisma de duas ou mais unidade de blocos na altura e com uma largura mínima de 4 polegadas (200mm) e podem ser construídos em laboratório, na obra ou podem ser removidos de alvenaria existente.

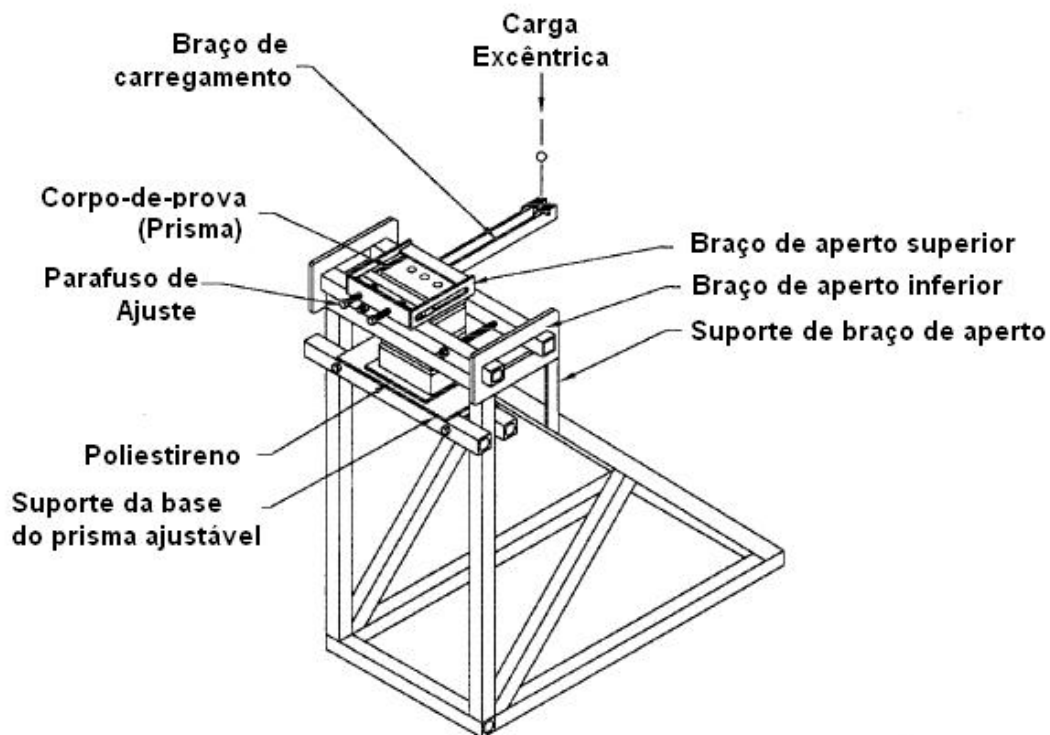


Figura 32 – Aparato para ensaio de resistência de aderência na flexão, prescrito pela ASTM C 1072 (ASTM C 1072)

No método determinado pela ASTM C 1072 – *Standard test method for measurement of masonry flexural bond strenght*, a resistência de aderência determinada, pode ser usada, por exemplo, para a avaliação e compatibilidade de argamassas e unidades de alvenaria e também para determinar o efeito sobre a resistência de aderência na flexão de cada fator (unidades de alvenaria, propriedades de argamassa, mão-de-obra, condições de cura, revestimento sobre unidades de alvenaria e alguns outros fatores que podem ser relevantes).

Os resultados obtidos por este método de ensaio não podem ser interpretados como a resistência de aderência na flexão da parede construída do mesmo material, porém os resultados podem ser usados para prognosticar a resistência de aderência na flexão da parede e não devem ser interpretados como uma indicação da extensão da aderência para propósitos como a avaliação da permeabilidade da água.

Para este método de ensaio descrito pela ASTM C 1072 a *Technical notes – 39B – BIA* (1988) cita algumas vantagens em relação ao método prescrito pela ASTM E 518 os quais são:

- número maior de dados são coletados de cada prisma;
- pode ser usado para testar espécimes extraídas de estruturas existentes;
- as juntas que permanecem intactas depois de serem testadas pelo método da ASTM E – 518 podem ser testadas pelo método da ASTM C 1072 e os resultados dos dois métodos comparados.

Paredinhas

A norma BS 5628 (1978) recomenda o uso de painéis de alvenaria para ensaio de resistência à tração. As resistências à flexão características nas duas direções ortogonais podem ser determinadas através de ensaios de paredinhas construídas com unidades resistentes de alvenaria e argamassas representativas daquelas a serem usadas na obra.

A execução do ensaio é feita da seguinte maneira: os blocos a serem utilizados na moldagem das paredinhas devem ser mergulhados em água por 5 à 6 minutos e devem ser enxugados antes da moldagem, que deve ser realizada até uma hora após a retirada dos blocos da água. Para tijolos com coeficiente de sucção inicial maior que 1,5 kg/(m².min) pode-se condicioná-los ou ajustar-se a retenção de água da argamassa. O método de condicionamento dos tijolos deve ser anotado nos relatórios dos ensaios. A paredinha deve ser ensaiada na posição vertical sob carregamento de quatro pontos e o equipamento deve acomodar variações de plano (BS 5628:part 01, 1978). As duas formas de ensaio em paredinhas, nas duas direções ortogonais, paralela e perpendicular às juntas de assentamento, são mostradas a seguir na Figura 33.

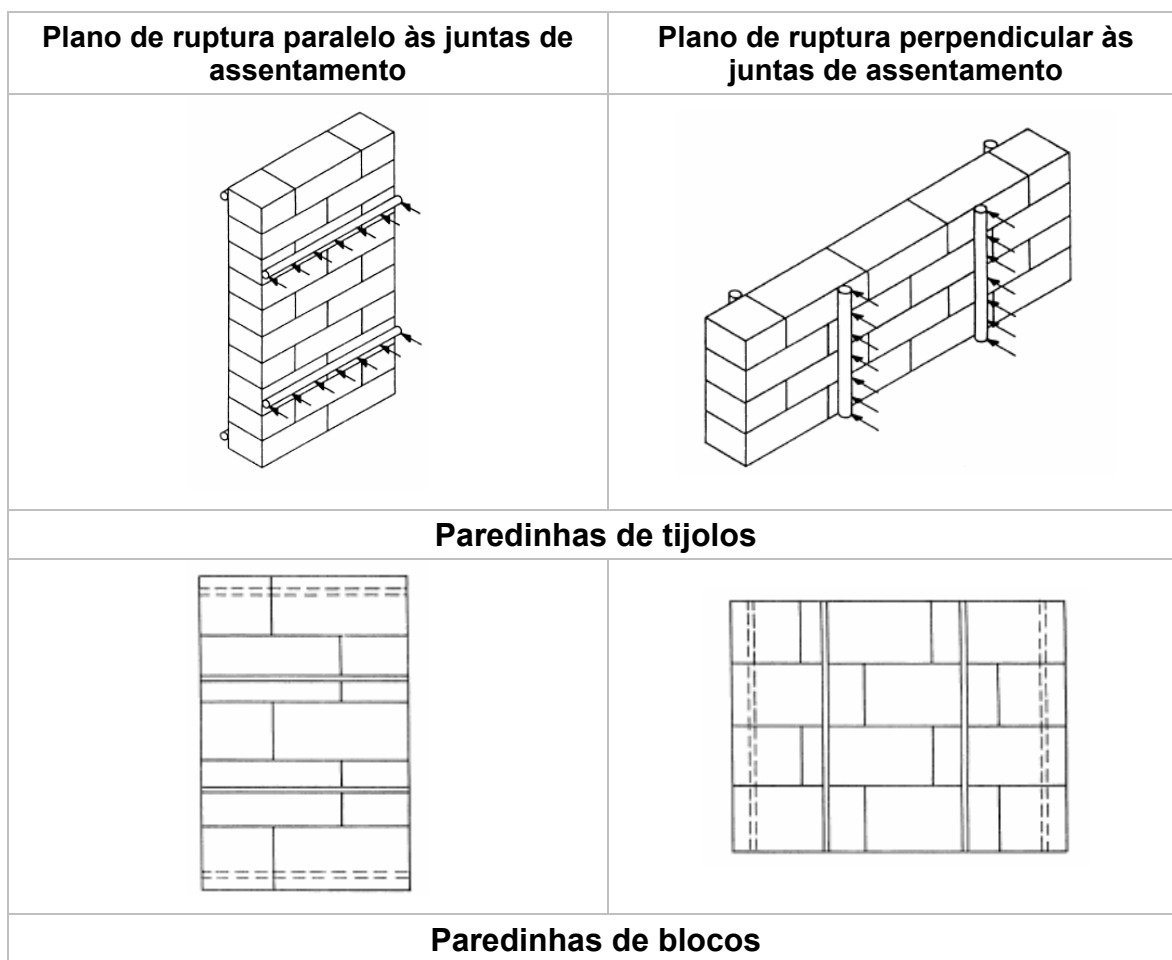


Figura 33 – Método de ensaio com paredinhas para determinação da resistência à flexão característica da alvenaria segundo a BS 5628 (BS 5628, 1978).

2.7.2 Fatores que afetam a resistência à flexão da alvenaria

A alvenaria é um material frágil e sua resistência à tração por flexão depende do tipo de bloco estrutural, do traço da argamassa e da aderência entre a argamassa e o bloco. Também não é um material isotrópico, isto é, não apresenta propriedades similares para todas as direções e portanto, não oferece a mesma resistência à flexão em ambas as direções.

Roman (1989) usando o método de ensaio recomendado pela ASTM – E149, testou a resistência à tração de juntas de alvenaria tentando relacioná-las com a resistência ao cisalhamento. Usou para este ensaio três diferentes tipos de tijolos, duas argamassas e manta asfáltica impermeabilizante. Os coeficientes de variação deste ensaio ficaram entre 18% e 59%, mostrando uma grande variabilidade, como mostra a Tabela 5. A análise da variância demonstrou que todas as combinações de tijolo/argamassa testadas apresentam boas probabilidades estatísticas de terem as

mesmas médias, possivelmente acontece por causa da grande variação dentro dos grupos. Outra observação feita é que o tipo de argamassa e a presença ou não de manta impermeabilizante gera influência sobre a resistência à tração da junta.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios para resistência à tração (ROMAN,1989)

Tipo de Tijolo	Tipo de argamassa	Manta asfáltica	n	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de variação (%)	Valor Mínimo	Valor Máximo
Perf. B	(i)	-	10	0,76	0,25	33,28	0,37	1,06
Maciço A	(i)	-	10	0,69	0,15	21,49	0,48	0,95
Perf. B	(iii)	-	10	0,52	0,18	35,63	0,22	0,83
Maciço A	(iii)	-	10	0,58	0,15	26,85	0,39	0,83
Perf. B	(i)	sim	7	0,06	0,03	59,07	0,03	0,12
Maciço A	(i)	sim	9	0,08	0,04	55,71	0,03	0,17
Perf. B	(iii)	sim	7	0,11	0,04	40,57	0,04	0,18
Maciço A	(iii)	sim	7	0,04	0,01	17,99	0,03	0,05

Um estudo sobre o efeito do tipo de bloco, do conteúdo de umidade dos blocos, das variações de propriedades da argamassa, do tipo e idade do corpo-de-prova na resistência à tração de alvenaria foi feito por Anderson (1981). O pesquisador utilizou o método de ensaio baseado na norma ASTM- E149, e outras séries de ensaios foram realizadas com o mesmo tipo de corpo-de-prova e com duas excentricidades de carregamento. O cálculo utilizado para os resultados foi à teoria de flexão simples, aonde o autor chegou as seguintes conclusões:

- o método utilizado para a preparação das espécimes exerce um importante fator na resistência à tração da junta. Para Anderson (1981), os corpos-de-prova assentados conforme a ASTM E149, com moldes de aço, apresentaram valores de resistência inferiores ao apresentados por corpos-de-prova assentados normalmente;
- a quantidade de umidade no tijolo exerce influência na resistência da junta;
- a resistência da junta aumenta conforme é aumentado o teor de cal da argamassa que conseqüentemente apresenta maior retentividade de água;
- a resistência à tração não é proporcional à resistência à compressão do tijolo;

- ao ser aumentada a consistência e a quantidade de água de uma argamassa geralmente leva ao acréscimo da resistência da junta.

Para Hendry (1990), o mecanismo de aderência entre bloco e argamassa ainda não é totalmente entendido, porém temos o conhecimento que é um processo químico-físico no qual a estrutura de ambos os materiais é crítica. A classificação da areia da argamassa é também um fator importante, pois o uso de areia muito fina não é favorável à adesão. Outro fator que exerce influência é a umidade contida no tijolo durante o assentamento, que deve ser controlada, em ambos os casos (muito seco ou totalmente saturado), pois conduzem a baixos resultados de resistência de aderência. A Figura 34 mostra o resultado de ensaios de resistência à tração na flexão de tijolos, onde as variáveis da umidade existente nos tijolos avaliados foi de totalmente secos até completamente saturados.

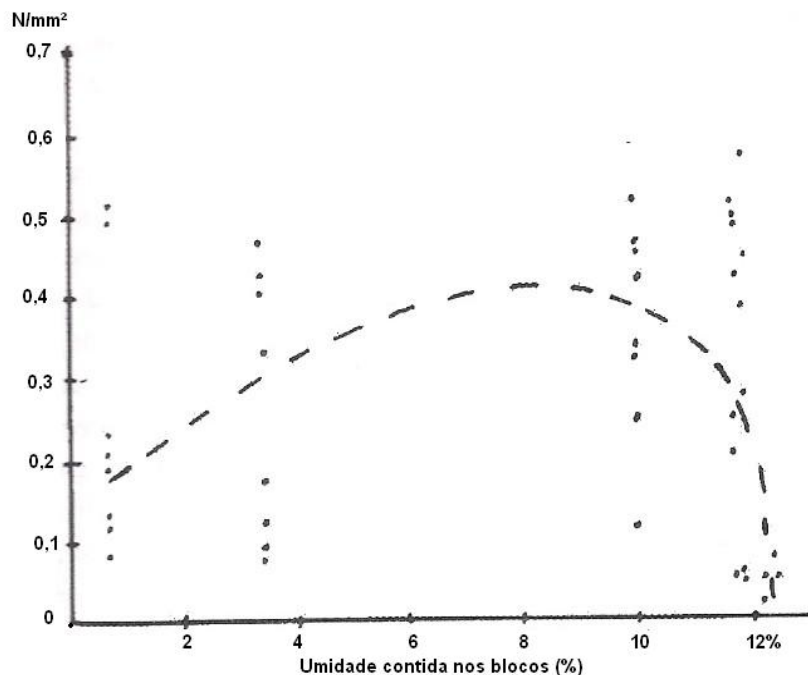


Figura 34 – Variação aderência tijolo/argamassa com o conteúdo de umidade no momento do assentamento (HENDRY,1981).

O diagrama indica uma grande variabilidade e sugere que a melhor resistência foi em torno de ¾ da total saturação, resultado indicado nas unidades empregadas pelo autor nos ensaios. Em projetos, esta grande variação deve ser lembrada, e o melhor resultado apresentado pelo autor de 0,4 N/mm², deve ser usado em projeto com grande cautela.

Santos (2001) analisou a influência do preenchimento ou não das juntas verticais, onde no total ensaiou 20 paredes, sendo 10 para cada tipo de carregamento. Os ensaios foram feitos com os prismas na posição horizontal e não na vertical como é recomendado pela BS 5628, para evitar que o prisma sofresse rotação pelo peso próprio.

O esquema de carregamento é apresentado na Figura 35 a seguir.

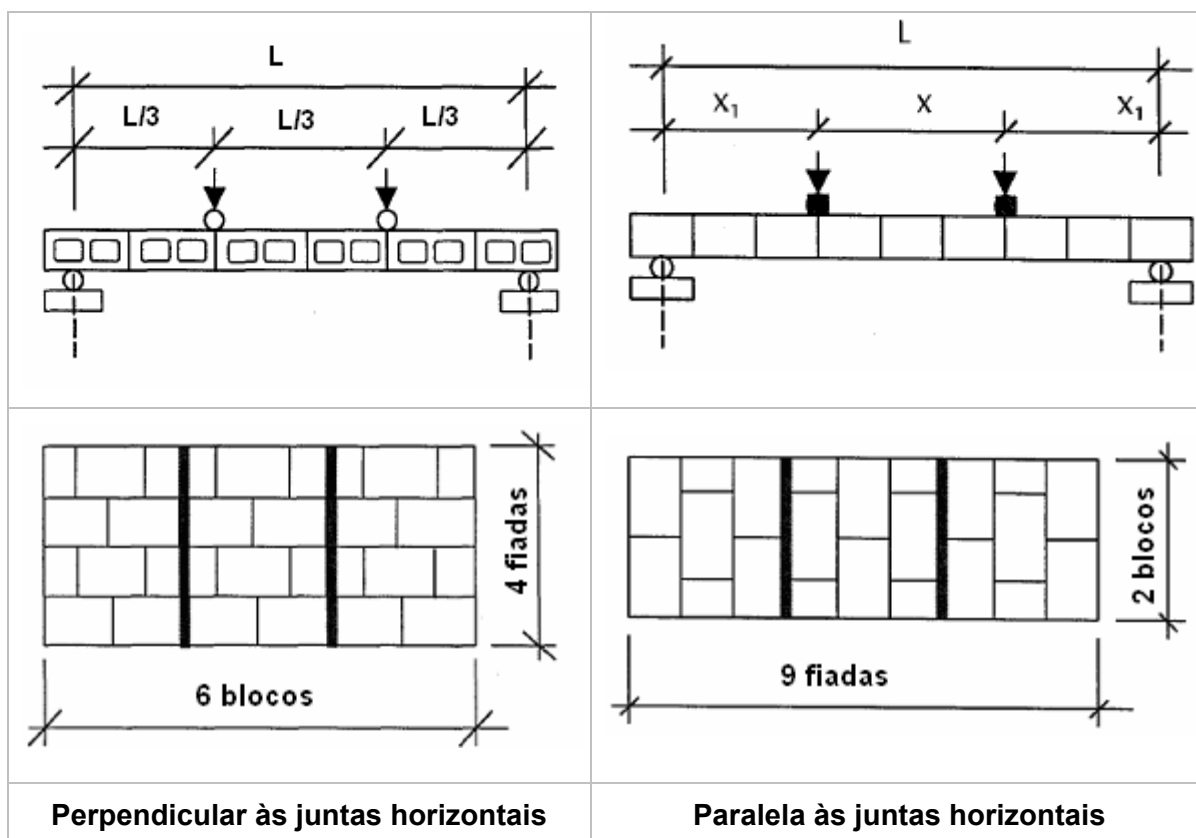


Figura 35 – Métodos de ensaio para determinação da resistência à tração em ensaio de flexão (SANTOS,2001)

Em seus ensaios, Santos observou dois modos de ruptura: através dos blocos e juntas ou através de juntas em zig-zag. Nas duas situações apresentadas na Figura 36, o tipo de ruptura foi brusca, e para as juntas não preenchidas a ruptura ocorreu como mostra a Figura 36 (tipo b).

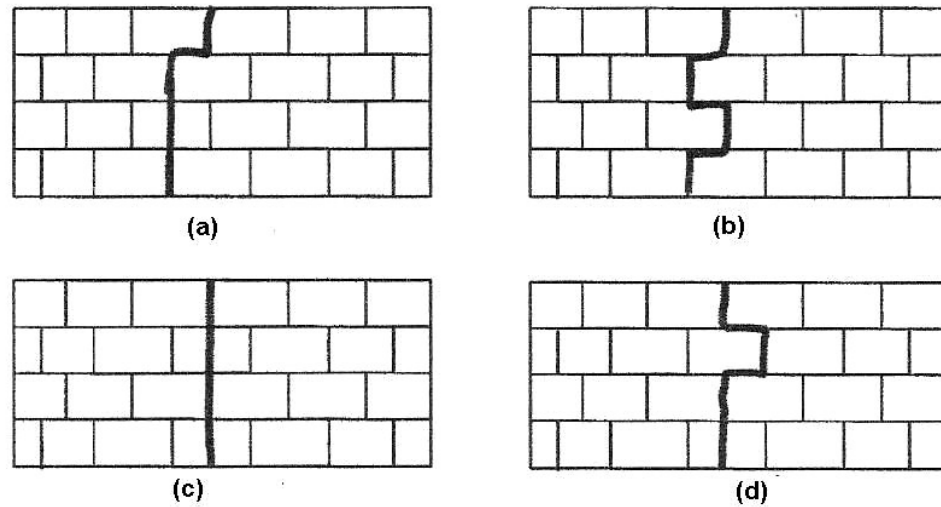


Figura 36 – Modos de ruptura em ensaio de flexão de corpos-de-prova com juntas preenchidas e não preenchidas (Santos, 2001)

O autor chegou às seguintes conclusões:

- quando as juntas verticais não são preenchidas, a resistência à tração em ensaio de flexão paralela às juntas horizontais é 32% menor que quando as juntas são preenchidas;
- em ensaios de flexão perpendicular às juntas horizontais, com juntas verticais não preenchidas, a resistência à tração é 58% menor que quando estas são preenchidas.

Os resultados apresentados por Santos (2001) mostraram a influência do não preenchimento das juntas verticais nos resultados de resistência à tração.

3

CARACTERIZAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES DOS PAINÉIS

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve a caracterização e especificação dos materiais e componentes empregados nos painéis. São mostradas as características físicas e mecânicas dos blocos cerâmicos, argamassa armada e argamassa polimérica, assim como os procedimentos de moldagem dos prismas e painéis.

Segundo Roman *et. al.*(1999), o principal problema para desenvolvimento de ensaios confiáveis decorre das características anisotrópicas da alvenaria, devido ao fato de que o tijolo e a argamassa possuem propriedades diferentes e torna-se difícil, portanto, determinar o real comportamento de uma parede carregada. São necessários ensaios que variam desde o simples estudo das propriedades dos materiais usados na alvenaria e da resistência tijolo/argamassa polimérica, até a resistência da parede completa.

O material cerâmico foi fornecido por uma indústria de cerâmica vermelha localizada em Presidente Getúlio – SC, e a argamassa polimérica foi desenvolvida em conjunto com uma empresa fabricante de aditivos.

3.2 BLOCOS CERÂMICOS

Devido à dificuldade de se moldarem vários tipos de painéis, o que demanda muito tempo e espaço para armazenagem, optou-se por escolher apenas dois tipos de blocos cerâmicos com geometrias diferentes, um bloco estrutural e outro concebido para uso como vedação na alvenaria convencional.

O bloco estrutural do tipo B01 é vendido no mercado como bloco de vedação e seu custo é 21% menor que o bloco tipo B02. Em estudos preliminares a procura foi por um bloco de vedação com características que se enquadrassem na NBR 7171 – bloco cerâmico para alvenaria para blocos portantes, quando testado na direção paralela aos furos. Os principais motivos do uso do bloco tipo B01, foi a redução de

custos, pelo valor das unidades ser inferior e também por seu peso ser inferior aos blocos estruturais.

O fator peso próprio, em se tratando de painéis pré-fabricados se torna bastante relevante, pois o peso final do painel terá influência nas soluções de transporte e montagem e, portanto, na viabilidade econômica do uso dos mesmos. O peso elevado limita seu uso para determinados tipos de obras, pois existem regiões onde não é possível o acesso de caminhões de grande porte e guas. É necessário avaliar a capacidade de carga dos equipamentos de elevação e a necessidade de mão-de-obra mais especializada. Estes fatores terão influência no custo de montagem final. O peso da unidade também possui grande relevância com relação à mão-de-obra, pois quanto mais leve for o bloco, maior será a velocidade de construção e produção.

Para obras em alvenaria estrutural não são aceitáveis unidades com resistência à compressão inferior a 4 MPa (ROMAN, 2002).

Para a caracterização dos blocos foram realizados os seguintes ensaios (Tabela 6):





Tabela 6 – Ensaios realizados nos blocos e normas utilizadas

Ensaio	Norma
Análise dimensional	NBR 7171 (1992)
Taxa de absorção	NBR 8947 (1985)
Taxa de sucção inicial	ASTM C 67 (1994)
Área Líquida	NBR 8043 (1983)
Massa unitária ¹	_____
Resistência à compressão	NBR 6461 (1983)
Resistência à tração	ASTM C 1006 (1984)

A Tabela 7 mostra como os blocos utilizados neste estudo foram denominados:

¹ Não há norma específica para este ensaio.

Tabela 7– Tipos de blocos utilizados na pesquisa

Tipo de Bloco	Nomenclatura	Dimensões Nominais *(L x H x C) (cm)	Geometria
Bloco 15 furos	<u>B1</u>	15X25X25	
Bloco estrutural 2 furos	<u>B2</u>	14X19X29	
Meio tijolo inteligente	<u>MB1</u>	15X25X12	
Meio bloco estrutural	<u>MB2</u>	14X19X14	

* L= largura; H= altura; C= comprimento

3.2.1 Ensaio de Análise Dimensional

A NBR 7171 (1992) define dimensão nominal como aquela especificada pelas arestas do bloco e dimensão real para as dimensões obtidas para as arestas do bloco através da média das dimensões de 24 unidades da amostra escolhidas aleatoriamente e que são dispostos lado a lado. Segundo a referida norma as tolerâncias máximas de fabricação para as dimensões das arestas são de $\pm 3\text{mm}$.

As dimensões nominais são verificadas individualmente para cada bloco, através da medição com paquímetro digital das medidas da largura (L), altura (H) e comprimento (C) e para cada direção realizaram-se 3 medidas adotando-se a média das mesmas.

A norma especifica que para a dimensão real, os blocos devem ser dispostos em fila, conforme arranjo da Figura 37. Devem-se posteriormente serem somados os valores, e este resultado é dividido por 24 resultando assim a dimensão real média dos blocos.

A determinação dos desvios de esquadro e planeza são feitas utilizando esquadro metálico e réguas graduadas para medir as deformações das faces; a tolerância permitida pela norma fica em 3 mm para ambas dimensões.

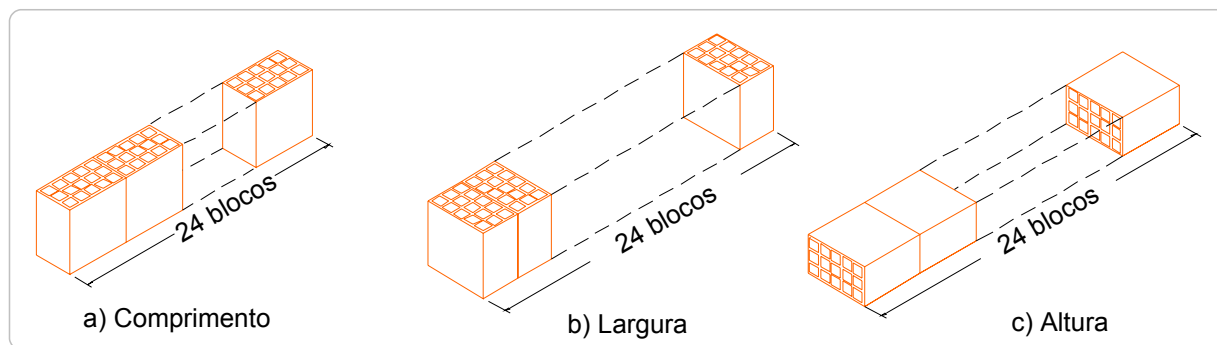


Figura 37 - Determinação das dimensões do bloco (NBR 7171, 1992)

3.2.1.1 Resultados da análise dimensional

Para cada tipo de bloco empregado foram utilizadas 24 unidades, para determinação das propriedades dimensionais. Observando a tabela 11, referente às dimensões nominais de cada tipo de bloco e comparando com a tabela 13 (dimensões nominais), observa-se que para todos os blocos ocorreu em média um aumento na largura de 0,2 mm até 0,8 mm, porém o MB01 (meio bloco tipo 01) apresentou um decréscimo de 2,7 mm. Em relação a altura, houve uma diminuição no bloco B01 em média de 2,7 mm e no MB01 a diminuição foi de 2,1 mm, já os B02 e MB02 tiveram um acréscimo de 0,23 e 0,63 respectivamente. No comprimento só houve diminuição no B01, e foi de 0,3 mm e os blocos B01, B02 e MB02 obtiveram aumento de 0,5, 0,9 e 0,47.

Em relação a média de dimensões nominais dos blocos, todos os valores exibidos ultrapassam ligeiramente a tolerância, no entanto os valores ficaram dentro da tolerância estabelecida pela NBR 7171 (1992), que é de no máximo ± 3 mm. Para o MB01 que obteve um decréscimo maior, os valores são aceitáveis pois este tipo de bloco é adquirido inteiro de fábrica e o problema ocorre durante o corte da unidade, que é feito com batidas na ranhura central do bloco e com o auxílio de uma colher de pedreiro, o que gera redução das dimensões principalmente na largura, o que foi observado. Mas acredita-se que este fato não traga consequência que possam afetar a resistência dos painéis, visto que o bloco MB01 é utilizado nas extremidades das fiadas do painel. Sua geometria é diferente do bloco de 15 furos, pois se este fosse cortado ao meio e por ter 15 furos as paredes dos septos ficariam fragilizadas. Por isso foi

adotada a alternativa de usar o bloco de 8 furos que tem as mesmas dimensões do bloco B01, mas por ser uma geometria que permite o corte no septo central, facilitaria sua utilização sem prejudicar o contrafiamento do painel e sua resistência.

O resultado do ensaio é apresentado resumidamente na tabela a seguir. O resultado completo dos ensaios de controle dimensional, planeza e esquadro de cada tipo de bloco são apresentados nas Tabelas A1, A2, A3, A4 do apêndice.

Tabela 8 – Resumo da análise dimensional dos blocos utilizados nos ensaios.

Tipo de Bloco	Dimensões								
	Largura			Altura			Comprimento		
	Média (mm)	D.P.	C.V. (%)	Média (mm)	D.P.	C.V. (%)	Média (mm)	D.P.	C.V. (%)
B01	150,2	0,52	0,35	247,22	1,02	0,41	250,57	0,94	0,38
B02	140,86	0,59	0,42	190,23	0,55	0,29	290,97	0,47	0,16
MB01	147,24	0,52	0,35	247,86	0,65	0,26	119,7	0,74	0,61
MB02	140,6	0,49	0,35	190,63	0,77	0,4	140,47	0,91	0,65

Em relação aos parâmetros de planeza das faces e ao esquadro todos os blocos estão dentro da tolerância estabelecida pela norma (± 3 mm) (Tabela 9).

Tabela 9 – Resumo das medidas de planeza e esquadro dos blocos.

Tipo de Bloco	Desvio de flecha (mm)					Desvio de esquadro (mm)				
	Mínimo (mm)	Média (mm)	Máximo (mm)	D.P.	C.V. (%)	Mínimo (mm)	Média (mm)	Máximo (mm)	D.P.	C.V. (%)
B01	0,75	1,55	2,30	0,41	26,41	0,85	2,00	2,70	0,53	26,72
B02	0,60	1,52	2,20	0,44	29,14	1,50	2,10	3,00	0,39	18,38
MB01	0,00	1,00	1,20	0,48	48,42	1,40	1,95	2,60	0,31	16,09
MB02	0,00	0,78	1,85	0,52	66,48	0,00	1,05	2,00	0,64	60,63

3.2.2 Ensaio de Absorção de Água

A realização deste ensaio é feita conforme a NBR 8947 – Determinação da massa e da absorção de água (1985), seguindo a recomendação da NBR 7171 – Bloco cerâmico para alvenaria (1992). A prescrição da mesma é para o método de determinação da massa e da absorção em telhas cerâmicas. A absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 25%. A absorção de água é definida como o peso de água, expressado como uma percentagem da massa seca do bloco, que é absorvida durante a imersão em água num determinado período de tempo. Este tempo é normalmente de 5 horas em água fervente ou de 24 horas em água fria.

Para realização dos ensaios foram utilizadas 10 unidades para compor as amostras. Ensaios realizados por Oliveira (1993) mostram que a absorção de água em blocos fabricados no Estado de Santa Catarina apresentam valores de alta variabilidade (C.V. = 25,07 %). Desta forma o número maior de amostras leva a uma redução na margem de erro do ensaio.

Para determinação do ensaio, primeiramente é feita uma inspeção visual para verificação do aspecto de integridade das unidades e após é realizada a limpeza para eliminação de partículas soltas.

Os blocos são colocados em estufa à temperatura de 110 °C durante 24 horas para a determinação da massa seca (M_s) e após resfriarem são mergulhados em água (23 ± 5) °C durante um período de 24 horas.

Após serem retirados da água as superfícies dos blocos são secas com um pano, e os mesmos são pesados novamente, obtendo a massa do bloco saturado (M_U).

Os valores da absorção para cada tipo de unidade de blocos serão determinados pela Equação 6:

$$Abs = \left(\frac{M_U - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

Abs = absorção de água, em percentagem;

M_U = massa do bloco saturado, em kg;

M_s = massa do bloco, em kg.

3.2.2.1 Resultados do ensaio de absorção

Os ensaios de absorção de água apresentados na Tabela 10 indicam que os valores situaram-se dentro da faixa especificada pela NBR 7171 (1992), que é de 8% a 25%. O resultado completo deste ensaio, para cada tipo de bloco é apresentado no apêndice A5, A6, A7 e A8.

Tabela 10 – Resumo do ensaio de absorção inicial

Tipo de bloco	Média Absorção Inicial (%)	Desvio Padrão (%)	C.V (%)
B01	20,72	0,73	3,51
B02	21,62	0,48	2,23
MB01	20,89	1,20	5,75
MB02	18,04	1,05	5,83

3.2.3 Ensaio de Sucção Inicial

A taxa de sucção inicial é um ensaio não normalizado no Brasil e para sua determinação foi feita uma adaptação do procedimento mencionado na norma ASTM C 67 (1994), na qual esta taxa é conhecida como IRA “initial rate of absorption”.

Este ensaio, basicamente consiste em secar as unidade em estufa à temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, durante o período de 24 horas. Após serem retirados da estufa, por 4 horas os blocos são deixados em ambiente laboratorial e depois pesados, obtendo-se a massa seca (M_s). Em seguida se determina a massa de água absorvida pela face do bloco imersa em uma lâmina de água de 3 ± 1 mm por cerca de 60 segundos, determinando a massa do bloco (M_i), sendo o resultado expresso em

$$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}$$

A taxa de sucção inicial é calculada de acordo com a Equação 7:

$$T_{si} = \frac{(M_i - M_s)}{A_{liq} + \text{Sup.Contato}} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$$T_{si} = \text{taxa de sucção inicial} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}} \right);$$

M_i = massa da unidade depois de imersa em água por 1 minuto (kg);

M_s = massa da unidade seca em estufa (kg);

A_{liq} = área líquida da unidade em contato com a água (m²);

Sup.Contato = superfície de contato da água nas paredes do bloco.

A magnitude desta taxa depende das características superficiais da unidade, do tipo de argila empregada e do grau de cozimento da peça.

Segundo Roman (1991), a taxa de sucção tem grande importância na aderência entre o bloco e a argamassa, pois quanto maior for a taxa de sucção, tanto menor será a resistência à flexão e ao cisalhamento. Em casos onde o bloco tem elevada taxa de sucção, o mesmo deve ser umedecido antes do assentamento na parede para reduzir esta taxa.

3.2.3.1 Resultados do Ensaio de Sucção Inicial

A taxa de sucção inicial dos blocos ficou entre 0,76 a 1,46 $\frac{Kg}{m^2 \times min}$, portanto os valores ficaram abaixo do valor máximo recomendado pela ASTM C 67 (1994) que é de 1,5 $\frac{Kg}{m^2 \times min}$. As tabelas A9, A10, A11 e A12 do apêndice, apresentam os resultados completos deste ensaio.

Tabela 11 – Resumo do ensaio de sucção inicial

Tipo de bloco	Média Sucção Inicial (kg/m ² .min)	Desvio Padrão (kg/m ² .min)	C.V (%)
B01	1,19	0,29	24,53
B02	1,46	0,19	13,25
MB01	1,08	0,06	5,40
MB02	0,76	0,05	6,70

3.2.4 Determinação da Área Líquida

A NBR 8043 (1983), define área líquida como sendo a área bruta de qualquer uma das faces do bloco diminuída da área de vazios contidos nesta face.

Para determinação da área líquida, foram adotados os critérios estabelecidos pela norma NBR 8043 (1983). O procedimento do ensaio recomendado pela norma é o seguinte:

- Os blocos são imersos em água fervente por 2h.

- Depois de retirados da água fervente, deve-se enxugá-los com um pano úmido e pesá-los obtendo-se a sua massa saturada M_1 .
- Depois de saturados, os blocos devem se pesados imersos em água à temperatura de $(23\pm 5)^\circ\text{C}$, sendo o valor obtido a sua massa aparente M_2 .

A área líquida, expressa em cm^2 , de cada bloco calculado segundo a Equação 8:

$$A_{\text{liq}} = \frac{(M_1 - M_2)}{H} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

A_{liq} = área líquida (cm^2);

M_1 = massa do bloco saturada (g);

M_2 = massa aparente do bloco (g);

H = altura do bloco (cm).

3.2.4.1 Resultados da área líquida

Os resultados completos do ensaio mencionado encontram-se no Apêndice 1. Na relação entre área líquida e área bruta dos blocos, os valores médios de porcentagem ficaram entre 35,59% e 46,49%, e comparando estes valores com a Tabela 12, a qual apresenta a classificação da ABCI (1990) quanto aos tipos de blocos em relação a sua área útil, os valores ficaram inferiores a 70%, o que classifica os blocos como vazados.

Tabela 12 – Resultados dos ensaios de área líquida

Tipo de bloco	Média Área Bruta (cm^2)	Desvio Padrão Área Bruta (cm^2)	C.V. Área Bruta (%)	Média Área Líquida (cm^2)	Desvio Padrão Área Líquida (cm^2)	C.V. Área Líquida (%)	Área Líquida/Área Bruta (%)
B01	377,07	3,26	0,87	134,20	1,33	0,99	35,59
B02	410,61	1,37	0,33	164,39	0,64	0,39	40,04
MB01	176,54	0,91	0,51	64,42	3,47	5,39	36,49
MB02	206,43	0,79	0,45	95,98	6,12	6,37	46,49

3.2.5 Massa Unitária dos Blocos

Inicialmente os blocos devem ser secos em estufa a temperatura $(110\pm 5^\circ\text{C})$, obtendo-se a massa seca (M_s). Após ferverem por 2 horas e serem saturados os

blocos são pesados (V_{sat}), logo são imersos em água à temperatura de $(23 \pm 5^\circ\text{C})$, obtendo-se assim seu volume imerso (V_i). Ao subtrair o volume saturado do volume imerso, tem-se como resultado o volume real.

$$M_u = \frac{M_s}{V_{sat} - V_i} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

M_u = massa unitária $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$;

M_s = massa da unidade seca em estufa (kg);

V_{sat} = volume saturado (m^3);

V_i = volume imerso (m^3);

3.2.5.1 Resultados da massa unitária dos blocos

A Tabela 13 mostra os resultados resumidos do ensaio. O apêndice 1 contém as tabelas A16, A17, A18 e A19 que detalham os resultados para cada tipo de bloco.

Os valores de densidade dos blocos inteiros e meios blocos não ficaram próximos, a porcentagem maior de diferença ficou entre o B01 e MB02 e foi de aproximadamente 18%, mas acredita-se que está dentro da variabilidade natural do material cerâmico.

Tabela 13 – Resultados dos ensaios de massa unitária.

Tipo de bloco	Média Massa Unitária (kg/m^3)	Desvio Padrão Massa Unitária (kg/m^3)	C.V. Massa Unitária (%)
B01	1738,78	22,54	1,30
B02	1707,88	8,38	0,49
MB01	1555,33	88,06	5,66
MB02	1431,28	95,48	6,67

3.2.6 Resistência à Compressão de Blocos

É a principal característica da unidade para uso em alvenaria estrutural. Deve atingir os requisitos mínimos que a norma especifica e ao mesmo tempo às exigências do projeto estrutural.

A resistência à compressão de blocos, embora não reproduza necessariamente os estados de tensões que ocorrem em uma parede real, nos auxiliam como base para cálculo de estruturas de alvenaria.

Roman (1999), ressalta que o aumento na resistência à compressão das unidades implica no aumento da resistência da alvenaria. Entretanto esta relação não é linear. A resistência da parede é sempre menor que a resistência da unidade. Considerando como “fator de eficiência” a razão entre a resistência da alvenaria e a resistência da unidade, o autor relata que:

- O fator de eficiência diminui com o aumento da resistência das unidades;
- O fator de eficiência é maior para blocos do que para tijolos.

O fator de eficiência das alvenarias de blocos de concreto varia de 45% a 90%. Para os cerâmicos obtém-se fator de eficiência entre 25% a 50%. Já os tijolos maciços a eficiência fica em torno de 20%.

A norma brasileira NBR 6461 – Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão (1993), prescreve o procedimento para verificação da resistência à compressão em blocos cerâmicos de vedação e estruturais, esta resistência é calculada pela carga de ruptura medida no ensaio dividida pela área bruta do bloco. Os resultados podem ser apresentados tanto em relação à área líquida quanto em relação à área bruta, dependendo da finalidade desejada. Nas análises numéricas onde se considera o bloco como vazado é necessário que as propriedades sejam referidas em relação à área líquida.

Para a realização do ensaio de compressão foram utilizadas 10 unidades para comporem as amostras de cada tipo de bloco.

A execução do ensaio teve as seguintes etapas: a primeira consistiu no capeamento das faces destinadas ao assentamento e foi feita com argamassa (cimento + 30% de areia fina), areia necessária para evitar a fissuração. Depois de capeados os corpos-de-prova foram imersos em água potável durante 24 horas e após foram enxugados superficialmente e por último foi realizado o ensaio de compressão. A velocidade de carregamento aplicada na prensa foi de 0,5 kN/seg.

3.2.6.1 Resultados de resistência à compressão

Os resultados de ensaios de compressão dos 4 tipos de blocos são apresentados na Tabela 14 e os resultados completos nas tabelas encontram-se no Apêndice 1.

Embora o bloco B02 tenha uma média da área líquida 18% maior que o bloco B01, os valores da tensão de ruptura na área líquida não apresentaram este acréscimo, são praticamente iguais.

Tabela 14 – Resistência à compressão dos blocos

Tipo de bloco	Resistência à compressão						
	Resistência à compressão (área bruta)			Resistência à compressão (área líquida)			Média da carga de ruptura (kN)
	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	C.V. (%)	
B01	7,31	1,38	18,81	20,56	3,91	19,00	275,86
B02	8,33	1,17	14,10	20,79	2,84	13,65	341,89
MB01	6,67	2,33	34,92	18,53	7,11	38,37	117,62
MB02	6,97	1,32	18,96	14,94	2,23	14,93	143,91

A forma de ruptura dos blocos B01 ocorreu de maneira mais frágil que os blocos B02, caracterizando-se por pequenos fragmentos que são lançados do corpo-de-prova. Já o bloco B02 teve uma ruptura menos brusca, mas as paredes externas do bloco também se soltaram. A causa mais provável desta diferença está na menor espessura das paredes do bloco B01, que é originalmente de vedação. A Figura 38 mostra a forma de ruptura dos blocos tipo B01 e B02.



Figura 38 – Forma de ruptura dos blocos tipo B1 e B02.

3.2.7 Resistência à Tração

A norma ASTM C 1006 – *Standard test method for splitting tensile strength of masonry* (1984), foi utilizada para a obtenção da resistência à tração dos blocos cerâmicos por compressão diametral. Para realização do ensaio são utilizadas barras de aço cilíndricas com diâmetro de entre 1/8 e 1/12 da altura da amostra, e com comprimento maior que a largura do bloco.

A velocidade de carregamento a ser aplicada deve ser de 0,33 MPa/min. A resistência à tração é determinada através da Equação 10:

$$T = \frac{2 \times P}{\pi \times L \times H} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

T= resistência à tração por compressão (MPa);

P= carga aplicada (kN);

L= largura da amostra (mm);

H= altura da amostra (mm).

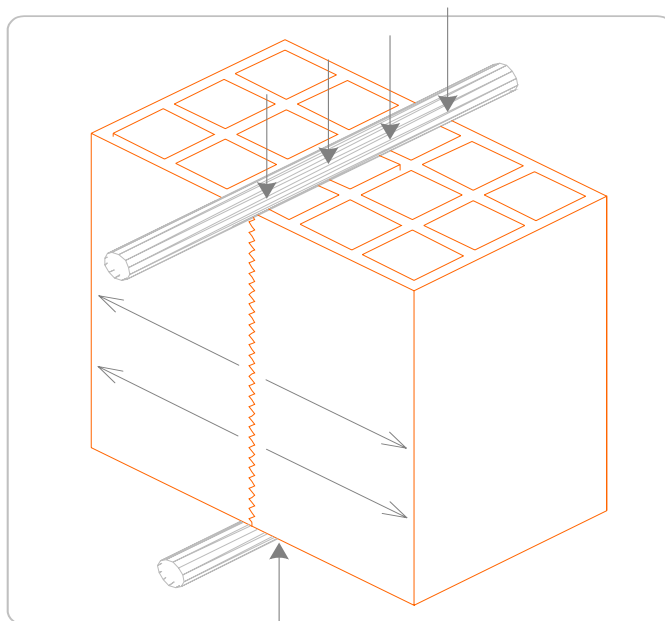


Figura 39 – Esquema de realização do ensaio de resistência à tração indireta do bloco

3.2.7.1 Resultados de resistência à tração

A média da resistência à tração dos blocos ficou entre 0,05 MPa e 0,15 MPa (Tabela 15), e os resultados apresentaram um coeficiente de variação relativamente baixo.

Tabela 15 – Resistência à tração dos blocos

Tipo de bloco	Média Resistência à tração (MPa)	Desvio Padrão Resistência à tração (MPa)	C.V. Resistência à tração (%)
B01	0,10	0,01	12,21
B02	0,15	0,04	25,73
MB01	0,05	0,01	17,43
MB02	0,15	0,03	23,95

Fazendo a relação entre a resistência à tração e a compressão observa-se que a primeira ficou na faixa de 0,75 a 1,84% da segunda (Tabela 16). Segundo Mendes

(1998), resultados nesta faixa são considerados baixos se comparados com a resistência à tração dos blocos de concreto, que geralmente é da ordem de 10% da resistência à compressão. O autor relata que vários fatores podem influenciar a resistência à tração do material cerâmico tais como porosidade da massa, grau de vitrificação, tempo e temperatura de queima.

Tabela 16 – Relação entre a resistência à tração e compressão

Tipo de bloco	Resistência à tração (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Relação entre resistência à tração e compressão (%)
B01	0,10	7,31	1,37
B02	0,15	8,33	1,80
MB01	0,05	6,67	0,75
MB02	0,15	8,16	1,84

3.2.8 Módulo de elasticidade dos blocos

O módulo de elasticidade do bloco cerâmico é uma propriedade de extrema importância que se saiba para a realização de análises numéricas. Mas não existe nenhuma norma nacional que especifique um método de ensaio para sua obtenção. Em alguns casos o módulo é obtido teoricamente e seus resultados são associados diretamente com a resistência à compressão dos blocos.

Para obtenção do módulo de elasticidade dos blocos foram seguidas as indicações da ACI 530R-92 (1995), a qual sugere que seja retirada a inclinação da secante do diagrama tensão x deformação, com os valores sendo extraídos no intervalo de 5% e 33% da tensão de ruptura do bloco.

O posicionamento dos transdutores de deslocamento no bloco pode influenciar os resultados. A posição ideal para os mesmos é a região média do vazado, isto é, o mais distante dos septos. Devido a maior rigidez existente nos septos, esta região e as proximidades a ela apresentam concentrações de tensões, e desta forma mede-se valores inadequados de deformação (NASCIMENTO NETO, 2003). Para este estudo, os instrumentos de medição foram posicionados nos vazados e septos, com o objetivo de observar as diferentes deformações, mas os resultados utilizados para módulo de deformação, partiram das leituras realizadas nos vazados.

As formas de instrumentação dos blocos, para obtenção do módulo de elasticidade foram realizadas de 2 maneiras distintas, com transdutores indutivos de deslocamento e strain gauge (Figura 40).

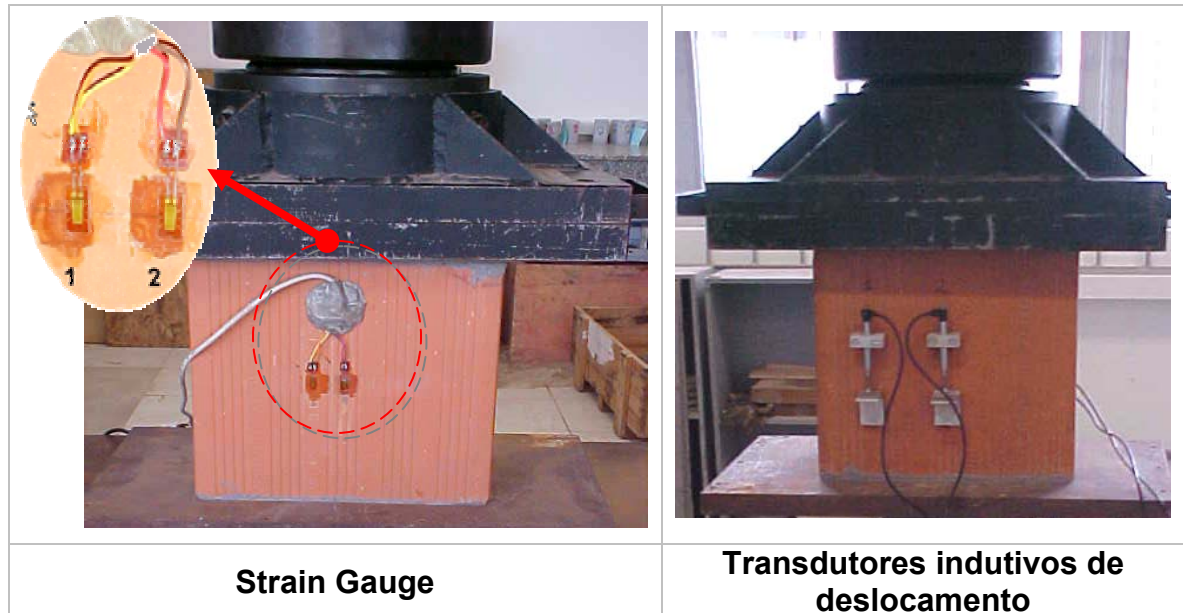


Figura 40 – Instrumentos utilizados para medição do módulo de elasticidade

3.2.8.1 Resultados dos módulos de elasticidade dos blocos

Os instrumentos posicionados nos septos do bloco B01 apresentaram seu módulo médio em torno de 14% maior que os posicionados nos vazados, já o bloco B02 obteve um módulo médio de aproximadamente 2,5% maior.

Os resultados dos módulos de deformação para os dois tipos de blocos se mostraram relativamente baixos e dispersos com coeficiente de variação em torno de 24%, o que não deixa de ser normal em se tratando de materiais cerâmicos.

Segundo Gleize (2003), a natureza frágil dos materiais cerâmicos que é devido aos defeitos e imperfeições inerentes à estrutura do material ou gerados pelo processo de fabricação, tem a tendência em ser distribuídos aleatoriamente tanto em orientação quanto em tamanho, e por conseqüência as resistências à fratura exibirão uma grande variabilidade.

Nos blocos cerâmicos a ponta de uma trinca pode ser considerada como provável causa do processo de ruptura, e isto faz com que a sua resistência esteja relacionada não só à porosidade da massa, grau de vitrificação, e temperatura de

queima, mas também ao tamanho do defeito mais crítico existente no corpo-de-prova a ser testado.

A Tabela 17 contém os resultados obtidos nos ensaios executados com blocos tipo B01 e B02.

Tabela 17 – Módulo de deformação blocos cerâmicos tipo B01e B02.

Tipo de bloco	Instrumento	Amostra	Tensões de ruptura (MPa)		Módulo de deformação (MPa)	
			Área bruta	Área líquida	Área bruta	Área líquida
B01	<i>Transdutor de deslocamento</i>	01	11,19	31,44	2333	6516
		02	7,55	21,21	2214	6022
		03	2,91	8,19	1340	3756
	<i>Strain Gage</i>	04	7,68	21,58	1722	4683
		Média (MPa)	7,33	20,61	1902	5244
		C.V. (%)	46,32	46,28	24,12	24,00
B02	<i>Transdutor de deslocamento</i>	01	12,20	30,46	2203	5465
		02	10,11	25,26	2189	5351
		03	7,17	17,93	1684	4219
	<i>Strain Gage</i>	04	7,18	19,19	1560	3897
		Média (MPa)	9,16	23,21	1909	4733
		C.V. (%)	26,74	24,97	17,56	16,73

3.3 ARGAMASSA POLIMÉRICA

A argamassa polimérica utilizada neste trabalho foi desenvolvida para o processo construtivo em painéis, e um dos seus objetivos principais foi melhorar a aderência entre os blocos e facilitar seu assentamento sobre a mesa de moldagem aumentando, desta forma a produtividade da alvenaria. Além disso, outra função muito importante era a de permitir a movimentação dos painéis no menor intervalo de tempo.

Os dois principais componentes da argamassa polimérica são: um líquido (polímero) e o outro em pó, conforme as percentagens apresentadas a seguir:

- 28% areia (peneira entre 50 e 100);
- 45% areia moída (peneira #200);
- 27% cimento.

A parte líquida é composta por 2 tipos de resinas dispersas em água, sendo:

- Copolímero vinil maleíco (60%);
- Copolímero a base de acrilato e estireno (40%).

Para avaliar o desempenho desta argamassa, foram executados ensaios preliminares de aderência. Por não existir norma específica para este tipo de material, os ensaios foram realizados baseados nas normas técnicas: NBR 14.084/1998 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação da resistência de aderência e NBR 13.528/1995 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência. Para a realização dos ensaios foi feita uma associação entre as duas normas.

Para a realização do ensaio, foram coladas pastilhas de seção 50x50mm nas paredes externas dos blocos cerâmicos. A limpeza dos corpos-de-prova foi um dos cuidados tomados nesta etapa, com o intuito de que a face do bloco a ser trabalhada, e as pastilhas ficassem isentas de partículas que pudessem interferir nos resultados do ensaio.

Em cada bloco foram coladas 4 pastilhas com argamassa polimérica aplicada com o auxílio de um pincel (Figura 41 –A), mesmo procedimento utilizado quando se é moldado um painel (Figura 41 – B). A espessura desta argamassa fica em torno de 3mm.



Figura 41 – Forma de aplicação da argamassa polimérica no corpo-de-prova

As pastilhas foram espaçadas entre si e dos cantos em distâncias de no mínimo 50 mm, para poder ser acoplado o aparelho de arrancamento.

Para este ensaio, variou-se a condição de molhagem da face do substrato a ser ensaiado, e as variáveis foram: superfícies secas em temperatura ambiente, imersas

em água durante 30 segundos e 1 minuto. O procedimento foi realizado em 12 corpos-de-prova e para 3 misturas diferentes de argamassa polimérica.

As misturas de componentes utilizadas para o ensaio de aderência foram: 2,9, 3,2 e 3,6 para 1 litro de cola e para as 3 situações de molhagem da face do substrato e corpo-de-prova, resultando no total de 108 corpos-de-prova. A cura foi feita nas condições ambientais do laboratório.

No 27º dia foram coladas as placas de arrancamento (pastilhas metálicas) em cada uma das pastilhas cerâmicas, utilizando cola à base epóxi de modo que as placas ficaram sobrepostas. Aos 28 dias foi executado o ensaio de arrancamento por tração. A aplicação da carga foi realizada a uma velocidade uniforme de 0,25 kN/s até a ruptura. A Figura 42 mostra o equipamento utilizado para a realização do ensaio e também a disposição dos corpos de prova (pastilha) sobre o substrato (bloco). O equipamento é hidráulico, permite a aplicação lenta e progressiva, possui articulação para assegurar aplicação do esforço de tração simples e dispositivo para leitura da carga.



Figura 42 – Equipamento utilizado para determinar a carga máxima de ruptura.

A carga máxima aplicada foi em kN, e a forma de ruptura ocorreu de 5 maneiras diferentes, as quais são mostradas na Figura 43 a seguir.

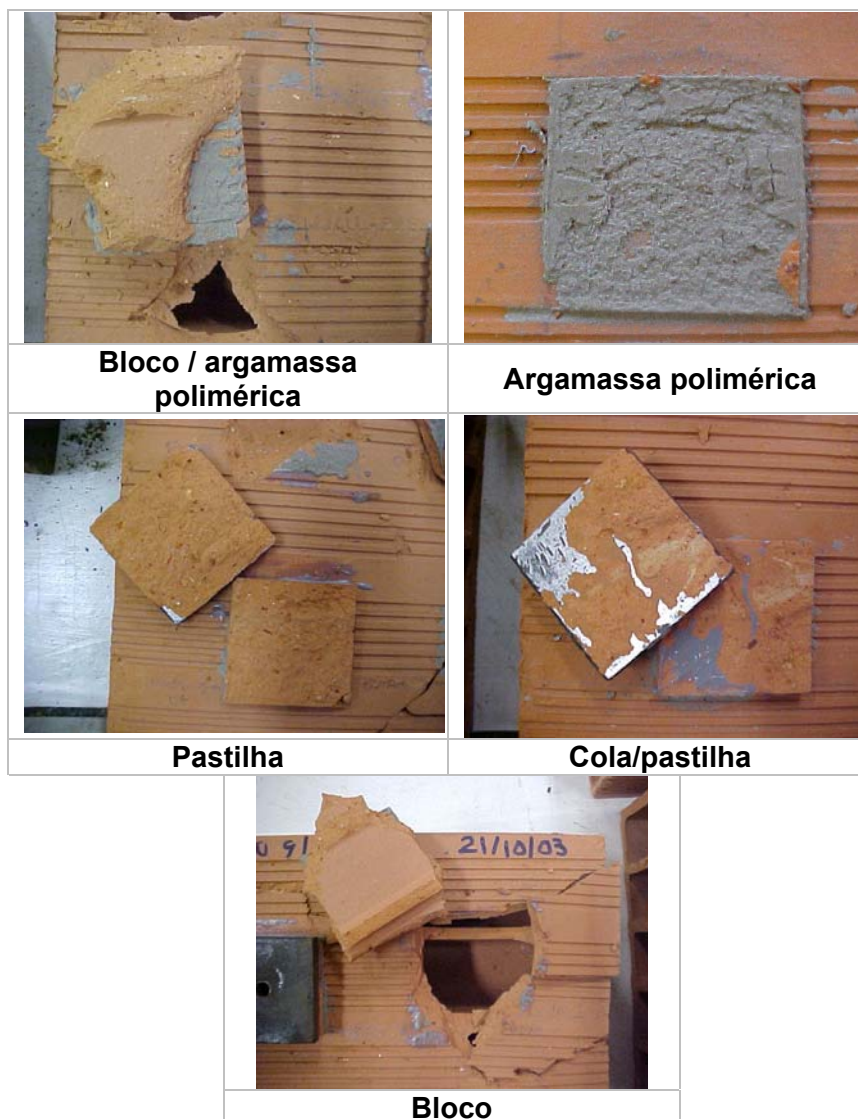


Figura 43 – Forma de ruptura dos corpos-de-prova

A área do plano de ruptura, é igual para todas as amostras, que é a seção da pastilha, 2.500 mm². Posteriormente calculou-se a tensão de aderência, em MPa, que é a carga máxima de ruptura (kN) dividida pela área da pastilha (2500 mm²), conforme a Equação 11:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

σ : tensão de aderência (MPa)

F: carga de ruptura (kN)

A: área da pastilha (mm²)

Os resultados da tensão média de aderência e as porcentagens de cada forma de ruptura, para cada mistura e condição de molhagem, estão expostos na Tabela 18.

Tabela 18 – Tensão média de aderência e as porcentagens de cada forma de ruptura para cada mistura e condição de molhagem.

Mistura – Condições de molhagem	Tensão Média (MPa)	Formas de Rompimento (%)						
		bloco	bl./arg.	argam.	past./arg.	pastilha	cola/past.	cola
Mist. 2,9kg p/ 1l – 1min	0,353	33,33	8,33	8,33	0,00	16,67	25,00	8,33
Mist. 2,9kg p/ 1l – 30s	0,340	33,33	16,67	0,00	0,00	8,33	16,67	25,00
Mist. 2,9kg p/ 1l – sem molhar	0,489	33,33	25,00	0,00	0,00	16,67	25,00	0,00
Mist. 3,2kg p/ 1l – 1min	0,288	75,00	8,33	0,00	0,00	16,67	0,00	0,00
Mist. 3,2kg p/ 1l – 30s	0,287	66,67	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	8,33
Mist. 3,2kg p/ 1l – sem molhar	0,290	58,33	8,33	0,00	8,33	25,00	0,00	0,00
Mist. 3,6kg p/ 1l – 1min	0,241	50,00	8,33	0,00	0,00	33,33	0,00	8,33
Mist. 3,6kg p/ 1l – 30s	0,304	50,00	16,67	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00
Mist. 3,6kg p/ 1l – sem molhar	0,210	16,67	0,00	0,00	0,00	83,33	0,00	0,00

O comparativo entre os resultados de tensão média podem ser melhor visualizados na Figura 44.

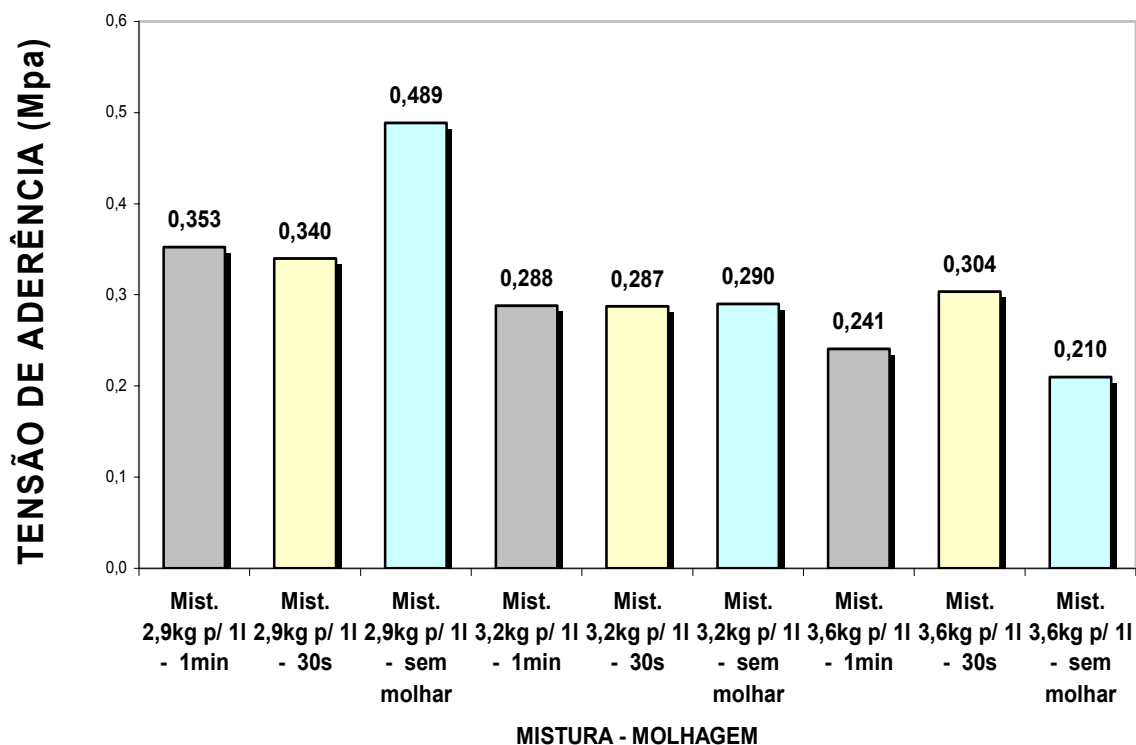


Figura 44 – Tensão média de aderência conforme mistura – condição de molhagem.

Os valores apresentados para tensão média de aderência foram calculados para as 12 amostras de cada mistura – condição de molhagem, exceto para os corpos-de-prova onde o rompimento se deu na cola ou cola/pastilha e aqueles que romperam no acoplamento entre o equipamento e a placa de arrancamento.

Os resultados mostraram que a mistura de 2,9 kg da parte em pó para 1 litro de cola apresentaram os maiores resultados para tensão média de aderência, e destes, o maior valor de tensão média de aderência foi para os corpos-de-prova que não foram molhados. Estes resultados definiram as proporções a serem usadas para a moldagem dos painéis. Conclui-se, também, que a molhagem dos blocos antes da aplicação da argamassa polimérica prejudica a aderência entre os blocos, portanto não sendo necessário este procedimento antes do início da colagem.

Com base nos resultados a argamassa escolhida foi apenas aquela com composição de 2,9 kg de mistura para 1 litro de cola. Os ensaios como resistência à compressão e módulo de deformação foram executados apenas com este tipo de argamassa e são apresentados na Tabela 19 a seguir.

Tabela 19 – Resultados compressão e módulo de deformação da argamassa polimérica

COMPRESSÃO ARGAMASSA POLIMÉRICA					
CP Nº	DIÂMETRO (mm)	ÁREA (mm²)	CARGA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO (MPa)
1	49,85	1951,73	13980,00	7,16	1774
2	49,70	1940,00	14260,00	7,35	2648
3	50,50	2002,96	14500,00	7,24	2223
4	49,95	1959,57	14540,00	7,42	1639
Média	50,00	1963,57	14320,00	7,29	2071,00
D. Padrão	0,35	27,47	258,20	0,11	458,57
C.V.(%)	0,70	1,40	1,80	1,57	22,14

3.4 ARGAMASSA ARMADA

A argamassa utilizada em todo o contorno do painel foi assim denominada devido à sua constituição ser a mesma de uma argamassa armada.

A NBR 11173 (NB – 1259), conceitua a argamassa armada como sendo uma argamassa para pré-fabricados, sendo de uma mistura homogênea de cimento

portland, agregado miúdo e água, podendo ainda ter adições que melhorem suas propriedades.

Abaixo, são citados os materiais componentes da argamassa utilizada:

- Cimento portland CPV – ARI – RS;
- Areia média (procedência: Rio Tijucas);
- Aditivo plastificante;
- Armadura;
 - Difusa – tela de aço soldada fio de 1,50 mm e malha 15X15 mm;
 - Discreta – aço CA – 50 de bitola 4,2 mm.

Os materiais constituintes da argamassa utilizada neste estudo se ajustam perfeitamente a este conceito, não podendo, assim, denominá-la como sendo um microconcreto ou graute, pois em sua composição não é utilizado pedrisco e sim areia média grossa.

3.4.1 Especificação dos Materiais:

Cimento Portland CPV – ARI:

Segundo Agnesini e Liborio (1993), o cimento CPV – ARI (NBR 5733), é utilizado na indústria de pré-fabricados devido as suas características físicas e químicas que possibilitam a redução do tempo de desfôrma dos componentes.

Para determinação de massa unitária do cimento, adotou-se como referência o procedimento da NBR 7251 (1982). Este valor é importante e necessário para transformar o traço em volume especificado em normas, em traço em massa.

O resultado do ensaio encontra-se na Tabela 20.

Tabela 20 – Massa unitária do cimento, NBR 7251 (1982)

MATERIAL	MASSA UNITÁRIA (kg/dm ³)
Cimento	1,40

Areia média

A areia utilizada durante os ensaios foi proveniente do Vale do Rio Tijucas, Santa Catarina, e foi recebida em um único lote, lavada e seca em estufa por 24 horas no mínimo, à temperatura de 105±5°C e resfriamento à temperatura ambiente, quando

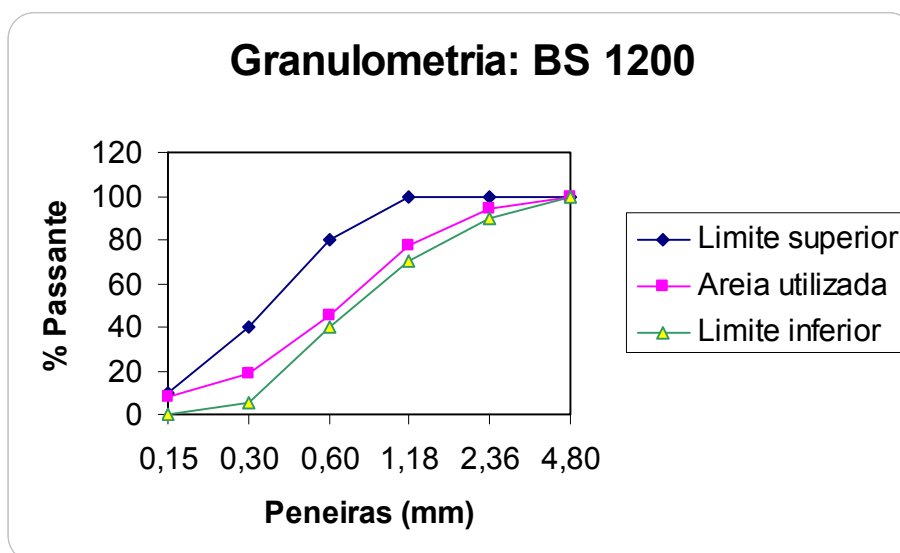
então se executou o ensaio de granulometria obedecendo ao procedimento da NBR 7211 (1987) e de material pulverulento NBR 7219 (1983).

A composição granulométrica da areia foi feita de acordo com a Norma NBR 7217 (1987). Os valores obtidos encontram-se na Tabela 21. A Figura 45 mostra que a areia utilizada nos ensaios está classificada entre os limites (inferior e superior) estipulados pela norma britânica BS 1200- Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry (1976).

Tabela 21 – Composição granulométrica da areia, NBR 7217 (1987)

Peneira (mm)	Retirada acumulada (%)	Passante acumulada (%)
0,15	92,00	8
0,30	81,00	19
0,60	55,00	45
1,18	22,50	77,5
2,36	5,50	94,5
4,80	0,00	100

Figura 45 – Granulometria da areia usada segundo BS 1200 (1976)



De acordo com a NBR 7211 (1987), a areia utilizada nos ensaios, foi classificada na zona 3, sendo portanto, areia média. A Tabela 22, apresenta as características da areia utilizada, com as respectivas normas.

Tabela 22 – Características físicas da areia

Massa específica real NBR 9776 (1987) (kg/m ³)	Massa unitária NBR 7251 (1982) (kg/m ³)	Módulo de finura NBR 7217 (1987)	Teor de materiais pulverulentos NBR 7219 (1987) (%)	Dimensão máxima característica (mm)
2,59	1,54	2,44	2,50	2,40

Aditivo plastificante

Define-se como aditivo (NBR 13529, 1995) o produto adicionado a argamassas em pequenas quantidades com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades no estado fresco ou endurecido.

Com o intuito de obter uma argamassa armada de bom desempenho, foi utilizado aditivo plastificante com as propriedades de melhorar uma ou mais propriedades, de melhorar a trabalhabilidade e plasticidade da argamassa.

Após a caracterização dos materiais ser concluída, procurou-se elaborar um traço piloto para a argamassa, onde características como a consistência no estado fresco e a resistência à compressão como ensaio no estado endurecido foram avaliadas. O índice de consistência (Flow table test), foi determinado através da NBR 7215 (1996). Corpos-de-prova cilíndricos foram moldados de acordo com NBR 5738. A partir destes ensaios o traço para a elaboração das argamassas foi definido – traço em massa – 1:2,75 e fator água cimento de 0,53, sendo este o que apresentou melhor trabalhabilidade, e maior resistência à compressão. Estas características foram mantidas em todo o estudo e são mostradas na Tabela 23.

Tabela 23 – Características do traço piloto

Traço em volume	Traço em massa	Relação a/c	Consistência (mm)	Resistência à compressão (MPa)
1:2,5	1:2,75	0,5	200,2	25,00

Armadura Difusa

A armadura usada no entorno dos painéis é uma tela soldada galvanizada (casanet) produzida comercialmente pela Belgo Mineira e é denominada armadura difusa.

Esta tela é adquirida em rolos de 25m e com largura de 1m, o diâmetro do fio é de 1,50 mm (Figura 46), e é denominada de armadura difusa pois suas características se adequaram perfeitamente ao conceito de armadura difusa componente da argamassa armada.

Para ser compatibilizada com a espessura do painel, esta armadura é cortada na espessura do bloco e com o comprimento total de todo o perímetro do mesmo.

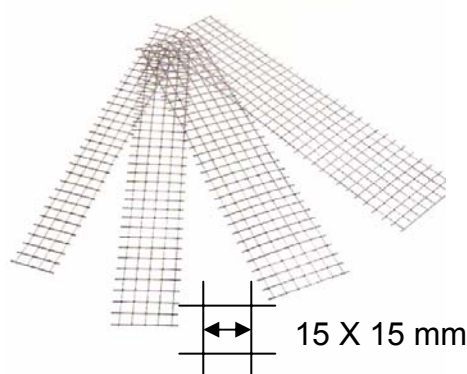


Figura 46 – Armadura difusa componente do painel

As características do arame da tela são apresentadas a seguir (dados fornecidos pelo fabricante):

- tipo: arame galvanizado
- bitola: 1,50 mm
- limite de resistência: 50 kgf/mm²
- alongamento: 12%
- camada Zn: 60 g/m²

Armadura Discreta

A armadura discreta dos componentes é composta por uma barra de aço CA-50 de 4,2 mm de diâmetro em todo o contorno do painel, e foi incorporada à argamassa armada juntamente com a tela soldada para garantir a maior estabilidade e segurança do painel durante o içamento (Figura 47).



Figura 47 – Armadura discreta componente do painel

3.4.2 Resistência à compressão da argamassa armada

Para avaliar a resistência à compressão da argamassa foi executada uma fôrma de espessura 5 cm e 30 cm de comprimento, para moldar corpos-de-prova que pudessem incorporar as armaduras difusa e discreta que são partes constituintes do painel (Figura 48). Deste modo foi possível avaliar a resistência, assim como o módulo de elasticidade do conjunto: argamassa + tela soldada + armadura.

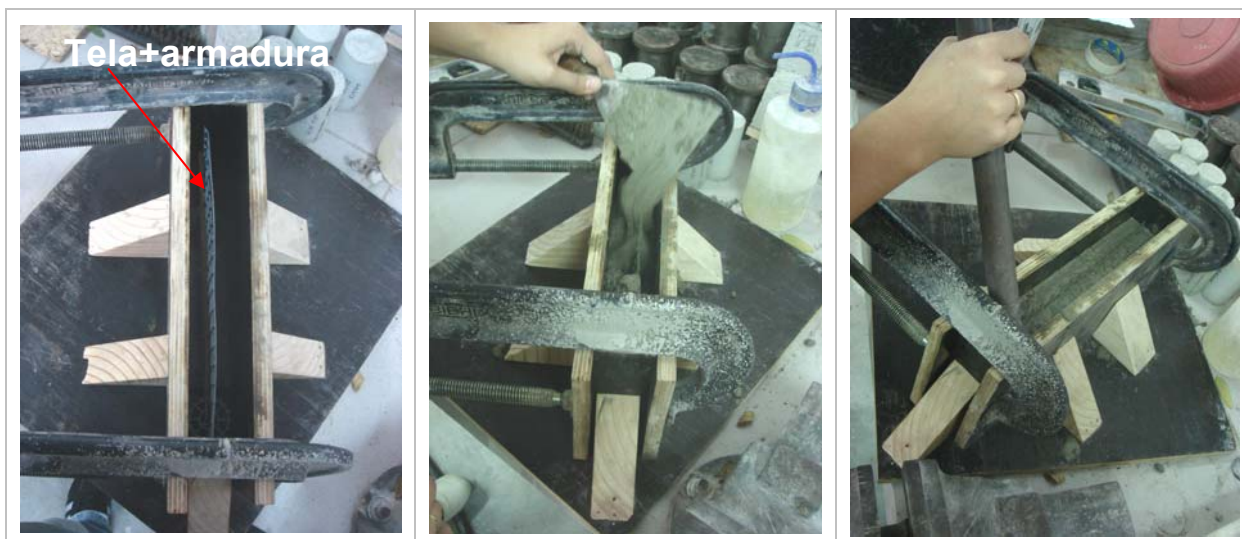


Figura 48 – Forma de moldagem dos corpos-de-prova de argamassa armada

Foram moldados 05 corpos-de-prova prismáticos de 5 x 30 x 15 cm, assim como 5 corpos-de-prova cilíndricos (5X10 cm) apenas da argamassa para cada corpo-de-prova prismático.

Após 48 horas, os corpos-de-prova foram desmoldados e curados ao ar em ambiente laboratorial durante 28 dias para após serem rompidos. A determinação da resistência à compressão simples das argamassas aos 28 dias, foi realizada utilizando

a prensa de sistema hidráulico SHIMADZU UH 2000 kN, do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC. A velocidade de carregamento adotada para este ensaio foi de 0,5 MPa / seg, segundo a NBR 7184 (1991).

A seguir é apresentada a Tabela com os resultados do ensaio de compressão dos corpos-de-prova 5x10 e prismáticos aos 28 dias.

Tabela 24 – Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos-de-prova prismáticos e cilíndricos.

Argamassa armada				Argamassa					
C.P.	Dimensões (LXHXC) (mm)	Carga (kN)	Tensão (MPa)	C.P.	Diâmetro (mm)	Carga (kN)	Tensão (MPa)		
1	50,00X303,50 X 145,00	168,80	23,28	1	50,30	71,75	36,13		
				2	50,20	68,45	34,60		
				3	50,30	69,45	34,97	Média (MPa)	34,96
				4	50,60	68,85	34,26	D. P. (MPa)	0,71
				5	50,50	69,80	34,87	C.V (%)	2,02
2	49,00X304,50 X 140,50	178,00	25,86	1	50,40	54,70	27,43		
				2	50,00	60,35	30,75		
				3	50,30	55,20	27,79	Média (MPa)	27,92
				4	50,10	47,40	24,06	D. P. (MPa)	2,55
				5	50,40	59,00	29,59	C.V (%)	9,13
3	51,60X296,00 X 137,80	150,30	21,14	1	50,11	44,60	22,63		
				2	50,40	61,25	30,72		
				3	49,83	57,65	29,58	Média (MPa)	29,04
				4	50,00	59,35	30,24	D. P. (MPa)	3,69
				5	50,20	63,35	32,02	C.V (%)	12,72
4	48,00X302,60 X 141,50	176,20	25,94	1	50,30	70,10	35,29		
				2	50,10	71,80	36,44		
				3	50,20	73,95	37,38	Média (MPa)	35,56
				4	50,10	76,00	38,57	D. P. (MPa)	3,27
				5	50,20	59,60	30,13	C.V (%)	9,19
5	46,00X296,00 X 144,10	238,40	35,97	1	50,40	69,65	34,93		
				2	50,20	68,25	34,50		
				3	50,30	66,45	33,46	Média (MPa)	34,67
				4	50,20	68,10	34,42	D. P. (MPa)	0,94
				5	50,40	71,90	36,06	C.V (%)	0,03
	Média	182,34 (kN)	26,44 (MPa)						
	D. P.	33,20 (kN)	5,69 (MPa)						
	C.V.(%)	18,21	21,51						

A Figura 49 mostra o modo de ruptura dos corpos-de-prova de 5x10 e prismáticos.

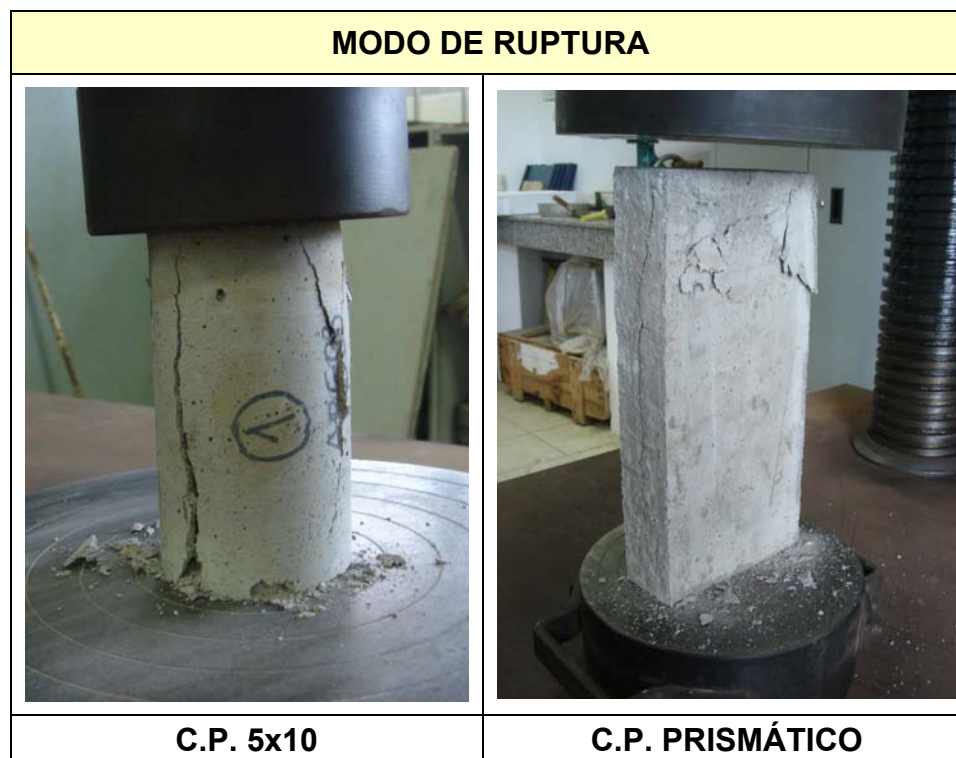


Figura 49 – Forma de ruptura corpos-de-prova de argamassa armada.

3.4.3 Módulo de elasticidade

Para a obtenção da deformação da argamassa armada, foram utilizados dois extensômetros na vertical em cada face da argamassa no corpo-de-prova prismático. A distância de contato entre os pontos de fixação dos extensômetros no corpo-de-prova foi de 49,6 mm para os corpos-de-prova de 5x10 cm e 60 mm para os corpos-de-prova prismáticos. Para aquisição de dados foi utilizado um datalogger Spider 8, e os dados adquiridos foram arquivados em um computador conectado ao mesmo.

Os módulos de elasticidade foram calculados segundo a norma NBR 8522 (1994), à partir do diagrama tensão x deformação, obtido nos pontos 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura.

A Figura 50 a seguir mostra a forma de disposição dos transdutores nos corpos-de-prova.

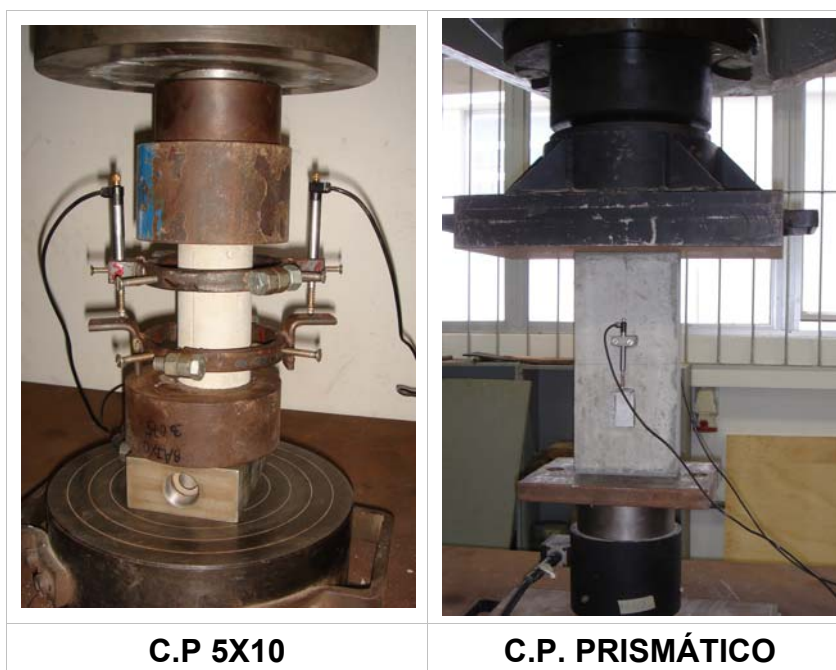


Figura 50 – Instrumentação dos corpos-de-prova para obtenção do módulo de elasticidade

Para determinação do módulo de deformação do corpo-de-prova prismático , também foi ensaiado um corpo-de-prova 5x10 para cada amostra, a fim de observar a influência da armadura e tela na deformação. A Tabela 25 contém um resumo dos resultados obtidos para os dois tipos de corpos-de-prova.

Tabela 25 – Módulo de elasticidade argamassa armada

C.P.	Dimensões (LXHXC) (mm)	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Módulo de deformação arg. armada (MPa)	C.P.	Diâmetro (mm)	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Módulo de deformação argamassa (MPa)
1	50,00X303,50X145,00	168,80	23,28	14167	1	50,20	68,45	34,59	16651
2	49,00X304,50X140,50	178,00	25,86	11270	2	50,30	55,20	27,78	15013
3	51,60X296,00X137,80	150,30	21,14	13544	3	50,10	71,80	36,58	15796
4	48,00X302,60X141,50	176,20	25,94	15557	4	50,40	69,65	34,91	15211
	Média	182,34 (kN)	26,44 (MPa)	13634 (MPa)		Média	66,27 (kN)	33,46 (MPa)	15667 (MPa)
	D. P.	33,20 (kN)	5,69 (MPa)	1786 (MPa)		D. P.	7,51 (kN)	3,89 (MPa)	734 (MPa)
	C.V (%)	18,21	21,51	13,10		C.V (%)	11,33	11,62	4,69

Pode-se observar pelos resultados que módulo de deformação do o corpo-de-prova 5x10 cilíndrico foi 15% maior que o obtido para o corpo-de-prova prismático.

Deve-se considerar que esta diferença pode ter ocorrido tanto pela forma do corpo-de-prova quanto da armadura existente no corpo-de-prova prismático, que ajuda a absorver os esforços.

Quanto à comparação entre o módulo de deformação da argamassa armada em relação ao bloco, na área líquida, nota-se que o módulo desta é 2,6 vezes maior que o módulo do bloco na área líquida.

3.5 PRISMAS

3.5.1 Moldagem

Os prismas foram moldados sobre mesa metálica, mesmo processo utilizado na moldagem dos painéis. Para cada geometria de blocos, foram moldados 05 prismas de 3 fiadas para junta a prumo e 05 para junta amarrada.

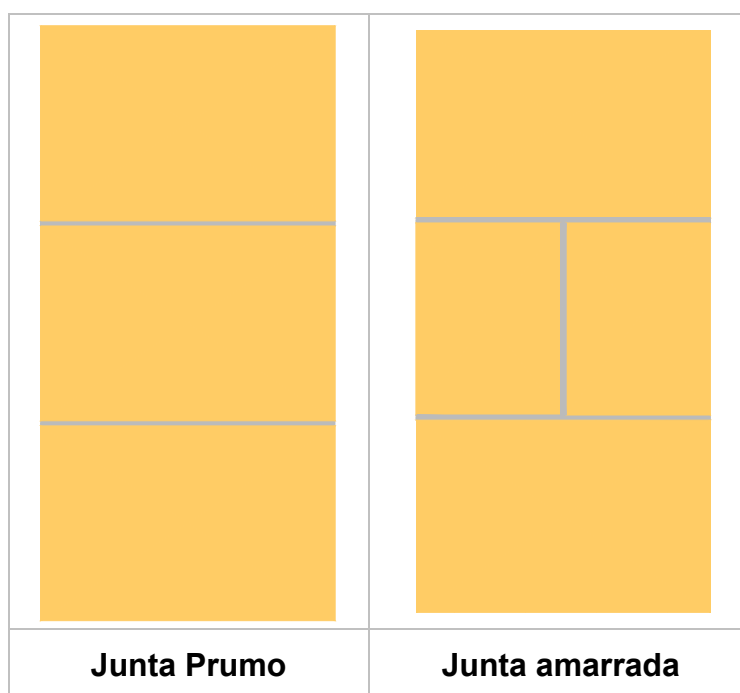


Figura 51 – Tipos de prismas ensaiados

A opção por prismas com 3 blocos, é devido ao fato de que assim o efeito gerado pelo confinamento do prato da prensa nos blocos da extremidade é amenizado. Nestes prismas, o bloco central, geralmente livre do efeito de confinamento dos pratos da prensa, representa melhor o tipo de ruptura da alvenaria.

Após a confecção dos prismas, todos foram identificados com etiquetas, onde constava o tipo de bloco, o número do corpo-de-prova, a data de moldagem e de rompimento. Todos foram curados em ambiente por 28 dias, idade com que foram ensaiados.

3.5.2 Resistência à compressão

Por ainda não existir norma específica para ensaio de resistência à compressão de prisma com bloco cerâmico, foram utilizados alguns procedimentos de ensaios normalmente utilizados nas pesquisas em andamento na UFSC. Os prismas foram compostos de 3 blocos justapostos e duas fiadas de argamassa, sendo este procedimento, o recomendado pela norma ASTM E 447-84 (1987).

Para cada prisma foi obtida a resistência à compressão em relação à área bruta e área líquida.

O ensaio de compressão dos prismas foi realizado após o capeamento dos mesmos, sendo este realizado nas 48 horas antes da data prevista para o ensaio. A velocidade de carregamento empregada para o ensaio de compressão foi de $0,05 \pm 0,01$ MPa/seg, conforme prescreve a norma NBR 7184 (1991). Para realizar os ensaios de compressão de blocos e prismas, utilizou-se uma chapa de aço rígida para ser acoplada aos pratos da prensa. As faces de contato das chapas são retificadas para obter planicidade (Figura 52).

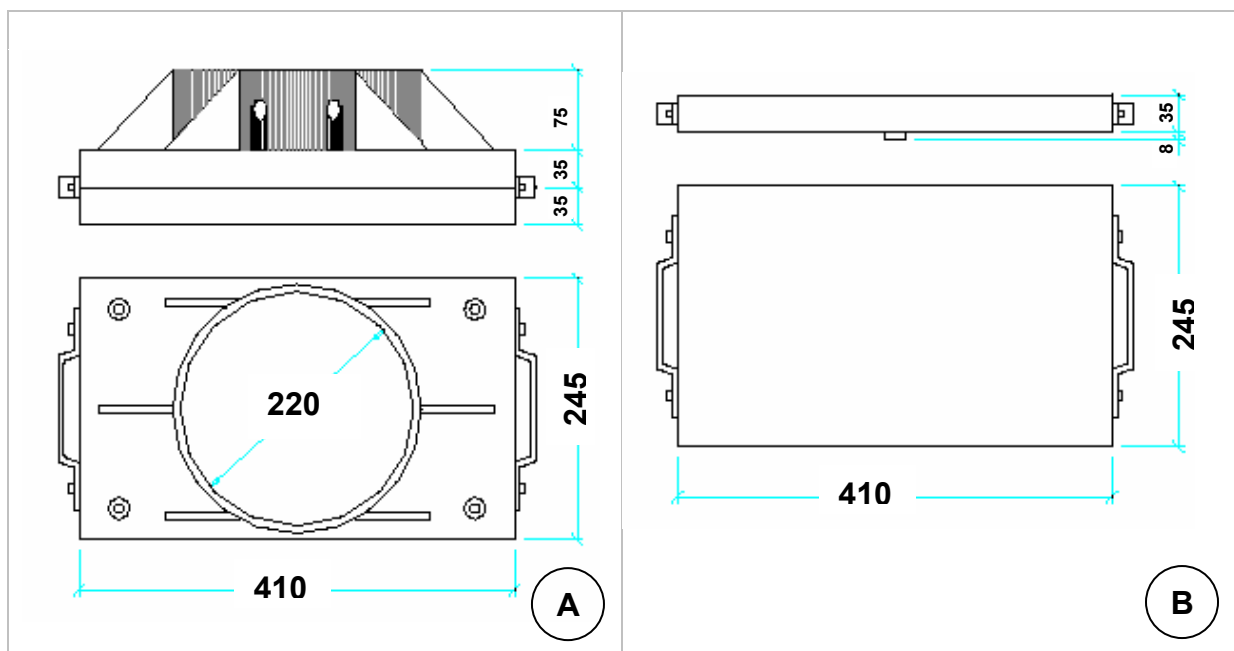


Figura 52 – Chapa para ensaio de resistência à compressão de blocos e prismas, (a) chapa superior e (b) chapa inferior (ROMAGNA, 2000).

Para cada conjunto de prismas de mesma geometria, foi feito o ensaio de deformação.

3.5.2.1 Resultado da resistência à compressão dos prismas

As Tabelas 26 e 27 mostram os resultados obtidos nos ensaios de compressão de prismas com junta prumo e junta amarrada. Estes resultados são mostrados detalhadamente no Apêndice 1.

Tabela 26 – Ensaio de compressão de prismas de junta prumo

	B01		B02	
	Área Bruta	Área Líquida	Área Bruta	Área Líquida
Tensão Média (MPa)	3,37	9,35	3,53	8,65
D. Padrão (MPa)	0,60	1,66	0,52	1,22
C.V.(%)	17,86	17,71	14,71	14,13

Tabela 27 – Ensaio de compressão de prismas de junta amarrada

	B01		B02	
	Área Bruta	Área Líquida	Área Bruta	Área Líquida
Tensão Média (MPa)	2,95	8,13	4,07	9,98
D. Padrão (MPa)	0,38	1,04	0,88	2,17
C.V.(%)	12,90	12,76	21,66	21,77

Analisando os resultados obtidos para os dois tipos de prismas, conclui-se que tanto para prismas de junta prumo quanto para os prismas de meio bloco, não ocorreu variação significativa em termos de resistência à ruptura à compressão.

Entretanto, pode-se retirar destes resultados algumas indicações importantes:

- Os prismas construídos com junta amarrada apresentaram resistência à compressão cerca de 12% menor do que os prismas com junta a prumo. Isto pode ser pelo fato de que os meio blocos usados na moldagem do prisma apresentaram resistência inferior aos blocos inteiros, influenciando na resistência do prisma à compressão.

- Os prismas construídos com junta amarrada B02 apresentaram em seus resultados um aumento em torno de 15% em relação aos prismas de mesmo bloco e junta prumo. Este aumento mostra que o tipo de assentamento exerce influência na resistência do prisma.

3.5.2.2 Modo de ruptura

As Figuras 53 e 54 mostram as formas de ruptura dos prismas.

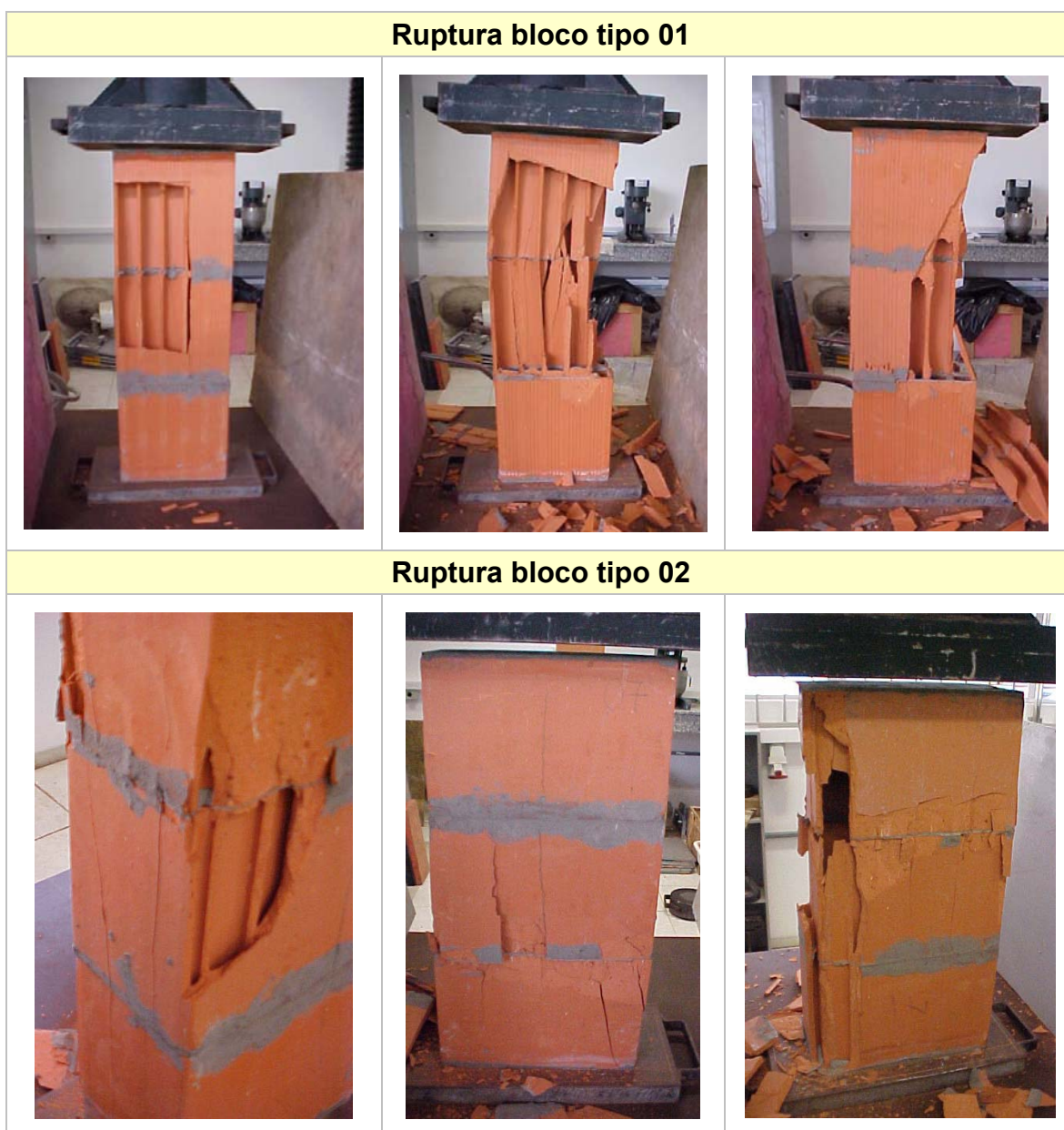


Figura 53 – Modo de ruptura do prisma de junta prumo de bloco tipo B01 e B02



Figura 54 – Modo de ruptura do prisma de junta amarrada de bloco tipo B01 e B02

Nos prismas dos dois tipos de assentamento verificou-se que a partir de 80% da carga de ruptura os blocos começavam a apresentar fissuras, sem perda de carga. O esfacelamento iniciava próximo as juntas e se estendendo para os blocos. A ruptura se dava de forma brusca, como mostram as Figuras 53 e 54.

3.5.3 Módulo de elasticidade

Um dia antes de o prisma ser ensaiado eram coladas 12 pastilhas metálicas (demec-points) nas faces laterais, distribuídas de maneira que ficassem 6 na parte frontal e 6 na parte de trás (Figura 55).

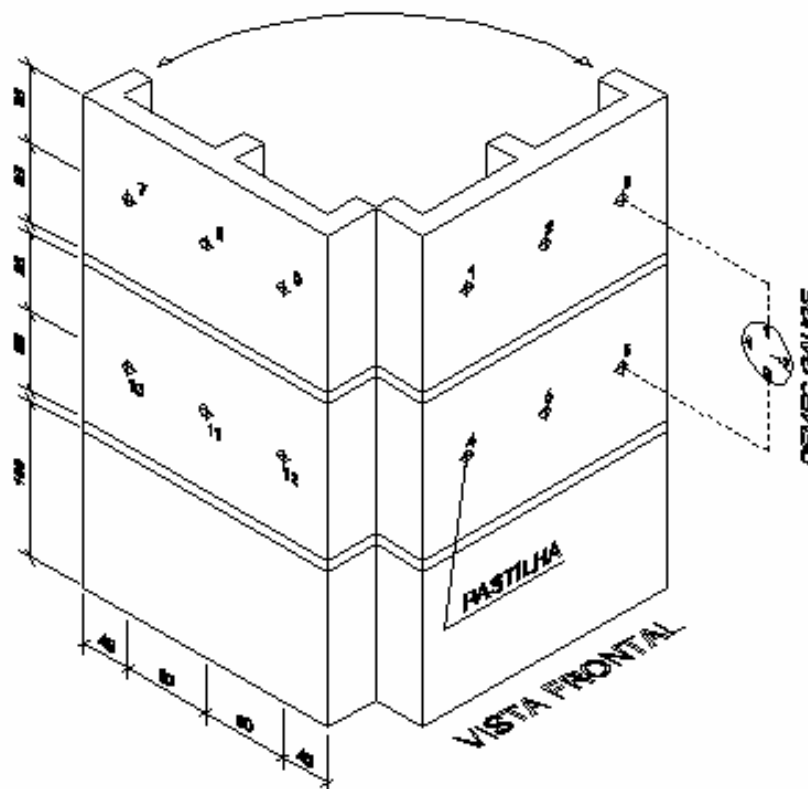


Figura 55 – Esquema de obtenção das deformações (medidas em mm)

A leitura das deformações foi feita até aproximadamente 50% da carga de ruptura. A compressão foi aplicada em pequenos incrementos e mantida constante enquanto se fazia a leitura de deformação. Foram medidas 6 deformações, sendo 3 em cada face do prisma e todas as leituras foram executadas por um mesmo operador. A partir de 50% da carga de ruptura as leituras eram interrompidas, como prevenção a qualquer acidente ocasionado pela ruptura brusca do prisma. A forma como era feita a leitura com o extensômetro mecânico pode ser observada na Figura 56.



Figura 56 – Forma de leitura das deformações com extensômetro mecânico

A velocidade de carregamento aplicada neste ensaio foi de 0,35 kN/seg, e o tempo de execução para cada prisma foi em torno de 3 minutos.

Através destas leituras foram obtidos os gráficos tensão x deformação e os módulos de elasticidade dos prismas, e são apresentados no item a seguir.

3.5.3.1 Resultados do módulo de elasticidade

Os resultados das deformações para os dois tipos de assentamento são apresentados nas Tabelas 28 e 29. As figuras referentes aos gráficos destes ensaios encontram-se no Apêndice 1.

	Prisma de bloco B01		Prisma de bloco B02	
	Módulo de elasticidade dos prismas (MPa)		Módulo de elasticidade dos prismas (MPa)	
	Área Bruta	Área líquida	Área Bruta	Área líquida
1	918	2553	1104	2745
2	847	2342	806	2448
3	991	2907	803	2268
Média (MPa)	919	2601	904	2487
D.P.(MPa)	72,00	285,50	172,92	240,88
C.V. (%)	7,84	10,98	19,12	9,69

Tabela 28 – Módulo de deformação de prismas de junta prumo

	Prisma de bloco B01		Prisma de bloco B02	
	Módulo de elasticidade dos prismas (MPa)		Módulo de elasticidade dos prismas (MPa)	
	Área Bruta	Área líquida	Área Bruta	Área líquida
1	1168	3217	2035	4921
2	1865	5047	2272	5493
3	1104	3064	2008	4960
4	1200	3273	2174	5447
5	1066	2910	2078	5098
Média (MPa)	1281	3502	2113	5184
D.P.(MPa)	330,88	875,07	108,78	269,90
C.V. (%)	25,84	24,99	5,15	5,21

Tabela 29 – Módulo de deformação de prismas de junta amarrada

Comparando os valores médios dos módulos de elasticidade de prismas de B01 com junta prumo (919 MPa) e junta amarrada (1281 MPa) na área bruta, observa-se um aumento de aproximadamente 39%. Os prismas de bloco B02 com junta prumo (904 MPa) e junta amarrada (2113 MPa) apresentaram um aumento de 133%, extremamente alto em comparação com o B01, mostrando a influência da falta da argamassa de assentamento e também do tipo de assentamento no módulo de elasticidade.

4

PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 INTRODUÇÃO

Ao se adotarem inovações tecnológicas em edificações, é imprescindível que o conjunto concebido tenha um desempenho satisfatório quando em uso, de modo a não haver comprometimento da segurança e durabilidade da construção e de suas partes. E para tal é necessário que sejam realizados ensaios, seguindo metodologias para análise do desempenho das edificações, seus elementos e componentes. Assim o objetivo principal deste trabalho foi o de avaliar o desempenho estrutural dos painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos desenvolvidos pelo GDA.

Para o melhor entendimento do comportamento destes painéis, foram realizados ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão dos mesmos.

Nos ensaios de resistência à compressão e tração foram utilizados 2 tipos de geometrias de unidades de alvenaria cerâmica, caracterizadas no capítulo anterior.

Este capítulo apresenta: o ensaio piloto realizado, a moldagem dos painéis, os equipamentos utilizados e a instrumentação, bem como os procedimentos para cada tipo de ensaio.

O programa experimental abrange o ensaio de um total de 27 estruturas, sendo:

(a) ensaio piloto (preliminar) de 01 painel: ensaio de resistência à compressão, de modo a verificar o funcionamento do aparato de ensaio e da instrumentação e dos demais procedimentos de ensaio previstos;

(b) ensaio de 10 painéis que foram submetidos a ensaios de resistência à compressão até a ruptura, sendo 05 para cada geometria de blocos;

(c) ensaio de 20 prismas de 4 blocos à resistência à tração na flexão paralela às juntas de assentamento, sendo 10 unidades de prismas para cada tipo de bloco.

Durante os ensaios foram obtidos os deslocamentos, deformações, tensões e os modos de ruptura.

Esta parte experimental do trabalho foi realizada no Laboratório de Ensaio em Estruturas (LEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

4.2 ENSAIO PILOTO

Antes de ser iniciada a moldagem dos painéis, um ensaio piloto de compressão foi realizado. A geometria do painel utilizado para este ensaio foi a mesma empregada na construção do protótipo Anexo LMCC, o qual foi executado em painéis pré-fabricados.

Algumas providências em relação à execução do ensaio foram tomadas anteriormente à execução do ensaio piloto. A primeira providência foi a confecção de uma nova viga metálica com mais rigidez que a existente no laboratório (Figura 57).

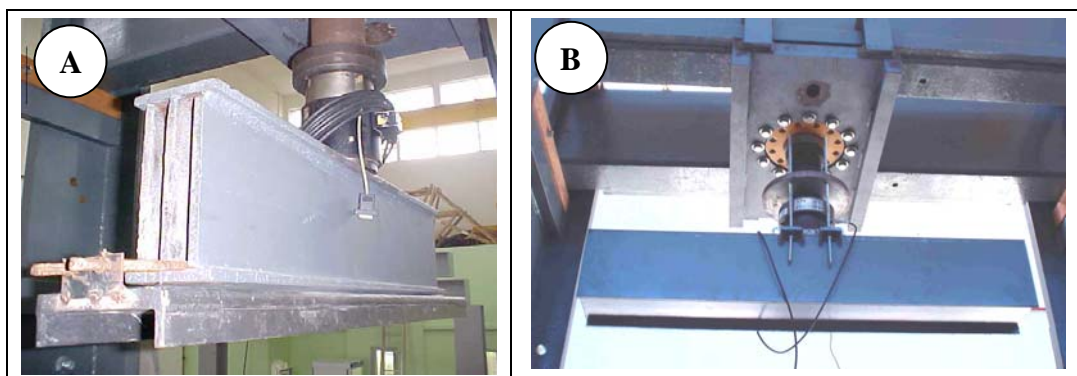


Figura 57 – (A) Viga antiga e (B) Viga confeccionada para a execução dos experimentos

A forma de amarração dos blocos utilizada no painel foi com contrafiado na vertical como mostra a Figura 58. Esta amarração foi utilizada a fim de facilitar o uso de blocos de vedação na construção dos painéis, pois sendo eles de 10 furos, seu corte na longitudinal prejudicaria seu uso.

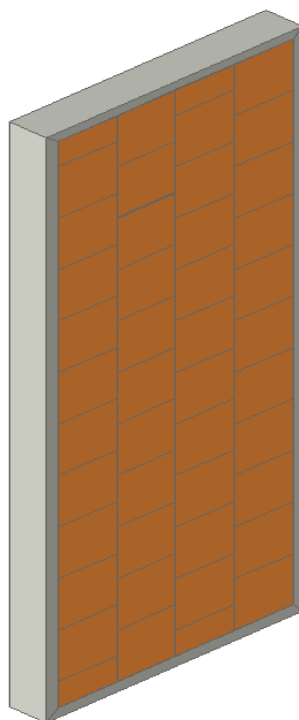


Figura 58 – Painel com contrafiado na vertical (“*stack bond*”)

A opção por realizar este ensaio-piloto foi visando investigar a carga de ruptura do painel quando submetido à compressão, pois nos ensaios com prismas e unidades já executados até o momento não havia a argamassa armada no contorno dos corpos-de-prova e a resistência do conjunto alvenaria/argamassa armada de contorno era desconhecida. Este ensaio se fazia necessário, também, devido ao fato de que a capacidade de carga do pistão hidráulico e da célula de carga era de 500kN, e caso esta capacidade fosse atingida sem alcançar a ruptura do painel, todo o aparato deveria ser modificado.

A dimensão do painel-piloto ensaiado foi de 1,09m de largura por 2,84m de altura e atingiu a ruptura com a força máxima de 275,69 kN, para a qual se observou um descolamento relativo acentuado na interface entre a argamassa armada e a alvenaria (Figura 59).



Figura 59 – Descolamento apresentado na interface bloco e argamassa armada

Para aquisição de dados deste ensaio foram posicionados três transdutores indutivos de deslocamento, sendo que dois destes eram para a aquisição das deformações específicas das laterais do painel e o terceiro para medir o deslocamento ortogonal ao plano do painel (Figura 60).

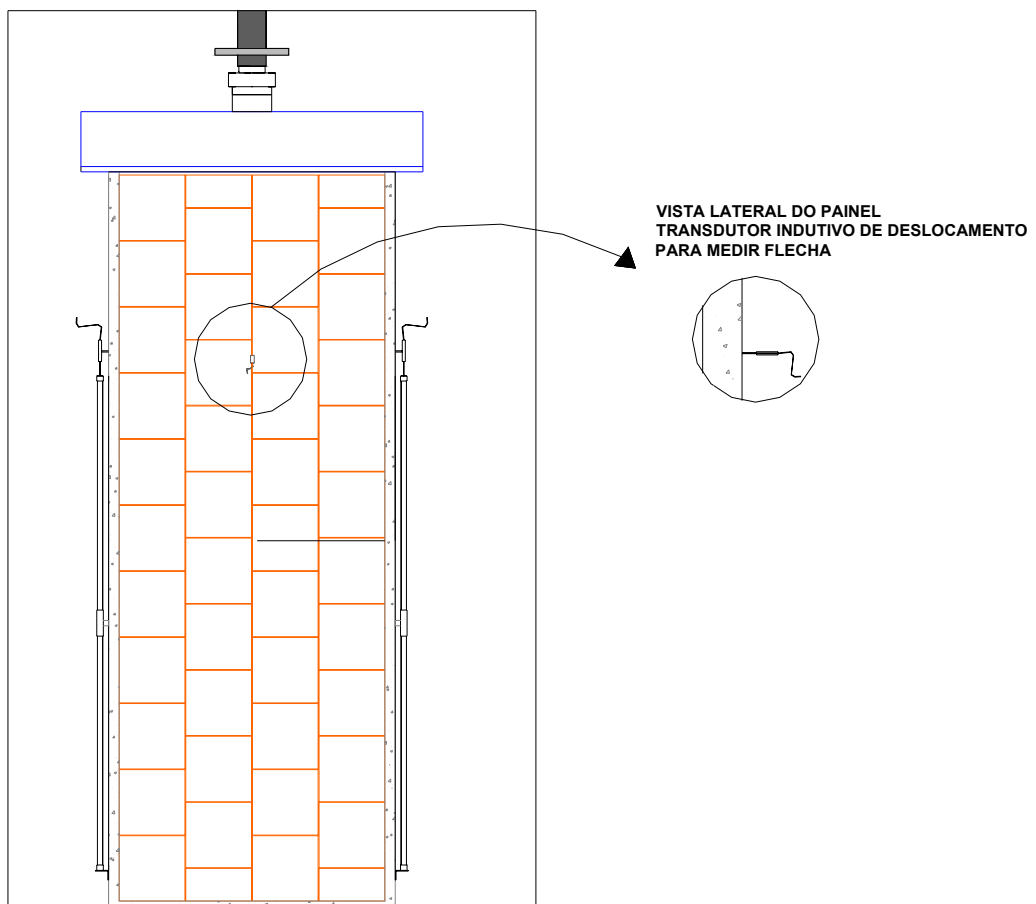


Figura 60 – Posicionamento dos transdutores indutivos de deslocamento no painel-piloto

Após o transporte do painel-piloto para o local de ensaio, algumas particularidades foram percebidas como microfissuras verticais (Figura 61). É possível que este fato tenha ocorrido devido à argamassa possuir uma espessura muito pequena (3mm) e não conseguir acomodar as deformações devido aos esforços de tração originados durante o transporte do painel.

Esta fragilidade demonstrada pela forma de assentamento do painel tornou desaconselhável o uso de tal paginação.

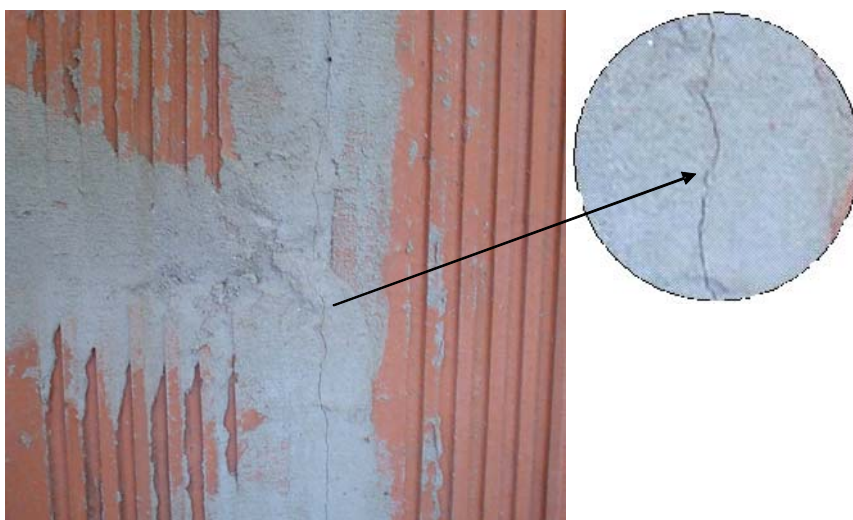


Figura 61 – Microfissura vertical ocasionada por movimentações.

Um novo estudo foi então realizado para saber qual a melhor geometria a ser utilizada. Para uma melhor comparação entre paredes de vedação e os painéis, optou-se pela maneira tradicional de amarração. Sendo assim, a série final de ensaio foi programada, e a nova geometria do painel é apresentada no item a seguir.

4.3 GEOMETRIA DOS PAINÉIS

Dois tipos de blocos foram utilizados nos ensaios, sendo um de vedação (ensaiado com o septo na vertical) e outro estrutural.

A altura e largura dos painéis seguiram as dimensões especificadas na BS 5628, a qual especifica que os limites podem ficar em, 1,2 a 1,8m de largura e 2,4 a 2,7 m de altura. A amarração da alvenaria foi feita com o contrafiado convencional ou seja, juntas horizontais paralelas e juntas verticais contrafiadas.

Os painéis a serem ensaiados à compressão ficaram com a geometria mostrada na Figura 62 e com as dimensões apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 – Dimensões efetivas dos painéis

PAINEL	DENOMINAÇÃO	ALTURA (cm)	LARGURA (cm)	ESPESSURA (cm)
01	PB01	237	123	15
02	PB02	240	127	14

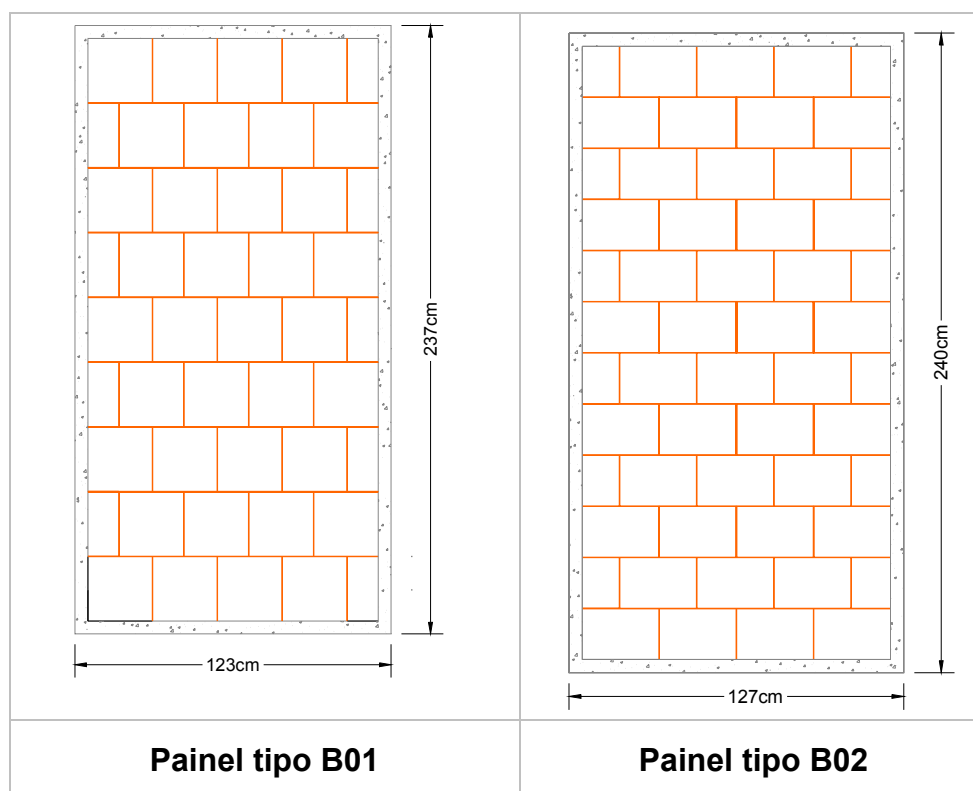


Figura 62 – Vista frontal da geometria final dos painéis

4.4 MOLDAGEM DOS PAINÉIS

A produção dos painéis foi realizada mediante a utilização de mesa ergonomicamente projetada para facilitar o trabalho dos operários, conferindo assim maior produtividade ao processo. Dentro do caráter experimental do trabalho, testaram-se dois tipos de mesas: mesa metálica basculante e a mesa fixa de madeira. A mesa metálica foi a que melhor se adequou na desfôrma e içamento por ter 45° de inclinação, o que facilita a remoção do painel (Figura 63).

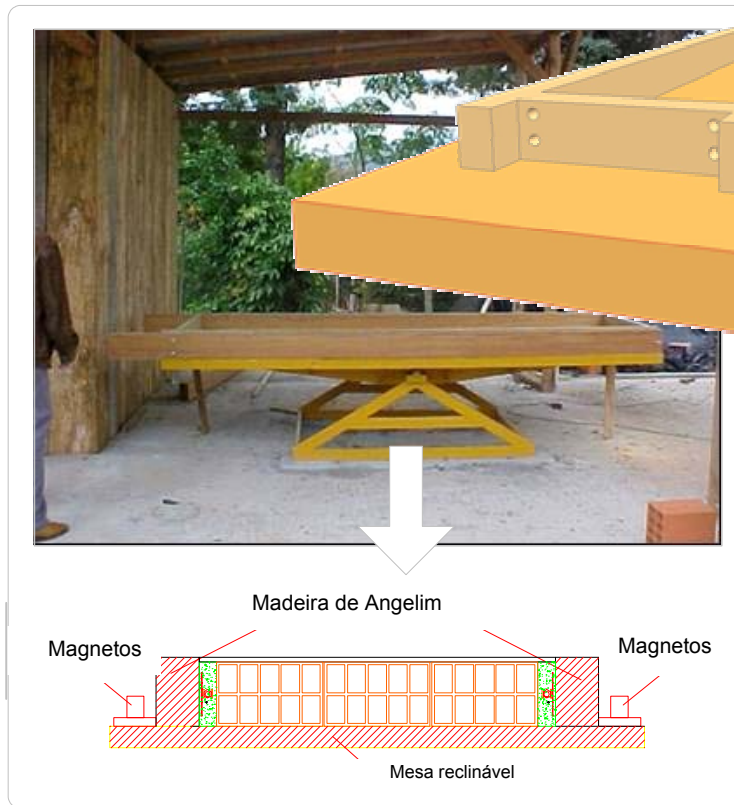


Figura 63 – Mesa metálica reclinável e forma em madeira

Para a moldagem dos painéis foram utilizadas fôrmas de madeira, que são posicionadas sobre a mesa com auxílio de equipamentos de fixação, utilizados para evitar eventuais deslizamentos da fôrma. As laterais são presas com auxílio de imãs (magnetos) e grampos fixados entre a forma e a mesa, que impedem que a argamassa escorra por baixo da fôrma (Figura 64)



Figura 64 – Tipo de fixadores usados nos painéis

O próximo procedimento é a aplicação de óleo desmoldante nas superfícies da mesa e da fôrma (Figura 65).



Figura 65 – Aplicação do desmoldante

Ao mesmo tempo em que ocorrem estes procedimentos, é montada, com auxílio de um gabarito de madeira, a armadura do contorno, composta por tela soldada, barra de aço de 4,2 mm e insertes metálicos para içamento (Figura 66).

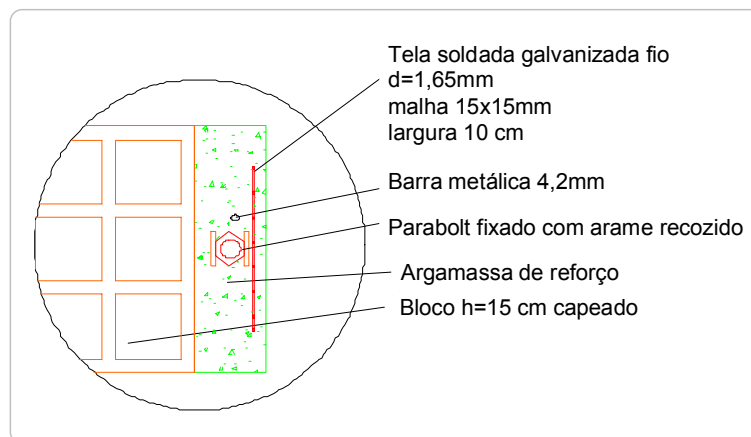


Figura 66 – Detalhe em corte do painel

Inicia-se então o processo de colocação dos blocos, que estão dispostos em junta amarrada, unidos com argamassa polimérica, a qual permite a ligação entre os blocos de forma mais rápida e eficiente. Os blocos das extremidades inferiores e superiores são capeados para evitar a penetração de argamassa em seus septos, o que auxilia o controle de desperdício de material. Durante a colocação dos blocos, resguarda-se com o auxílio de espaçadores, o espaço do reforço perimetral que é de 5 cm. (Figura 67).



Figura 67 –Espaçadores para reforço perimetral e seqüência do assentamento dos blocos

Como próximo passo é feita a colocação da armadura perimetral, que traz com ela os inserts metálicos acoplados (Figura 68), os quais servem para fixação dos ganchos de içamento, e posteriormente para amarração da tela perfurada, que servirá de elemento de ligação entre painéis.



Figura 68 – Detalhe do inserte metálico junto à tela soldada galvanizada

Após a colocação desta armadura, inicia-se o preenchimento do espaço perimetral com a argamassa de reforço (Figura 69), composta de areia média, cimento de Alta Resistência Inicial (ARI) e aditivo plastificante. O emprego deste tipo de cimento favorece a desmoldagem, que pode ser efetuada após 18 horas.



Figura 69 – Enchimento do contorno

Após passadas as 18 horas, eram iniciados os procedimentos de desmoldagem e içamento do painel (Figura 70). Primeiramente os ganchos eram colocados nos insertes metálicos. Nestes passavam as cordas com as quais o painel era erguido com o auxílio de uma talha manual ou ponte rolante.



Figura 70 – Desmoldagem e procedimento para içamento

4.5 DETALHAMENTO DOS DISPOSITIVOS DO ENSAIO

Após a conclusão do ensaio de compressão com o painel-piloto foi possível definir alguns parâmetros quanto à disposição dos transdutores, assim como a necessidade de se colocarem transdutores em outros pontos do painel.

Para os ensaios de compressão, foi incorporado ao pórtico utilizado, um pistão hidráulico com capacidade de carga nominal de 500 kN e com curso máximo de 45 cm, equipado também com uma célula de carga de 300KN, articulação e viga metálica.

A célula de carga foi aferida, de forma a verificar a sua leitura em mV/V / kgf, dado necessário na leitura do programa a ser utilizado para a obtenção dos dados do ensaio. O resultado encontrado na aferição foi de resolução de 2mV/V.

Para uma melhor resolução de leitura obtida pela célula de carga, foi confeccionado um parafuso de ligação, de forma que a aplicação da carga pudesse ser realizada apenas no ponto central da célula de carga, para o pronto direcionamento da força aplicada. A Figura 71 mostra o corte transversal do dispositivo de ensaio, onde se percebe os componentes do conjunto.

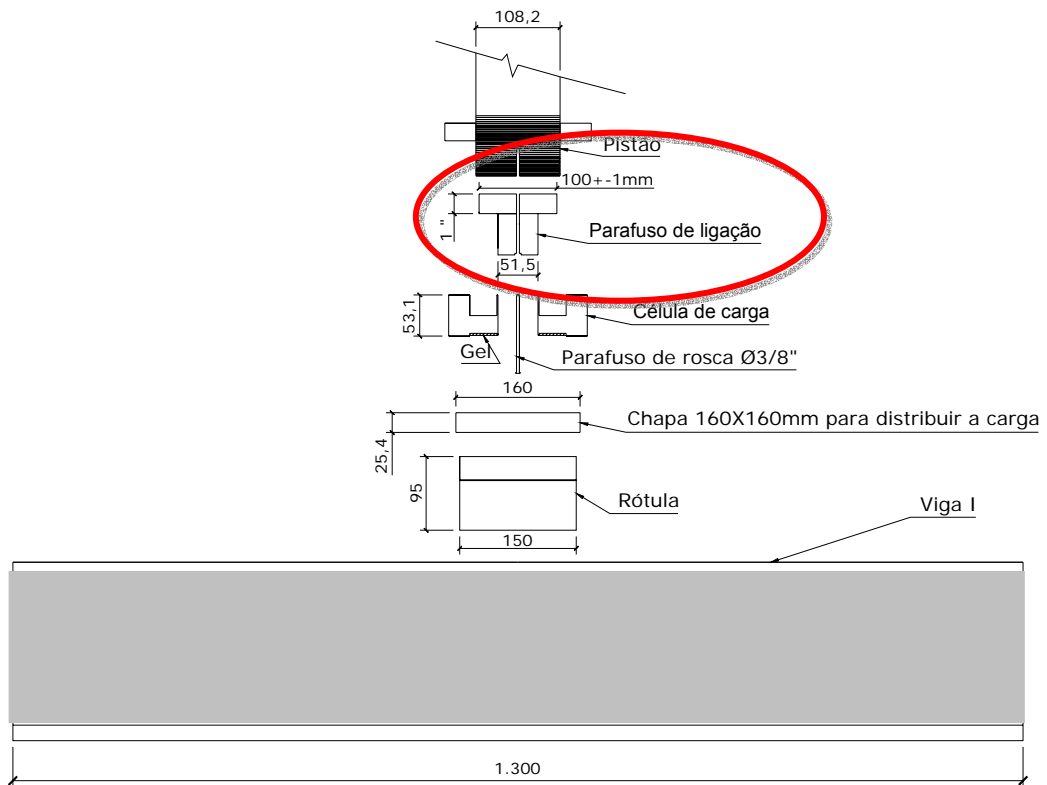


Figura 71 – Modelo do dispositivo de ensaio de compressão (visto em corte).

Entre a célula de carga e a rótula, foi utilizada uma chapa metálica com a largura um pouco maior que o diâmetro da célula de carga, para assim ser feita uma melhor distribuição da carga, sem afetar o desempenho da célula. Foi utilizada uma rótula entre a viga metálica e a célula de carga para permitir a distribuição homogênea da carga vertical na superfície de aplicação da carga.

Para a aquisição de dados foi usado um sistema composto por um dataloger Spider 8, da marca HBM, o qual é totalmente programável por um software fornecido pelo fabricante (CATMAN).

Por se tratar de um equipamento universal, apto para múltiplas aplicações, deve ser realizada uma programação específica de acordo com o tipo de ensaio a efetuar. Neste programa são utilizadas as constantes da célula de carga, para que o mesmo faça as devidas adequações ao seu funcionamento, uma vez que os valores são lidos em mV/V. A programação permite transferir os dados armazenados diretamente para a memória virtual de um computador, para posterior tratamento e análise.

Para as medições de deformações nos ensaios de compressão, foram utilizados 7 transdutores indutivos de deslocamento (HBM) de curso de 20 e 10 mm (Figura 72), conectados ao sistema de aquisição de dados (Dataloger Spider 8).

Tipo do Instrumento	Curso
	20 mm
	10 mm

Figura 72 -Tipo de transdutores de deslocamento utilizados nos ensaios.

4.6 ENSAIOS REALIZADOS

São relatados a seguir os métodos de ensaio utilizados para determinar o comportamento dos painéis em estudo.

4.6.1 Ensaio de Resistência à Compressão

Os ensaios foram realizados em conformidade com as seguintes normas da ABNT:

NBR 7171 – Bloco cerâmico para alvenaria – Especificação

NBR 6461 – Bloco cerâmico para alvenaria. Verificação da resistência à compressão

NBR 8949 – Ensaio à compressão simples de parede de alvenaria estrutural – Método de ensaio.

O ensaio de compressão dos painéis possuiu os seguintes equipamentos:

- Uma estrutura de reação constituída por um pórtico metálico;
- Um cilindro hidráulico de capacidade nominal de 500 kN, para medição das forças aplicadas;
- Célula de carga de capacidade nominal de 300 kN, para medição das forças aplicadas;
- Sete transdutores indutivos de deslocamento, com sensibilidade de 0,01 mm e curso de 10 e 20mm, para medição da flecha do painel, deformações específicas longitudinais e monitoramento de abertura de fissuras, entre a interface argamassa armada e bloco;
- Sistema de aquisição de dados computadorizado, para indicação e registro das medições efetuadas pelas células de carga e transdutores indutivos de deslocamento.

Durante a execução dos painéis foram retiradas amostras da argamassa armada de cada painel moldado e foram confeccionados cinco corpos-de-prova para verificação da sua resistência à compressão. Os corpos-de-prova de argamassa armada foram ensaiados na mesma data de rompimento de cada painel.

O procedimento de ensaio seguiu as recomendações da NBR 8949 (1985) – Paredes de alvenaria estrutural – Ensaio à compressão Simples.

Para a aplicação da carga adotaram-se 2 pré-carregamentos para acomodação da alvenaria e da instrumentação; o 1º incremento de carga foi até 10% da carga de

ruptura e o 2º incremento de carga foi até 20% da carga de ruptura. O tempo de aplicação de cada incremento foi de aproximadamente 5 minutos. Após cada incremento e pausa a estrutura era descarregada até zero. Os aparelhos de medição foram retirados a aproximadamente 60% da carga de ruptura ou a qualquer indício de proximidade ao colapso. Somente na terceira etapa os painéis foram submetidos a incrementos de carga até atingir a ruptura.

A velocidade de carregamento foi de aproximadamente 25 ± 5 kN/min.

As deformações específicas longitudinais foram determinadas por meio de 4 transdutores indutivos de deslocamento, instalados nas laterais e na frente e no verso da parte central do painel. Também foram adicionados mais 3 transdutores, sendo que destes, dois foram instalados nas laterais para medir o deslocamento existente entre a interface do bloco e da argamassa e o terceiro foi instalado no centro do painel para medir a flecha.

O esquema de localização da instrumentação dos painéis está mostrado na Figura 73.

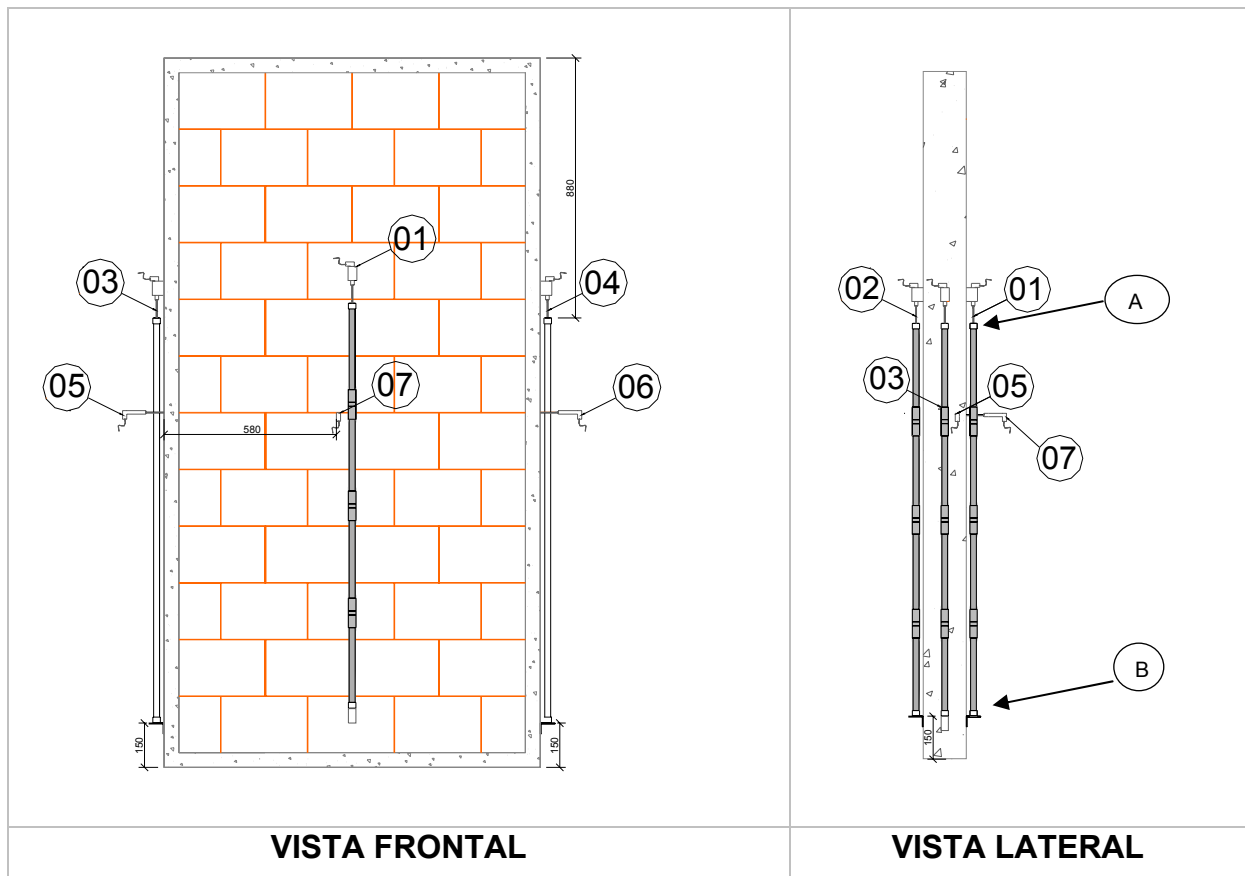


Figura 73 – Esquema de instrumentação dos painéis

A numeração apresentada no esquema de transdutores segue as seguintes descrições:

- **Transdutores 01,02,03 e 04:** leitura das deformações longitudinais;
- **Transdutores 05 e 06:** leitura dos deslocamentos horizontais do painel;
- **Transdutores 07:** leitura da flecha do painel.

A Figura 74 mostra uma visão geral da instrumentação.



Figura 74 – Visão geral da instrumentação

A partir da leitura dos transdutores, foram traçados os gráficos de tensão x deformação e tensão x deslocamento.

Para a determinação do módulo de elasticidade do painel foram calculadas as deformações a partir da média dos deslocamentos medidos pelos transdutores de deslocamento 1 – 2 (alvenaria) e 3 – 4 (argamassa armada). Estas disposições foram escolhidas por se situarem na região central da frente e lateral do painel e por sofrerem pouca influência da restrição da viga metálica de aplicação de carga, e para minimizar o efeito de excentricidade no eixo longitudinal da parede.

Para obtenção dos módulos de elasticidade, admitiu-se como linear o trecho do gráfico tensão x deformação referente a 60% da carga de ruptura e traçou-se uma linha

de tendência linear, obtendo, assim, sua inclinação, ou em outras palavras, o módulo de elasticidade desejado. A deformação específica foi calculada dividindo-se o valor médio dos deslocamentos medidos pelos transdutores 1 – 2 e 3 – 4 pelo comprimento da haste (distância entre os pontos A e B, ver Figura 73).

4.6.2 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão

Para determinação da resistência à tração na flexão nas juntas de argamassa os ensaios foram realizados de acordo com o método de ensaio da ASTM E 518 – 80 (Método A).

O método consiste no ensaio à flexão a quatro pontos, de um prisma construído de, no mínimo, 4 blocos. A referida norma indica a configuração de prismas submetidos a cargas aplicadas nos terços dos vãos, como se fossem vigas simplesmente apoiadas.

Os blocos utilizados na realização deste ensaio foram todos secos a uma temperatura de 105 – 110°C, e este procedimento foi realizado com o objetivo de que todos os blocos utilizados na moldagem dos prismas possuíssem taxas de absorção semelhantes, para que esta não fosse uma variável que viesse a influenciar os resultados.

Foram moldados para este ensaio 16 prismas, sendo 8 para cada tipo de bloco, os quais seriam ensaiados aos 28 dias de idade.

A norma ASTM E 518 – 80 (Método A), prescreve para prismas construídos com blocos vazados, o cálculo da resistência de aderência, equação baseada na teoria elementar da flexão:

$$R = \frac{(0,167.P + 0,125.P_s).L}{S} \text{ (Equação 12)}$$

Onde:

R = Resistência de aderência na área líquida;

P = Maior valor da carga aplicada;

P_s = Peso próprio do prisma;

L = Vão entre os apoios;

S = Módulo de resistência à flexão na área líquida.

Sendo que, se a ruptura ocorrer em uma junta fora do terço médio, o resultado deverá ser descartado.

A Figura abaixo mostra o esquema estático do ensaio, tendo como exemplo o bloco B01.

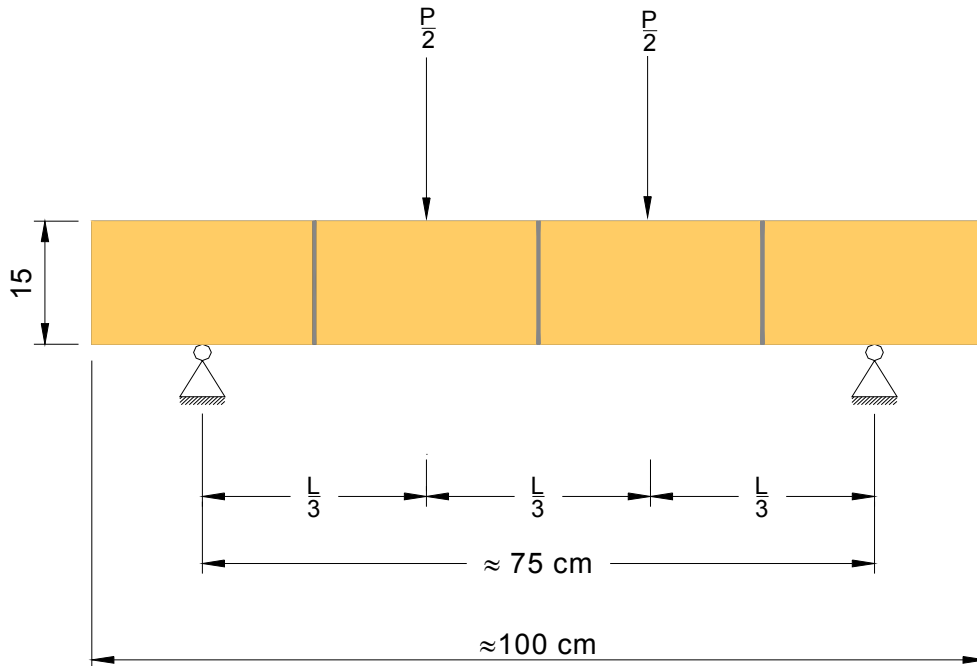


Figura 75 – Esquema estático da aplicação de carga no ensaio de flexão.

Os corpos-de-prova foram ensaiados em um pórtico montado junto ao Laboratório de Ensaio em Estruturas (LEE).

A configuração do ensaio consistiu em colocar o prisma em cima de dois apoios, dos quais um era fixo e o outro articulado. Para aplicação da carga utilizou-se um atuador hidráulico e esta força foi medida através de uma célula de carga de 10 kN. Como neste caso a velocidade de carga não poderia ser controlada foi posicionado um transdutor indutivo de deslocamento na parte central da base superior do prisma a ser ensaiado, tentando desta forma controlar o deslocamento da carga aplicada. Este deslocamento foi de aproximadamente 0,05 mm/s.

A aquisição de dados da célula de carga e do transdutor indutivo de deslocamento foi realizada em intervalos de 1 segundo, por meio de um sistema de aquisição de dados. A disposição do corpo-de-prova no local de ensaio é mostrada na Figura 76.

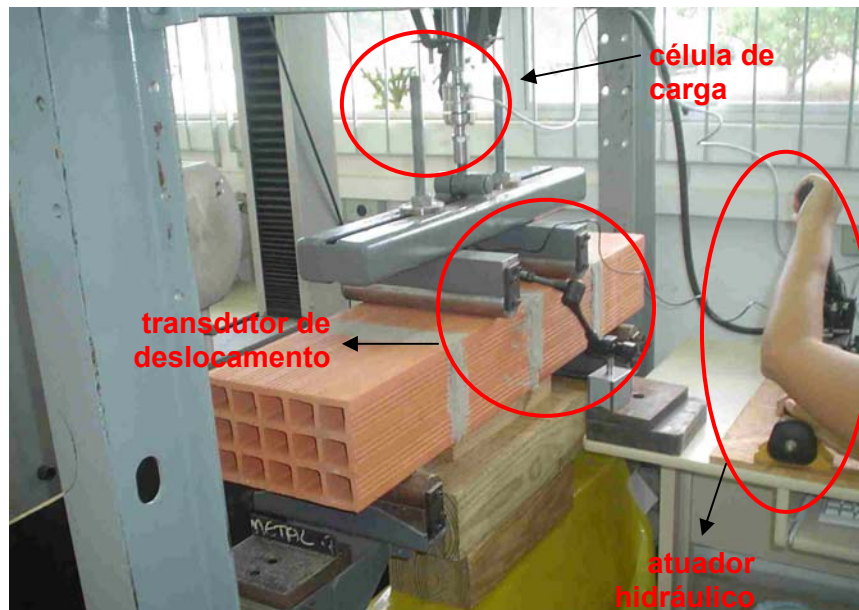


Figura 76 – Disposição do corpo-de-prova no local de ensaio

Este ensaio teve como objetivo principal verificar a resistência de aderência à tração na flexão bloco / argamassa polimérica, utilizando a técnica de assentamento dos blocos com argamassa polimérica aplicada com pincéis.

5

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através do programa experimental, ou seja, nos ensaios de resistência à compressão e tração na flexão dos painéis. Esses dados possibilitaram realizar algumas comparações entre as amostras em estudo, assim como analisar a influência de cada tipo de bloco na resistência à compressão e na resistência de aderência.

Na apresentação dos resultados de resistência à compressão a seguinte notação é adotada:

PB01: Painel de bloco tipo B01;

PB02: Painel de bloco tipo B02;

5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PAINÉIS

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos painéis são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Resumo dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos painéis.

	Painel	Carga (kN)	Tensão de ruptura (MPa)
PAINEL B01	Painel 01	250,60	1,36
	Painel 02	192,99	1,05
	Painel 03	197,59	1,09
	Painel 04	228,47	1,26
	Painel 05	247,66	1,36
	MÉDIA	223,46	1,22
	DESVIO PADRÃO	27,13	0,15
C.V (%)	12,14	12,18	
	Painel	Carga (kN)	Tensão de ruptura (MPa)
PAINEL B02	Painel 01	240,32	1,35
	Painel 02	179,16	1,01
	Painel 03	291,92	1,64
	Painel 04	245,07	1,38
	Painel 05	203,22	1,14
	Painel 06	191,21	1,08
	MÉDIA	225,15	1,27
DESVIO PADRÃO	42,03	0,24	
C.V (%)	18,67	18,67	

Durante a moldagem de cada painel foram confeccionados 5 corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm da argamassa usada para preencher a borda dos painéis. Após desmoldados os corpos-de-prova permaneceram em ambiente laboratorial até a data de rompimento dos painéis. Antes do rompimento os corpos-de-prova foram capeados com enxofre e a seguir submetidos à ruptura de acordo com as recomendações da NBR 7215. As Tabelas 32 e 33 mostram os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova de argamassa.

Tabela 32 – Resumo das resistências à compressão da argamassa dos painéis PB01.

PAINEL	MÉDIA DA TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	C.V.(%)
P01	24,53	1,18	4,82
P02	23,17	1,42	6,12
P03	18,89	1,75	9,24
P04	23,49	3,86	16,42
P05	29,74	3,18	10,70

Tabela 33 – Resumo das resistências à compressão da argamassa dos painéis PB02.

PAINEL	MÉDIA DA TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	C.V.(%)
P01	25,01	2,24	8,96
P02	23,15	4,06	17,51
P03	22,76	3,22	14,15
P04	22,21	4,13	18,61
P05	24,20	4,33	17,89
P06	24,29	3,31	13,61

Com base nos resultados obtidos concluiu-se que os painéis PB02 apresentaram resistência à compressão cerca de 4% maior do que os painéis PB01, o que leva a concluir que neste caso a geometria do bloco não teve influência na resistência à compressão do painel. Para verificar a possível existência ou não de uma diferença significativa das resistências à compressão entre os dois tipos de painéis, foi realizada uma análise estatística com o uso da tabela de análise variância (ANOVA).

Esta comparação tem por base a distribuição “F”. O valor resultante da estatística (F_{calc}) foi comparado com a tabela de valores de F ($F_{tabelado}$), a qual indica o valor máximo da estatística para o caso da hipótese inicial ser verdadeira, a um

determinado nível de significância, neste caso 5% ($F_{0,05}$). Se $F > F_{0,05}$, conclui-se que existe uma diferença significativa entre as duas médias analisadas, ou seja, a hipótese de que as médias são iguais é rejeitada.

Tabela 34 – Resumo estatístico para os dois tipos de blocos

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Tensão PB01 (MPa)	5,00	6,11	1,22	0,02
Tensão PB02 (MPa)	6,00	7,60	1,27	0,06

Tabela 35 – Análise ANOVA para as resistências à compressão para os dois tipos de blocos

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	F crítico
Entre grupos	0,0056	1	0,0056	0,1366	5,1174
Dentro dos grupos	0,3679	9	0,0409		
Total	0,3734	10			

Foram analisados os resultados obtidos e sendo $F < F_{crítico}$ verifica-se que a hipótese de que as médias de resistência à compressão dos painéis são iguais não pode ser rejeitada, ou seja, não existe diferença significativa entre as médias das resistências à compressão dos painéis para os dois tipos de blocos estudados, com 95% de confiabilidade.

Em relação às argamassas os resultados de médias de resistência à compressão demonstram que não houve variação de resistência, e isso pode ser confirmado na análise dos resultados de resistência à compressão dos painéis.

5.1.1 Fissuração

As relações entre carga de ruptura e carga de fissuração são apresentadas na Tabela 36.

As cargas de fissuração ficaram em torno de 71% da carga de ruptura para os painéis PB01 e 62% para os painéis PB02. A carga mínima que provocou a fissuração da estrutura foi, para os painéis PB01, de 0,63 MPa, enquanto que para os painéis PB02 esse valor foi de 0,67 MPa, demonstrando novamente que não houve variação entre os dois tipos de painéis.

Tabela 36 – Relações entre carga de ruptura e carga de fissuração

	Painel	Carga de ruptura (Q_{rup}) (kN)	Carga de Fissuração (Q_{fiss}) (kN)	Q_{fiss}/Q_{rup}
PB01	PAINEL 01	250,60	182,28	0,73
	PAINEL 02	192,99	147,00	0,76
	PAINEL 03	197,59	117,60	0,60
	PAINEL 04	228,47	157,29	0,69
	PAINEL 05	247,66	193,06	0,78
	MÉDIA	223,46	159,45	0,71
	C.V (%)	12,14	18,72	10,31
PB02	PAINEL 01	240,32	147,00	0,61
	PAINEL 02	179,16	129,75	0,72
	PAINEL 03	291,92	137,20	0,47
	PAINEL 04	245,07	118,43	0,48
	PAINEL 05	203,22	151,69	0,75
	PAINEL 06	191,21	127,40	0,67
	MÉDIA	270,18	162,30	0,62
	C.V (%)	15,56	7,73	16,00

5.1.2 Fator de eficiência

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003) a resistência dos blocos tem caráter predominante dentre os fatores que exercem influência na resistência à compressão dos painéis de parede.

O fator de eficiência é um conceito muito importante quando se trata da resistência dos blocos na resistência à compressão das paredes, e é dado pela razão entre a resistência da parede e a resistência da unidade.

Fatores como a resistência do bloco, materiais e geometria fazem os resultados variarem bastante. Usualmente os blocos cerâmicos apresentam um fator de eficiência menor em comparação com os blocos de concreto. No Brasil, considerando-se os casos mais comuns, que tratam de paredes executadas com blocos vazados de concreto ou cerâmicos (resistência entre 4,5 e 20 MPa), não grauteadas e com argamassas usuais, pode-se estimar que a eficiência apresente os valores que constam na Tabela 37 (Ramalho e Corrêa, 2003).

Tabela 37 – Valores de eficiência parede-bloco (Ramalho e Corrêa, 2003).

Bloco	Valor mínimo	Valor máximo
Concreto	0,40	0,60
Cerâmico	0,20	0,50

Para os painéis em estudo, os valores de eficiência são apresentados nas Tabelas 38 e 39, e mostram os resultados para os painéis PB01 e PB02 respectivamente.

Onde:

f_{cB01} : Resistência à compressão dos blocos B01

f_{cB02} : Resistência à compressão dos blocos B02

f_{cPaB01} : Resistência à compressão dos painéis PB01

f_{cPaB02} : Resistência à compressão dos painéis PB02

$f_{cPrJPB01}$: Resistência à compressão dos prismas de junta prumo de bloco B01

$f_{cPrJPB02}$: Resistência à compressão dos prismas de junta prumo de bloco B02

$f_{cPrJA01}$: Resistência à compressão dos prismas de junta amarrada de bloco B01

$f_{cPrJA02}$: Resistência à compressão dos prismas de junta amarrada de bloco B02

Tabela 38 – Eficiência dos painéis PB01.

	$f_{cPaB01}/f_{cPrJPB01}$	$f_{cPaB01}/f_{cPrJAB01}$	f_{cPaB01}/ f_{cB01}
01	0,38	0,39	0,22
02	0,25	0,33	0,12
03	0,68	0,54	0,32
04	0,41	0,50	0,17
05	0,33	0,47	0,16

Tabela 39 – Eficiência dos painéis PB02.

	$f_{cPaB02}/f_{cPrJPB02}$	$f_{cPaB02}/f_{cPrJAB02}$	f_{cPaB02}/ f_{cB02}
01	0,36	0,33	0,15
02	0,30	0,26	0,15
03	0,41	0,30	0,16
04	0,36	0,37	0,17
05	0,42	0,37	0,17

A eficiência dos painéis PB01 em relação aos prismas de junta a prumo de bloco B01 ficou entre 0,25 e 0,68 e para os prismas de junta amarrada a relação para bloco B01 ficou entre 0,33 e 0,54.

Para painéis PB02, a eficiência em relação aos prismas de junta prumo variou entre 0,30 e 0,42 e para prismas de junta amarrada a relação ficou entre 0,26 e 0,37.

Em relação aos blocos os resultados mostram que os fatores de eficiência dos painéis PB01 variam de 0,12 a 0,32 enquanto para os painéis PB02 esta variação fica entre 0,15 e 0,17.

Quanto ao fator eficiência cabe citar o trabalho de Garcia (2000), que apresenta uma compilação de vários resultados de ensaios à compressão de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos realizados em diversos centros de pesquisa do Brasil, conforme a Tabela 40.

Tabela 40 – Resistência à compressão e correlações de interesse das paredes ensaiadas

Instituição	Traço arg.	Média resistência à compressão (MPa)					Média eficiência				
		Arg. de assent.	Blocos (f_{cb})	Prisma 2 blocos (f_{cp2})	Prisma 3 blocos (f_{cp3})	Parede (f_{cpa})	f_{cp2}/f_{cb}	f_{cp3}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{cp3}
EESC-USP Cerâmica Selecta	1:0,25:3	22,98	12,56	6,39	5,55	4,24	0,51	0,44	0,34	0,66	0,76
	1:0,5:4,5	12,83		7,23	5,21	4,16	0,58	0,41	0,33	0,58	0,80
EESC-USP Cerâmica Maristela	1:0,15:4,83	7,02	20,79	6,28	-	3,75	0,30	-	0,18	0,60	-
		6,30		4,16	-	3,04	0,20	-	0,15	0,73	-
		8,34		6,52	-	4,29	0,40	-	0,21	0,66	-
POLI-USP Nelson Gomes	1:0,62:4	3,60	15,30	2,40	-	2,50	0,16	-	0,16	1,04	-
	1:0,62:4	10,20	9,60	3,20	-	3,15	0,33	-	0,32	0,98	-
	1:0,62:6	5,10	7,50	-	-	2,60	-	-	0,34	-	-
	1:0,62:6	12,00	7,50	-	-	2,90	-	-	0,39	-	-
Pesquisador: Luiz Sérgio Franco	1:0:3	10,49	10,60	5,85	-	4,67	0,55	-	0,42	0,77	-
	1:0,5:4,5	7,23		5,52	-	4,69	0,52	-	0,41	0,79	-
IPT: Relatório 20596	1:0,104,20	4,60	11,50	6,90	-	4,60	0,60	-	0,40	0,67	-
		4,70		8,10	-	4,70	0,70	-	0,41	0,58	-
		4,30		7,10	-	4,30	0,61	-	0,37	0,61	-

Os resultados obtidos nos ensaios com painéis em comparação aos apresentados por Garcia (2000), mostraram menor fator eficiência painel/bloco. Porém, quanto aos prismas de junta a prumo, o fator de eficiência ficou dentro das médias obtidas pelos pesquisadores. A este respeito é esclarecedor transcrever que esta comparação realiza-se entre elementos de materiais e comportamento distintos.

O uso de argamassa polimérica para assentamento de blocos cerâmicos em paredes de alvenaria estrutural necessita ser melhor explorado e deve estar associado ao uso de componentes de produção controlada e uniforme.

5.1.3 Análise Teórica da deformação dos painéis

Na análise do comportamento tensão versus média da deformação específica dos transdutores TD01 e TD02 posicionados na alvenaria e dos transdutores T03 e T04 posicionados nas laterais de argamassa armada obteve-se o módulo de elasticidade. A obtenção deste módulo foi realizada admitindo-se apenas o trecho linear do gráfico o qual compreendia valores de 0 à cerca de 60% da carga de ruptura. Traçou-se uma linha de tendência linear, obtendo-se a inclinação desta reta. Estes módulos se referem ao módulo obtido do conjunto dos materiais alvenaria (bloco+argamassa polimérica) mais argamassa armada.

Um painel quando submetido à compressão axial comporta-se como um elemento composto de diferentes materiais (alvenaria (bloco+argamassa polimérica)+argamassa armada) associados em série. Estes materiais possuem características mecânicas diferentes e por meio da aplicação das equações da mecânica elástica tradicional é possível um cálculo simplificado para a determinação da parcela de carga resistida pela alvenaria e pela argamassa armada.

Cabe citar o trabalho de Mendes (1998) que para determinar a parcela de carga resistida por cada material de um prisma grauteado igualou as deformações dos dois materiais. Através da análise elástica, o autor observou que a parcela de carga absorvida pelos materiais envolvidos é proporcional aos módulos de elasticidade e as áreas efetivas expostas ao carregamento, chegando à conclusão de que materiais mais rígidos e com maiores módulos de elasticidade absorvem uma parcela maior do carregamento total imposto ao conjunto.

Com o intuito de determinar a parcela de carga absorvida pela argamassa armada e pela alvenaria, a análise teórica foi aplicada aos painéis. A Figura 77 exemplifica o sistema composto argamassa armada e alvenaria, sendo a alvenaria composta pelo conjunto bloco e argamassa polimérica.

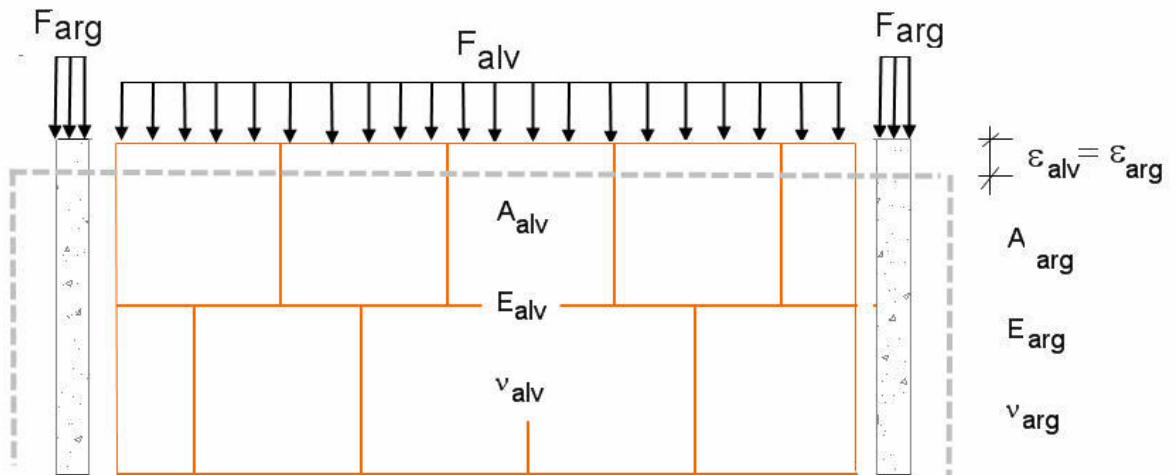


Figura 77 – Distribuição do carregamento no conjunto argamassa armada/alvenaria

Sendo:

F_{arg} e F_{alv} o carregamento resistido respectivamente pela argamassa armada e pela alvenaria;

A_{alv} , E_{alv} e ν_{alv} são respectivamente a área resistente, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson da alvenaria;

A_{arg} , E_{arg} e ν_{arg} são respectivamente a área resistente, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson da argamassa armada;

ϵ_{arg} e ϵ_{alv} são as deformações longitudinais da argamassa armada e da alvenaria (são iguais).

Igualando as deformações dos materiais, obtêm-se as Equações.13 e 14 que relacionam e fornecem as parcelas de carregamento total absorvidas pela alvenaria e pela argamassa armada.

Lei de Hooke:

$$\sigma = \epsilon \cdot E$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{A \cdot E}$$

se $\varepsilon_{arg} = \varepsilon_{alv}$

$$\frac{F_{alv}}{A_{alv} \cdot E_{alv}} = \frac{F_{arg}}{A_{arg} \cdot E_{arg}} \quad \text{e logo } F_t = F_g + F_{alv}$$

tem-se:

$$F_{alv} = \frac{F_t \cdot A_{alv} \cdot E_{alv}}{A_{alv} \cdot E_{alv} + A_{arg} \cdot E_{arg}} \quad \text{(Equação 13)}$$

$$F_{arg} = \frac{F_t \cdot A_{arg} \cdot E_{arg}}{A_{alv} \cdot E_{alv} + A_{arg} \cdot E_{arg}} \quad \text{(Equação 14)}$$

A partir das Equações 13 e 14 obtêm-se as porcentagens dos carregamentos absorvidos pela argamassa armada e pela alvenaria para os dois tipos de blocos (Tabela 41). Para se obter estas porcentagens foram utilizados nos cálculos os módulos de elasticidade obtidos na área bruta dos prismas de junta amarrada.

Tabela 41 – Porcentagens do carregamento total absorvido pela argamassa armada e alvenaria

	Área alvenaria (cm ²)	Área argamassa armada (cm ²)	% Carga argamassa armada	% Carga alvenaria
Painel B01	1695	150	43,77	56,22
Painel B02	1638	140	31,31	68,69

Em função da parcela de carga resistida pelos respectivos materiais foram calculadas curvas teóricas de tensão versus média da deformação específica da argamassa armada e da alvenaria denominadas de Média T01 e T02 calculada (alvenaria) e Média T03 e T04 calculada (argamassa armada) as quais foram comparadas com as curvas das argamassas armadas e da alvenaria obtidas experimentalmente.

5.1.4 Resultados obtidos

Na apresentação dos resultados dos painéis, os transdutores indutivos de deslocamento utilizados na instrumentação foram referidos em todos os gráficos pela letra T seguida pelo número do transdutor. A sigla T7, por exemplo, indica o transdutor número 7 da instrumentação apresentada na Figura 73, e assim por diante.

Durante a execução dos ensaios de resistência à compressão dos painéis PB02 de número 01 e 02, ocorreram alguns problemas relacionados ao carregamento e a aquisição de dados. No ensaio realizado no painel PB02-01, os resultados das deformações não foram salvos corretamente, e para este caso outro painel foi moldado para substituí-lo. Em relação ao painel PB02-02, houve problemas no sistema de aplicação de carga, com a velocidade de aplicação da carga foi muito elevada. Os gráficos tensão versus deformação específica mostraram incoerências, e desta forma não foram utilizados nas análises.

As curvas tensão versus deformação específica da alvenaria e argamassa armada experimentais e teórica (valores calculados através da análise elástica), assim como as relações tensão versus deslocamento transversal e tensão versus flecha de cada painel serão apresentadas graficamente. As figuras 78 a 81 mostram resultados para painéis feitos com bloco B01. As figuras 82 a 85 para os painéis com bloco B02. Os resultados para os demais painéis podem ser vistos no Apêndice 2.

Por se tratarem de valores referentes ao terceiro incremento de carga, quase todos os gráficos já apresentavam alguma deformação, as quais não foram zeradas. É oportuno lembrar que ao se iniciar cada incremento a carga era zerada e portanto essas deformações fazem parte da análise.

Painel B01 – 01

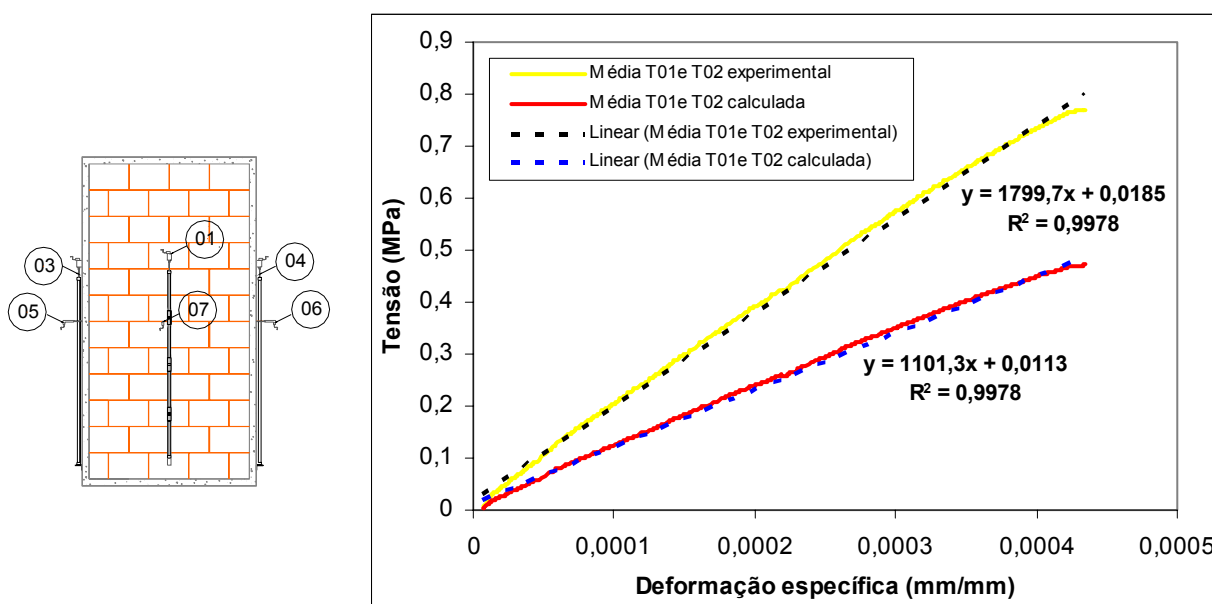


Figura 78 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

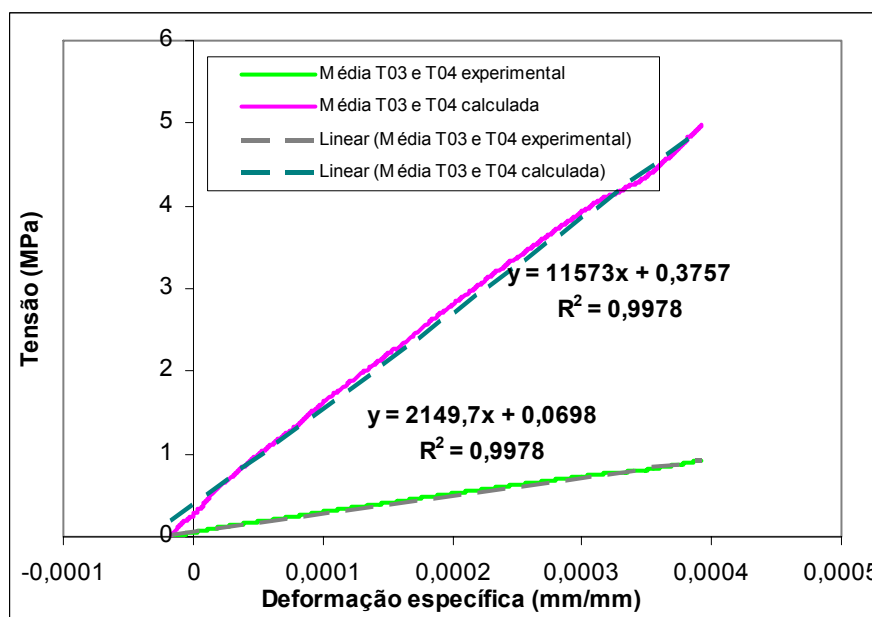


Figura 79 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

É possível observar que há uma inversão nos valores das deformações entre a parte de blocos e a parte de argamassa armada nos painéis. Enquanto no primeiro caso (Figura 78), referente aos transdutores TD01-TD02 da alvenaria a deformação experimental é menor do que teórica, no segundo (Figura 79) a deformação calculada é

maior. Isto aconteceu em função da parcela de carga resistida pelos respectivos materiais, a qual aumentou para a argamassa armada e diminuiu para a alvenaria. A argamassa armada apresentou em relação à tensão calculada uma deformação bem menor e como consequência um módulo maior, e a alvenaria onde a parcela de carga diminuiu, o módulo aumentou.

A Figura 80 mostra os deslocamentos laterais da argamassa armada com o aumento da tensão de compressão. Observa-se que para um valor bastante baixo de tensão há deslocamento horizontal significativo. E o mesmo ocorre com o transdutor TD07 situado no meio do painel para medição do deslocamento horizontal do mesmo. Este deslocamento horizontal, presente em todos os resultados pode ser atribuído à acomodação do corpo-de-prova, ou fissuras internas, pois em nenhum caso foi percebida visualmente a separação entre a argamassa e a alvenaria.

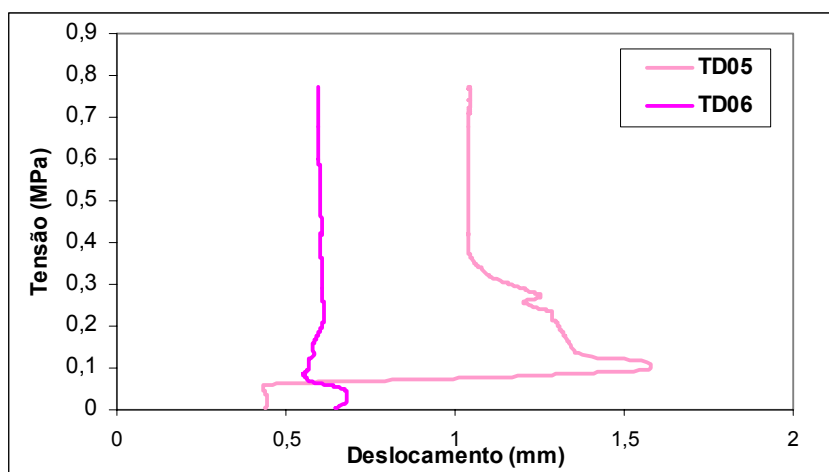


Figura 80 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

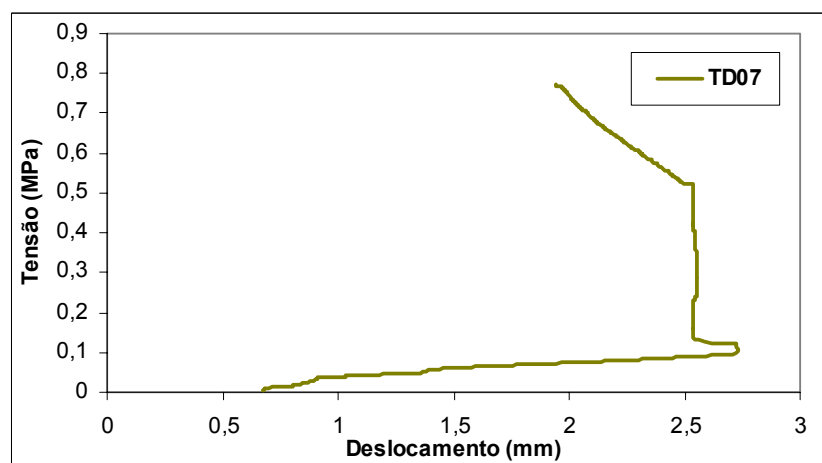


Figura 81 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)

As Figuras 82 a 85 mostram os resultados para os blocos B02. Observa-se o mesmo comportamento apresentado pelos painéis com bloco B01.

Painel B02-03

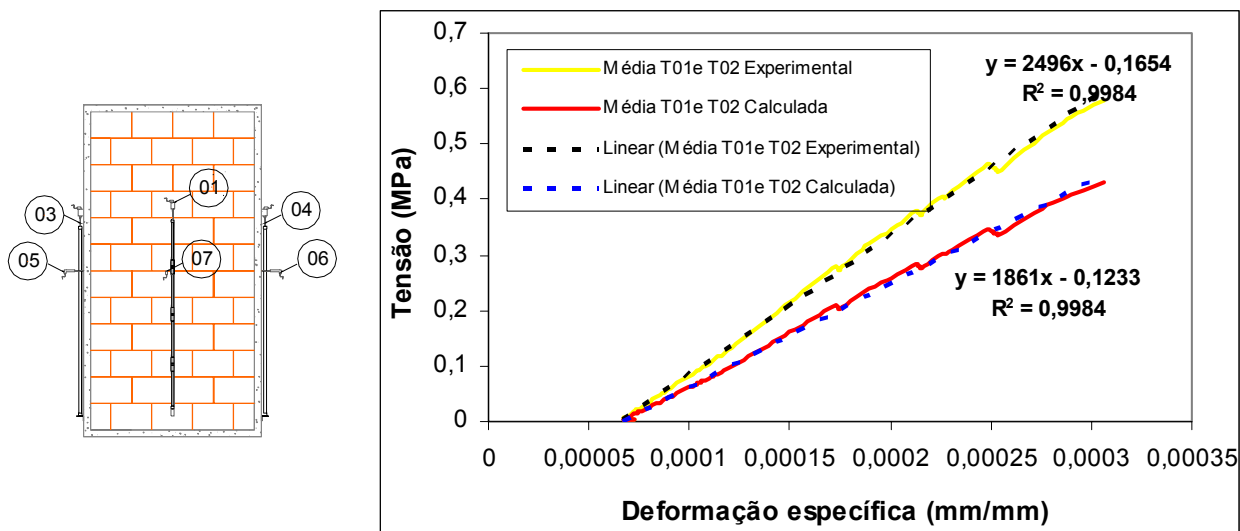


Figura 82 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

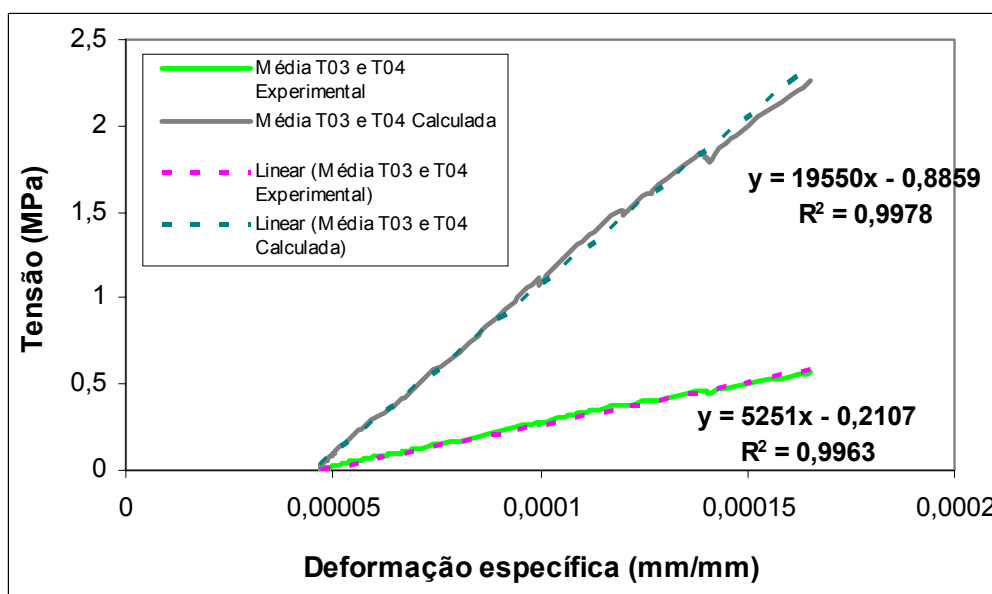


Figura 83 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

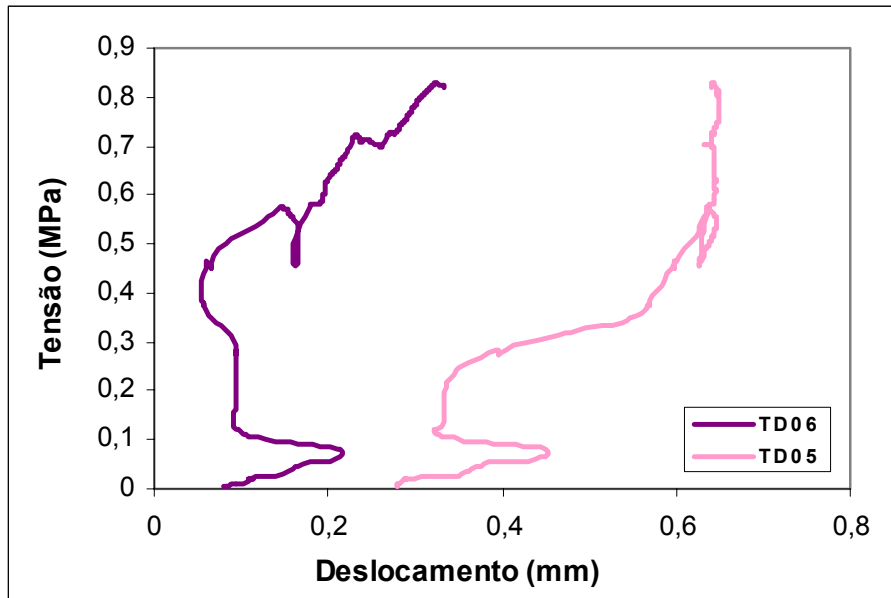


Figura 84 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

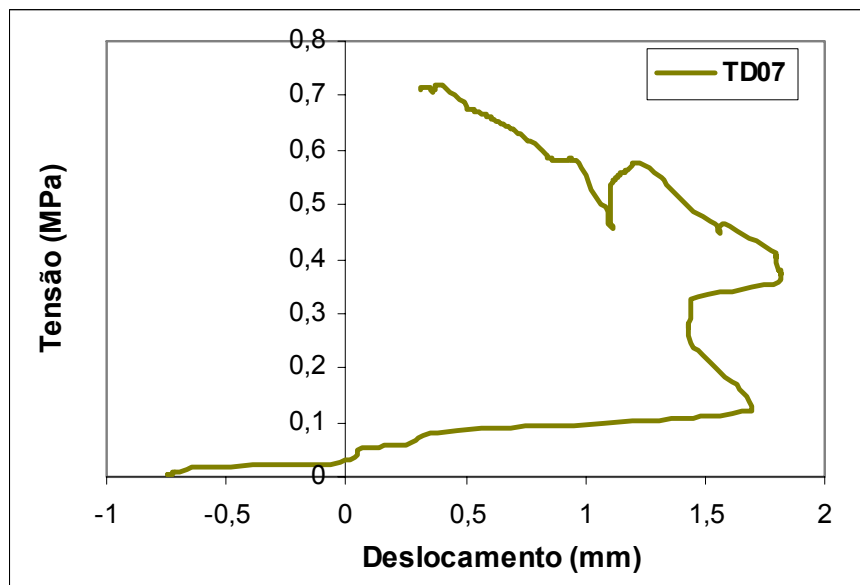


Figura 85 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)

Com base nos gráficos apresentados acima pode-se concluir que na comparação das curvas experimentais com as curvas calculadas elasticamente houve comportamento semelhante em todos os casos.

A Figura 86 mostra as curvas da argamassa armada moldadas nos corpos-de-prova prismáticos e as obtidas teoricamente para a argamassa armada nos painéis feitos com bloco B02. Observa-se que há uma similaridade entre as curvas.

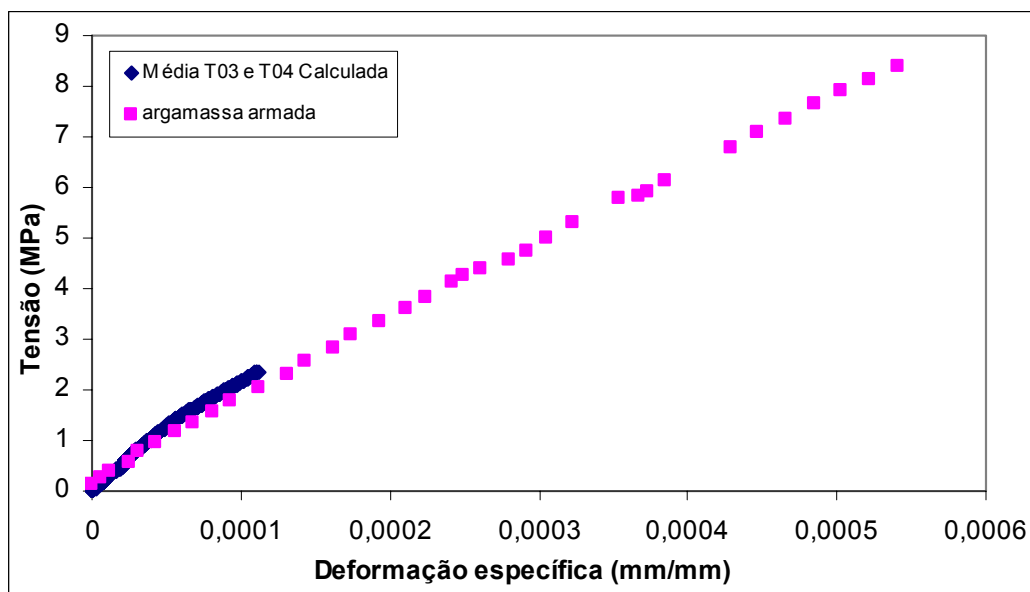


Figura 86 – Gráfico tensão x média das deformações específicas – comparação entre resultados calculados e obtidos experimentalmente.

A Tabela 42 a seguir traz os resultados dos módulos de elasticidade calculados (valores de cada material) e os obtidos experimentalmente (valores referentes ao conjunto).

Tabela 42 – Módulos de elasticidade teórico e experimental da argamassa armada e alvenaria

		MÓDULOS DE ELASTICIDADE			
		TEÓRICO		EXPERIMENTAL	
		ALVENARIA	ARGAMASSA ARMADA	ALVENARIA	ARGAMASSA ARMADA
PB01	Painel 01	1101	11573	1799	2150
	Painel 02	1131	9006	1849	1673
	Painel 03	1004	12430	1663	2340
	Painel 04	1078	9578	1786	1803
	Painel 05	1308	10873	2167	2054
PB02	Painel 03	1861	19550	2496	5251
	Painel 04	2088	21749	2800	5469
	Painel 05	1612	18971	2162	4771
	Painel 06	1629	9061	2178	2278

Os resultados dos módulos teóricos apresentados na Tabela 42 indicam que o maior módulo de deformação da alvenaria do painel PB02 se deve ao aumento da carga por ela absorvida se comparado aos painéis com blocos B01.

Durante a realização dos ensaios foi comum o aparecimento de fissuras na vertical nos dois tipos de painéis próximo a 75% da carga de ruptura. Essas fissuras foram mais acentuadas em painéis PB02. Uma causa provável é a maior absorção de carga pela alvenaria neste tipo de painel com ocorrência de maiores tensões de confinamento.

É oportuno destacar também que os gráficos referentes à flecha (TD07) de todos os painéis apresentaram comportamento semelhante, o que pode ser atribuído à moldagem dos painéis, uma vez que a face dos blocos que fica sobre a mesa metálica possui menos argamassa polimérica sobre as juntas, pois quando é concluído o assentamento das fiadas todas as juntas da face externa do painel são preenchidas. Isso fica evidente nos gráficos relacionados a TD7, que demonstram que a face que não recebeu o preenchimento da argamassa é mais comprimida, e os deslocamentos medidos pelo TD07 de todos os painéis foi positivo. O preenchimento destas juntas não foi executado, pois em se tratando de pré-fabricação, este procedimento em cada painel moldado levaria a perdas importantes na produtividade de execução dos mesmos no caso de moldagens em larga escala.

Após o acréscimo de deslocamento observado até 0,1 kN, e através da leitura feita pelos transdutores TD05 e TD06 observou-se comportamentos distintos entre os dois tipos de painéis. Os painéis PB01 apresentaram deslocamento quase que constante até aproximadamente 60% da tensão de ruptura, com exceção do painel PB01 – 05 que apresentou acréscimos de deslocamento, e que podem ser atribuídos a fissuras internas, visto que até o momento o painel não havia apresentado nenhuma fissura visível. Quanto aos painéis PB02, os comportamentos foram distintos, apresentando acréscimo nas leituras feitas pelos transdutores TD05 e TD06. Estas diferenças podem ser atribuídas à deficiência de aderência dos blocos B02 com a argamassa armada. Esta diferença entre as leituras de TD05 e TD06 para os dois tipos de painéis é significativa, pois os blocos B01 possuem ranhuras nas faces que auxiliam na aderência.

Outro aspecto a ser levado em conta é que o painel é formado por materiais com características distintas, e portanto com comportamentos diferentes. O uso de blocos não retificados na face de assentamento e argamassa polimérica de espessura final 3mm deve ser analisado mais profundamente, pois as irregularidades causam concentração de tensões no material e a argamassa por ser de espessura pequena, não consegue absorver.

5.1.5 Modo de ruptura

O modo de ruptura de todos os painéis foi por flexão nas laterais da argamassa armada. Um dos fatores relacionados a este rompimento pode ser o travamento do topo e base do painel, impostos respectivamente pela viga e laje de reação do ensaio.

Gleize (2003) comenta que este travamento é um impedimento de deformação dos topos causados pela expansão lateral do corpo-de-prova acompanhando a compressão axial. No carregamento entre as duas placas a altura do corpo-de-prova diminui e o diâmetro aumenta. Mas devido às forças de fricção que se desenvolvem no topo e na base esta expansão é restringida. Assim as dimensões no topo e na base do corpo-de-prova tendem a se manter perto das dimensões originais, enquanto que a parte mais central do corpo-de-prova se expande lateralmente formando um arco. Este travamento gera uma compressão transversal perto do topo cuja intensidade diminui quando se afasta do topo e da base e se aproxima do centro do corpo-de-prova.

É importante destacar que nos painéis PB01 este rompimento por flambagem fica mais evidente na argamassa armada do lado direito, e pode ser atribuído ao uso de meio bloco de geometria diferente, necessários a amarração da alvenaria, o que tornou o painel sem simetria nas laterais ocasionando forças excêntricas no painel B01 e ocasionando a ruptura por flambagem desta lateral.

Os gráficos com as deformações mostram apenas as médias. As figuras 87 e 88 ilustram os gráficos das deformações específicas lidas pelos transdutores TD03 e TD04 dos painéis PB01 e PB02 respectivamente. As deformações lidas pelos transdutores de deslocamento TD04 do painel PB01 (Figura 87), evidenciam que o lado direito foi mais comprimido, o que esclarece o rompimento da argamassa armada neste sentido.

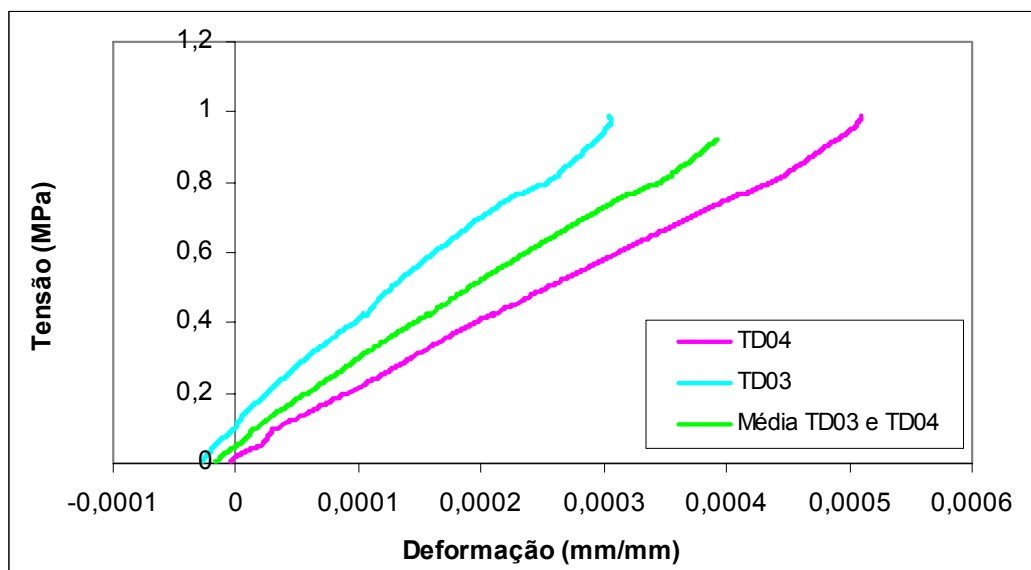


Figura 87 – Gráfico Tensão x deformações específicas referentes aos transdutores TD03 E TD04 do painel PB01-01

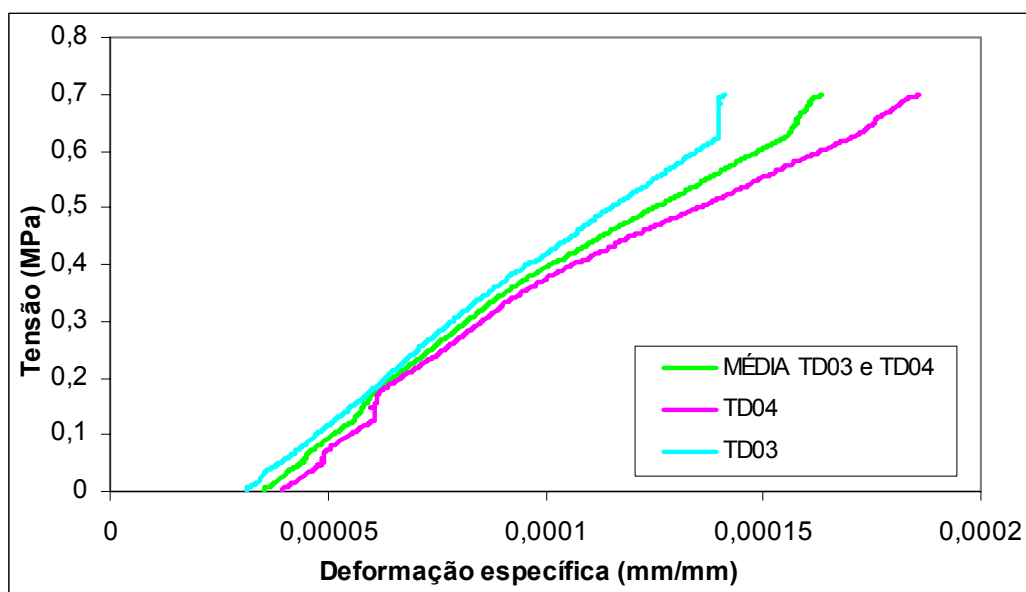


Figura 88 – Gráfico tensão x deformações específicas referentes aos transdutores TD03 E TD04 do painel PB02-04

Para os painéis PB02, o travamento do topo e da base do painel aliado aos esforços de tração impostos pela alvenaria à argamassa armada contribuíram na ruptura por flambagem. As Figuras 89 e 90 mostram a forma de ruptura dos painéis PB01 e PB02 submetidos à compressão centrada.



Figura 89 – Forma de ruptura dos painéis PB01



Figura 90 – Forma de ruptura dos painéis PB02

Quanto à forma de ruptura outro fato interessante a ser acrescentado diz respeito à aderência da interface bloco e argamassa armada. Os painéis PB01 por apresentarem ranhuras nas faces de seus blocos mostraram uma melhor aderência entre os dois materiais a qual não permitiu que o bloco se descolasse da argamassa. Neste caso houve a ruptura da argamassa armada juntamente com a alvenaria. Nos painéis PB02, com blocos sem ranhuras na sua interface, a argamassa armada se descolou do bloco deixando-o praticamente inteiro.

Essas diferenças relacionadas à aderência entre os dois tipos de blocos foram percebidas nas leituras feitas pelos transdutores TD05 e TD06 dos painéis e já foram comentadas anteriormente. A Figura 91 ilustra o descolamento da interface bloco e argamassa armada ocorrido nos dois tipos de painéis.



Figura 91 – Interface argamassa armada e alvenaria

Após serem concluídos os ensaios de resistência à compressão, e diante do fato que todos os painéis romperam por flambagem das laterais de argamassa armada, um novo painel foi moldado com o intuito de avaliar se haveria mudança no modo de ruptura.

O painel foi moldado com as mesmas dimensões e unidades do painel PB01, sendo a única diferença a execução de uma junta horizontal de 1 cm de argamassa armada na parte central do painel, tentando desta forma aumentar a rigidez da placa de argamassa. No interior desta junta foram posicionadas a tela e a armadura, com as mesmas características das existentes no contorno. Nestas armaduras foi deixado um transpasse, o qual foi unido às armaduras existentes nas laterais, e funcionando assim como espécie de tirante, ligando as duas laterais. A moldagem deste painel é ilustrada na Figura 92.



Figura 92 – Moldagem painel com junta armada no centro.

As Figuras 93 a 96 mostram as deformações específicas e os deslocamentos da alvenaria e argamassa armada do painel atirantado.

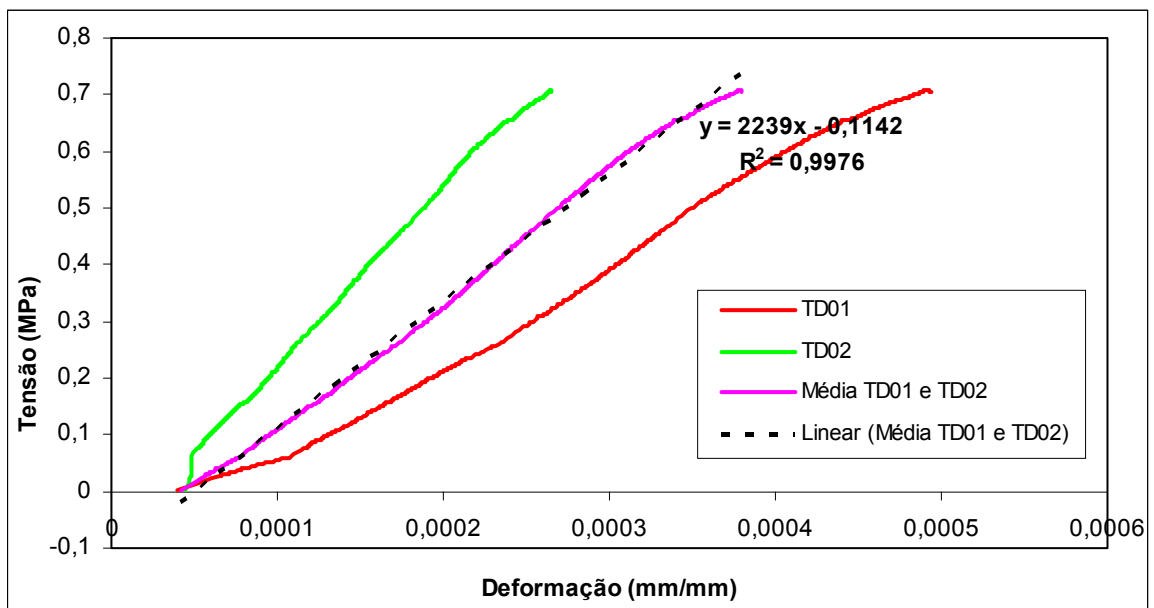


Figura 93 – Gráfico Tensão x deformações específicas referentes aos transdutores TD01 e TD02

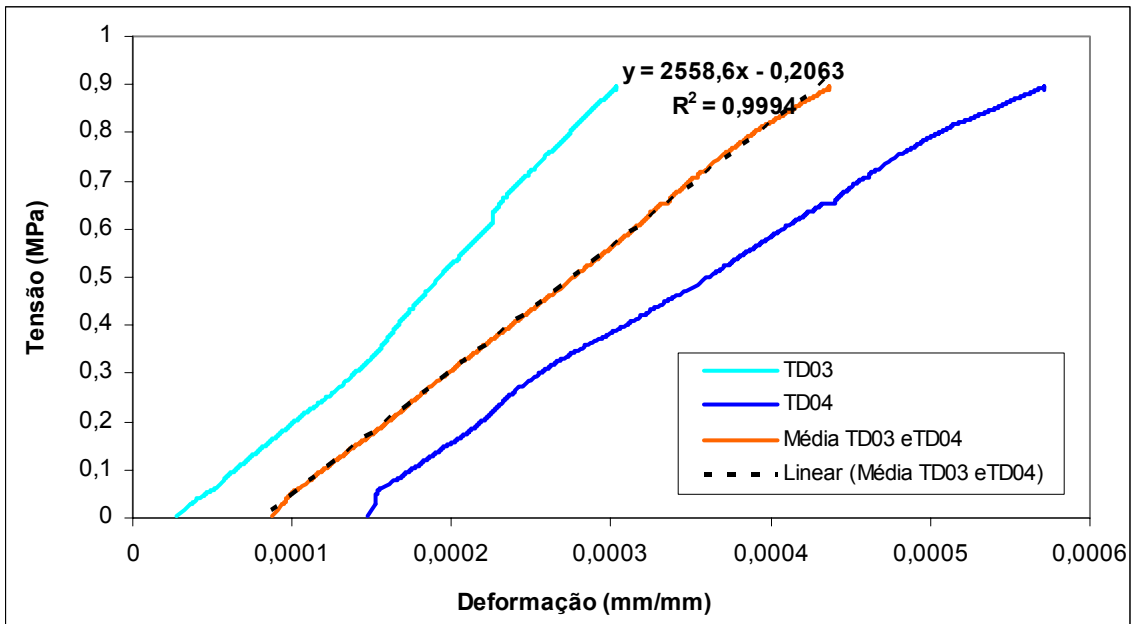


Figura 94 – Gráfico Tensão x deformações específicas referentes aos transdutores TD03 e TD04

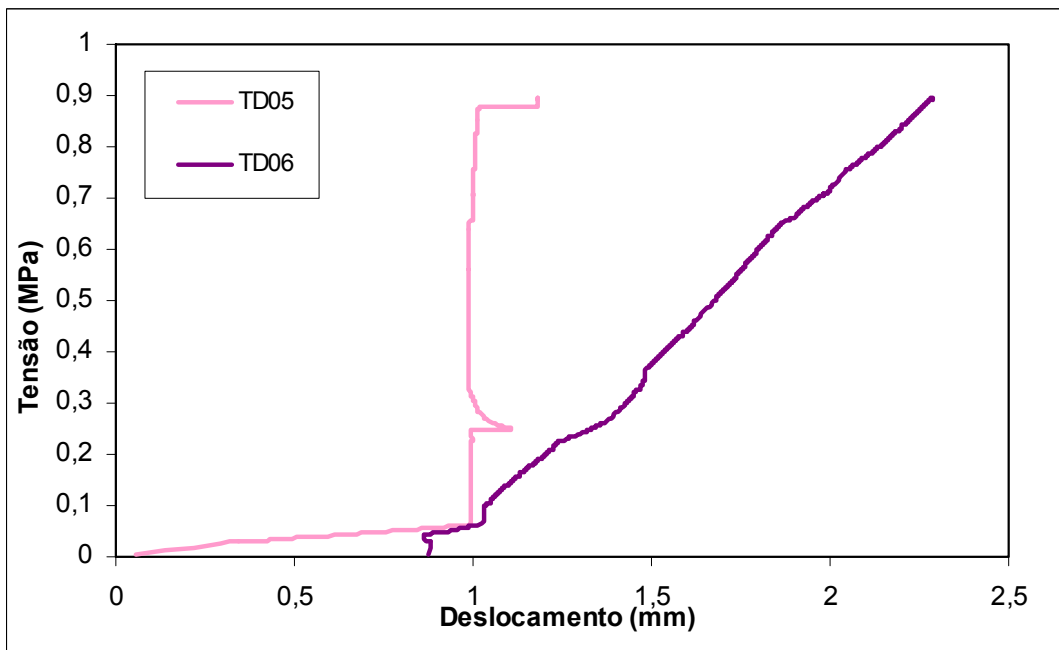


Figura 95 – Gráfico Tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

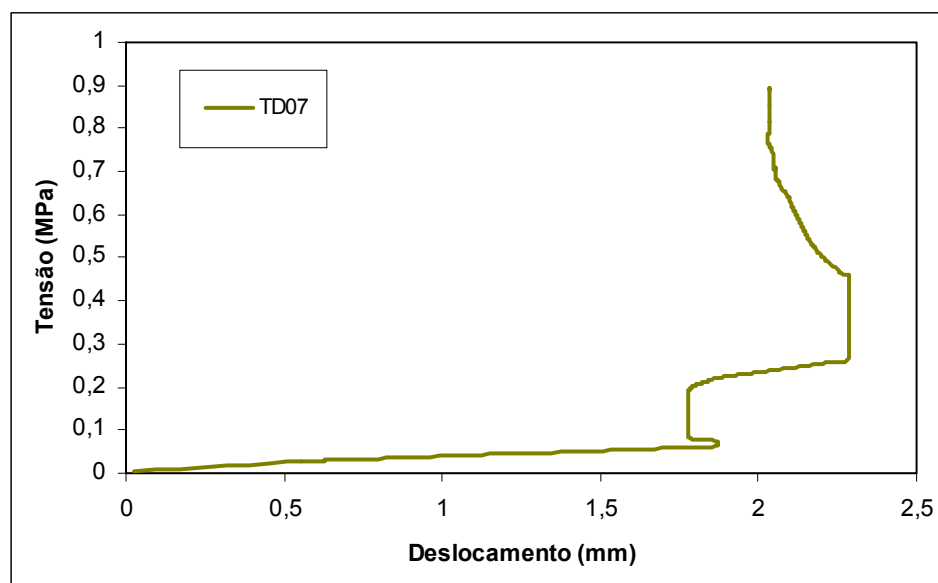


Figura 96 – Gráfico Tensão x deslocamento horizontal (flecha)

As deformações específicas lidas pelos transdutores TD01 e TD02 e apresentados na Figura 93 mostram que a junta de 1cm de argamassa armada conferiu maior rigidez à alvenaria. A mesma rigidez foi observada nas leituras feitas pelos transdutores TD03 e TD04, mas com a mesma excentricidade observada nos lado direito dos painéis PB01.

Apesar da leitura do deslocamento realizada pelo transdutor TD6 ser crescente, não houve descolamento na interface bloco e junta de argamassa armada. A tensão de ruptura do painel foi de 1,30 MPa, ficando entre a média dos painéis PB01 feitos com o mesmo bloco mas sem a junta de argamassa armada. Os módulos de elasticidade calculados através da linha de tendência das médias entre os transdutores TD01-TD02 e TD03-TD04 mostraram um acréscimo confirmando que a junta conferiu maior rigidez ao conjunto.

As primeiras fissuras ocorreram a 67% da carga de ruptura, e surgiram no meio bloco da segunda fiada do lado direito do painel, determinado pelos transdutores como o lado sendo o mais comprimido. Logo após a fissura se propagou e foi seguida pelo fendilhamento das paredes transversais do bloco, onde possivelmente houve algum esmagamento local devido à espessura delgada da argamassa polimérica (Figura 97).

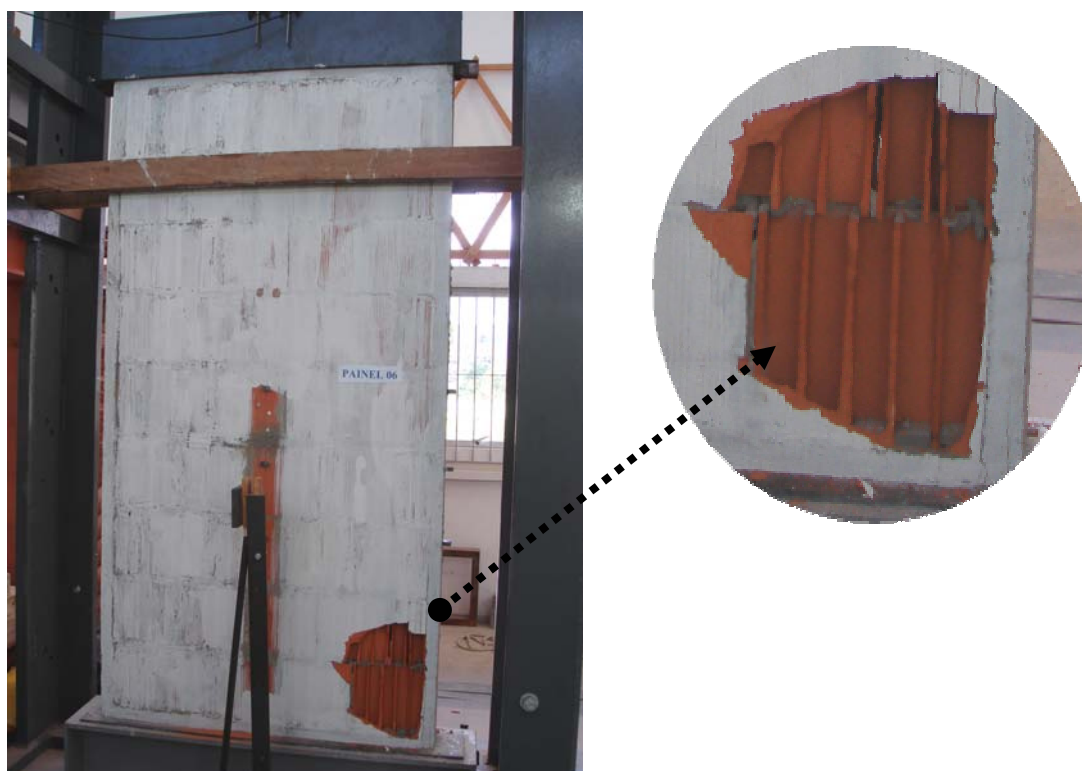


Figura 97 – Forma de ruptura ocorrida pelo painel com junta de argamassa armada

5.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os valores da tensão de aderência bloco / argamassa polimérica foram obtidos por meio dos ensaios de prismas de quatro blocos. Os resultados para os dois tipos de blocos são apresentados nas Tabelas 43 e 44 respectivamente.

Tabela 43 – Tensão de aderência para prismas B01

	FORÇA TOTAL (N)	TENSÃO DE ADERÊNCIA NA ÁREA LÍQUIDA (MPa)	TENSÃO DE ADERÊNCIA NA ÁREA BRUTA (MPa)
1	4716,23	0,76	0,65
2	*2716,06	*0,45	*0,39
3	2200,59	0,37	0,32
4	840,50	0,16	0,14
5	2634,36	0,44	0,38
6	1930,22	0,33	0,28
7	1094,42	0,20	0,17
8	3178,04	0,52	0,45
9	802,30	0,15	0,13
10	5431,54	0,88	0,75
MÉDIA	2536,47	0,42	0,36
D.P	1658,22	0,26	0,22
C.V	65,38	61,15	61,15

Tabela 44 – Tensão de aderência para prismas B02

	FORÇA TOTAL (N)	TENSÃO DE ADERÊNCIA NA ÁREA LÍQUIDA (MPa)	TENSÃO DE ADERÊNCIA NA ÁREA BRUTA (MPa)
1	5256,38	0,68	0,55
2	7973,62	1,03	0,82
3	*3039,92	*0,40	*0,32
4	5203,48	0,68	0,54
5	7288,87	0,94	0,75
6	6832,18	0,88	0,71
7	3049,32	0,40	0,33
8	*3032,87	*0,40	*0,31
9	6867,45	0,89	0,71
10	5315,16	0,69	0,55
MÉDIA	5973,31	0,77	0,62
D.P	1574,74	0,20	0,16
C.V	26,36	25,67	25,67

Os valores grifados e com (*) não foram considerados na média pois a ruptura dos mesmos ocorreu em uma junta fora do terço médio.

Observa-se que a variação dos resultados obtidas nos prismas B01 foi bastante acentuada em comparação com os resultados apresentados para os prismas B02. A Tabela 45 compara a tensão de aderência com a resistência dos blocos e dos prismas de junta prumo na área bruta e líquida, e os resultados comprovam o melhor desempenho do bloco B02, pelo fato do mesmo possuir uma área líquida maior, ou seja uma área de contato superior, conferindo-lhe melhor desempenho.

Tabela 45 – Comparação entre as tensões de aderência na área bruta e líquida com as resistências dos blocos e dos prismas de junta prumo.

	BLOCO TIPO 01		BLOCO TIPO 02	
	Área Bruta	Área Líquida	Área Bruta	Área Líquida
Tensão de aderência / Resistência do bloco	4,92%	2,04%	7,44%	3,70%
Tensão de aderência / Resistência do prisma de junta prumo	10,68%	4,49%	17,56%	8,90%

A Figura 98 apresenta as formas de ruptura para os dois tipos de prisma.



Figura 98 – Formas de ruptura apresentadas pelos prismas de blocos B01 e B02.

6 ANÁLISE NUMÉRICA POR ELEMENTOS FINITOS

6.1 INTRODUÇÃO

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é um método aproximado, um método numérico em Engenharia.

Este método consiste em dividir o domínio de integração do problema em um número discreto de regiões pequenas de dimensões finitas denominado de elementos finitos, a este conjunto de regiões dá-se o nome de malha de elementos finitos, tornando o meio contínuo em discreto, como mostra o elemento hachurado (Figura 99).

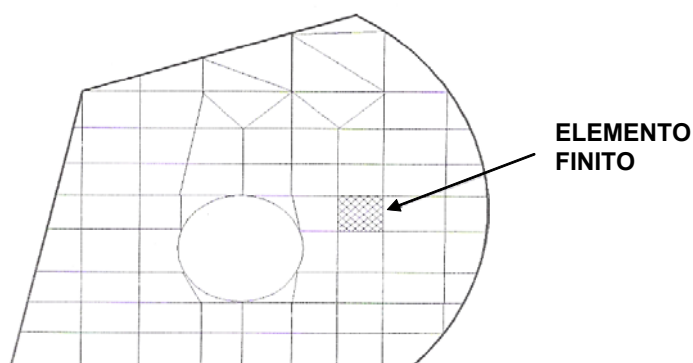


Figura 99 – Rede de elementos finitos (Assan, 2003)

Com a variação do tamanho dos elementos finitos, pode-se aumentar ou diminuir o tamanho da malha do reticulado. Os pontos de intersecção das linhas dessa rede são chamados de nós.

Uma vez que estes elementos podem ser colocados juntos em um número incontável de diferentes configurações, existe a possibilidade de modelar formas geométricas bastante complexas, possibilitando que o projetista tenha bastante flexibilidade na aplicação de cargas e condições de contorno, o que torna este método o mais amplamente utilizado para análises estruturais.

O Método dos Elementos Finitos pode ser aplicado numa grande faixa de problemas de engenharia que envolve valores de contorno. Em uma dificuldade de valor de contorno, uma solução é buscada na região do corpo (domínio), enquanto nos

contornos desta região os valores das variáveis dependentes (ou suas derivadas) são conhecidos (SÁNCHEZ, 2001).

Adotaram-se para a simulação numérica deste trabalho modelos computacionais baseados na análise linear, e por atender aos requisitos necessários, a análise numérica dos painéis foi efetuada com auxílio do programa computacional disponível SAP2000 (1997). Em relação à análise numérica considera-se a análise linear suficiente para o fornecimento de parâmetros, pois da mesma foi tão somente a verificação das distribuições de tensões nos painéis.

6.2. MODELAMENTO EM ELEMENTOS FINITOS

Segundo Peleteiro (2002), são muitos os fatores que influenciam as propriedades da alvenaria, tais como: a anisotropia e dimensão das unidades, espessura das juntas, propriedades das unidades e da argamassa, arranjo das juntas horizontais e verticais e qualidade da mão-de-obra e devido a esta grande diversidade a simulação numérica se torna extremamente trabalhosa. Recentemente a pesquisa em alvenaria começou a mostrar interesse em modelos mais refinados, tornando o cálculo de estruturas em alvenaria menos empírico e mais sofisticado.

A escolha dos elementos que representam cada trecho da estrutura, ou seja, o seu comportamento físico, constitui o ponto principal da elaboração de qualquer modelo.

Segundo Lourenço (1996), a abordagem utilizada para o modelamento numérico pode ser feita de duas formas: o modelo micro onde são representados individualmente os componentes da alvenaria e modelo macro, onde a alvenaria é modelada como um material composto.

Para o autor dependendo do nível de precisão e sofisticação desejado, é possível seguir as seguintes estratégias de modelamento:

- Modelo micro detalhado: elementos contínuos podem representar as unidades de alvenaria, a argamassa e o graute, já a interface unidade/argamassa é modelada por elementos especiais de interface (descontínuos);
- Modelo micro simplificado: onde a representação é somente nas unidades e interface. A unidades são modeladas por elementos contínuos que

incorporam a junta da argamassa e a interface é concentrada em elementos de interface;

- Modelo macro: unidades, argamassa, graute e interface são modelados por um elemento contínuo equivalente, normalmente considerado anisotrópico.

A Figura 100 mostra que no modelo micro detalhado, as propriedades dos materiais como módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, e, opcionalmente, as propriedades dos materiais inelásticas dos materiais constituintes são levadas em consideração na simulação. A interface representa um plano potencial de fissuras com uma rigidez muito pequena, apenas para evitar a interpenetração do contínuo, o que permite que ações combinadas nas unidades, argamassa, graute e interface possam ser estudadas detalhadamente.

Na segunda abordagem “modelo micro simplificado”, cada junta, consiste de argamassa e duas interfaces unidades/argamassa, onde então é condensada em uma interface média, enquanto que as unidades são expandidas a fim de manter a geometria inalterada. A Figura 100 (c), mostra que a alvenaria é considerada como um conjunto de blocos, normalmente supostos elásticos, cercados por linhas de fissuras potenciais nas juntas. E no modelo macro, apresentado na terceira e última abordagem e representado na Figura 100 (d), não há distinção entre as unidades individuais e juntas sendo a alvenaria tratada como um material contínuo anisotrópico homogêneo.

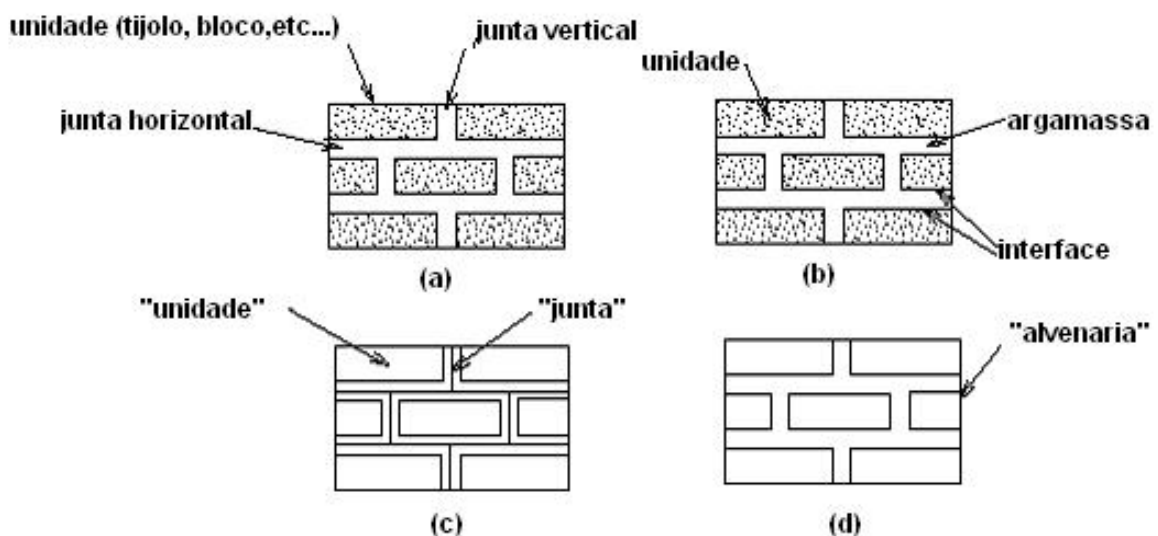


Figura 100 – Modelos para alvenaria estrutural: (a) elementos da alvenaria, (b) modelo micro detalhado, (c) modelo micro simplificado, (d) modelo macro (LOURENÇO, 1996).

Para Gomes (2001), existem diferentes campos de aplicação para os modelos micro e macro, e uma estratégia não pode ser preterida sobre a outra. Na necessidade de melhor entendimento do comportamento local das estruturas da alvenaria são utilizados os modelos micro. Os modelos macro são aplicáveis quando a estrutura é composta de unidades sólidas com dimensões suficientemente grandes, comparadas a dimensões da junta, de forma que assim as tensões são consideradas razoavelmente uniformes. Este modelo é orientado na prática para reduzir o tempo de processamento, memória e armazenamento de dados, pois se obtém uma malha de elementos finitos mais facilitada. O autor ressalta que este tipo de modelamento é mais útil quando se deseja um meio termo entre precisão e eficiência.

Para o desenvolvimento de modelos micro e macro precisos de estruturas de alvenaria contínua, é necessária uma descrição experimental aprofundada do material. No entanto, as propriedades da alvenaria são influenciadas por um grande número de fatores, tais como, dimensões e forma das unidades, arranjo de juntas verticais e horizontais, anisotropia das unidades, qualidade da mão-de-obra, condições de cura e de ambiente, idade e, naturalmente, das propriedades mecânicas dos materiais constituintes. Devido a esta diversidade, somente há poucos anos a comunidade de pesquisadores desta área começou a mostrar interesse em refinar os modelos numéricos como oposição às tradicionais regras práticas ou fórmulas empíricas (LOURENÇO, 1996).

Azevedo (2003) enfatiza que quando surge a necessidade de resolver um problema de análise de uma estrutura, a primeira questão que se coloca é a sua classificação quanto à geometria, modelo do material constituinte e ações aplicadas. O modo como o MEF é formulado e aplicado depende, em parte, das simplificações inerentes a cada tipo de problema.

A modelagem desta pesquisa foi realizada discretizando-se os blocos, argamassa polimérica e argamassa armada separadamente, mas considerando as ligações entre os blocos, argamassa polimérica e argamassa armada perfeita (micro-modelagem simplificada).

6.3 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS

As simulações numéricas analisadas foram realizadas em modelos com dimensões semelhantes às dos modelos ensaiados e para a simulação dos painéis foram escolhidos os elementos sólidos hexaédricos de 8 nós.

A entrada dos dados foi feita por meio de interface gráfica, podendo-se assim detalhar todas as particularidades geométricas dos elementos constituintes dos painéis. A opção “Grid Only” existente na escolha do modelo, serviu de orientação para discretização geométrica dos elementos que foram modelados.

Como passo seguinte e baseado na geometria real do bloco, foram definidos os eixos de referência, onde os eixos x e y foram colocados paralelos à argamassa polimérica enquanto que o eixo Z foi definido paralelo à altura do painel e paralelo também a direção da carga aplicada (Figura 101).

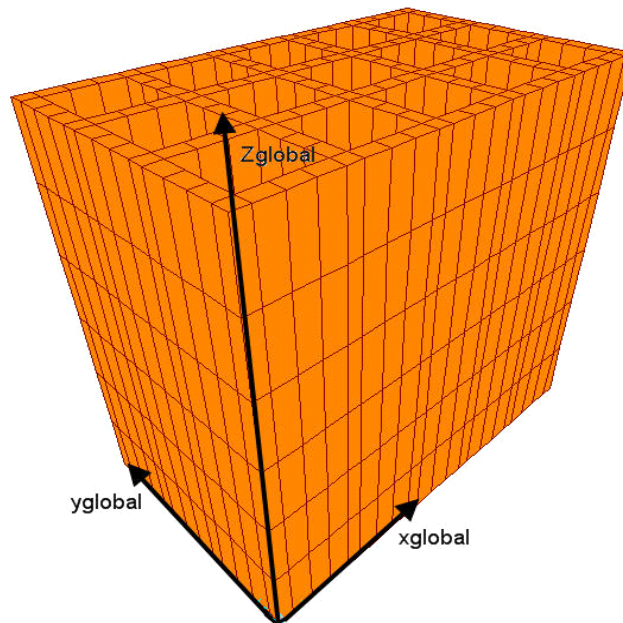


Figura 101 – Sistema de eixos de referência globais

Para entrada do elemento sólido o programa dispõe de um comando para extrudar (*extrude*) elementos de casca (*Shell*) para elemento hexaédrico. Após a unidade ser toda discretizada foram definidas as propriedades dos materiais. Os valores de módulo de elasticidade de todos os materiais foram obtidos experimentalmente e os coeficientes de Poisson da argamassa polimérica, blocos e

argamassa armada foram adotados. A Figura 102 e a Tabela 46 trazem os modelos dos blocos e os valores das características de cada material respectivamente.

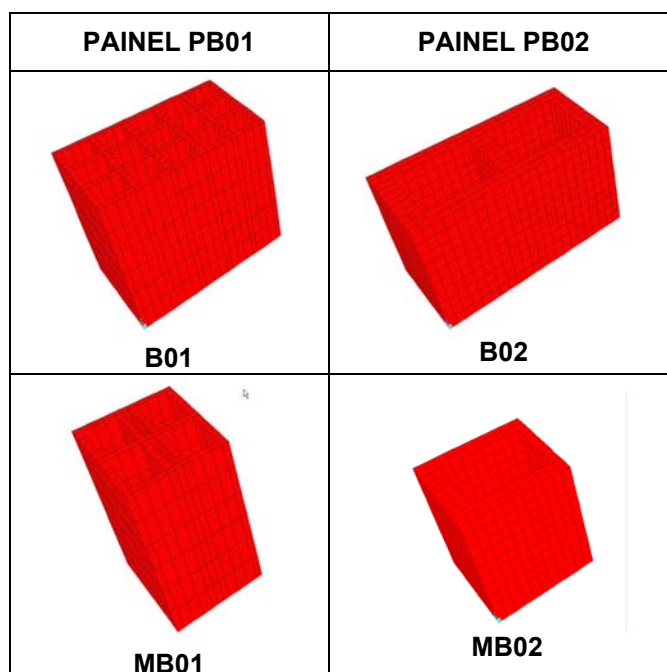


Figura 102 – Modelos de blocos utilizados para cada painel

Tabela 46 – Valores utilizados na modelagem

MATERIAL	MÓDULO DE ELASTICIDADE * (MPA)	COEFICIENTE DE POISSON (ν)
Argamassa armada	13634	0,29
Argamassa polimérica	2071	0,2
Bloco B01	5244 *	0,2
Bloco B02	4733 *	0,2

* valores referentes ao módulo de elasticidade na área líquida

Uma vez definido o modelo do bloco, foi usada a ferramenta de cópia da unidade (*replicate*), sendo ligados entre si por argamassa, montando deste modo a 1ª fiada do painel. Logo em seguida, a mesma ferramenta foi utilizada para dar origem às demais fiadas.

Com o objetivo de simular as condições de ensaios dos painéis, as vinculações dos painéis foram baseadas no equipamento de ensaio, simulando o efeito de confinamento proporcionado pela viga e laje de reação. Dessa forma os painéis tiveram seus deslocamentos restringidos em x, y e z na base e no topo foram restringidas as translações somente em x e y deixando livre a translação em z para aplicação da carga.

A aplicação da carga foi limitada a 50% da carga de ruptura, admitindo que o painel ficasse no regime elástico-linear dos materiais. As solicitações foram introduzidas no modelo como carga de superfície em cada elemento do topo do painel. Baseado nos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão a tensão aplicada em cada painel foi de 0,7 MPa que equivale a um carregamento de 150 kN. Este valor de tensão foi referente à área bruta, pois a carga foi aplicada na argamassa armada, portando em toda área bruta do painel.

O peso próprio do painel não foi levado em consideração, pois em relação à carga aplicada esse acréscimo seria insignificante, visto que o painel possui aproximadamente 800kg o equivalente a apenas 4% da carga total de ruptura.

Após serem definidos todos os dados necessários para caracterizar o modelo, a próxima etapa foi o processamento de cada modelo. A etapa seguinte foi a de pós-processamento dos modelos, em que foram extraídos os valores desejados de deslocamentos, deformações e tensões, os quais serão apresentados no item a seguir.

6.4 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ELEMENTOS FINITOS

6.4.1 Painel PB01

A malha gerada pelo painel PB01 possui 85.287 nós e 52.105 elementos (Figura 103).

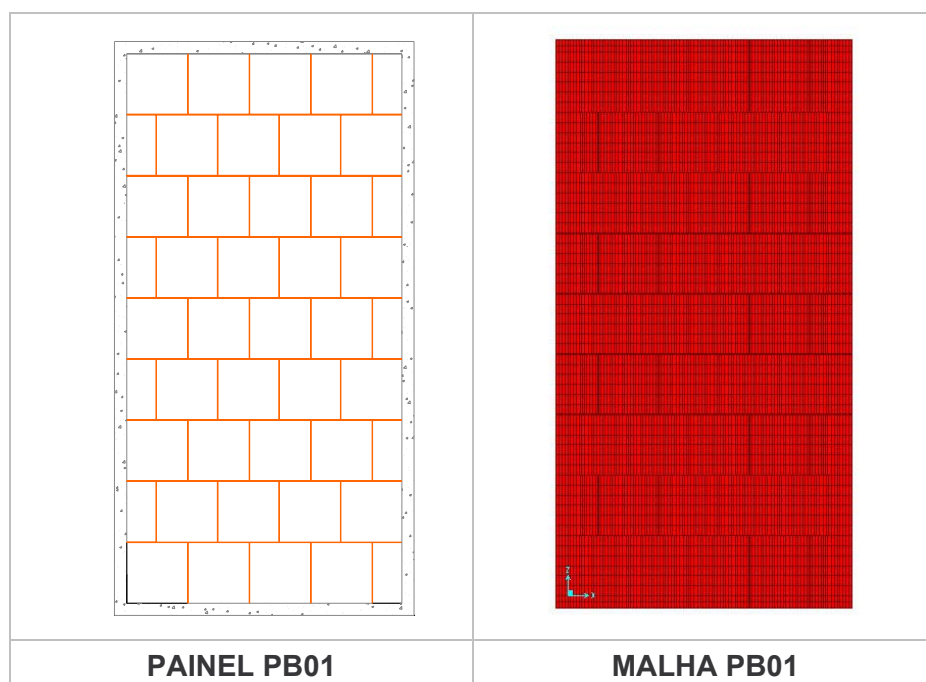


Figura 103 – Geometria e malha do painel B01

Os resultados das análises do painel PB01 serão apresentados nas figuras 104 e 105 a seguir.

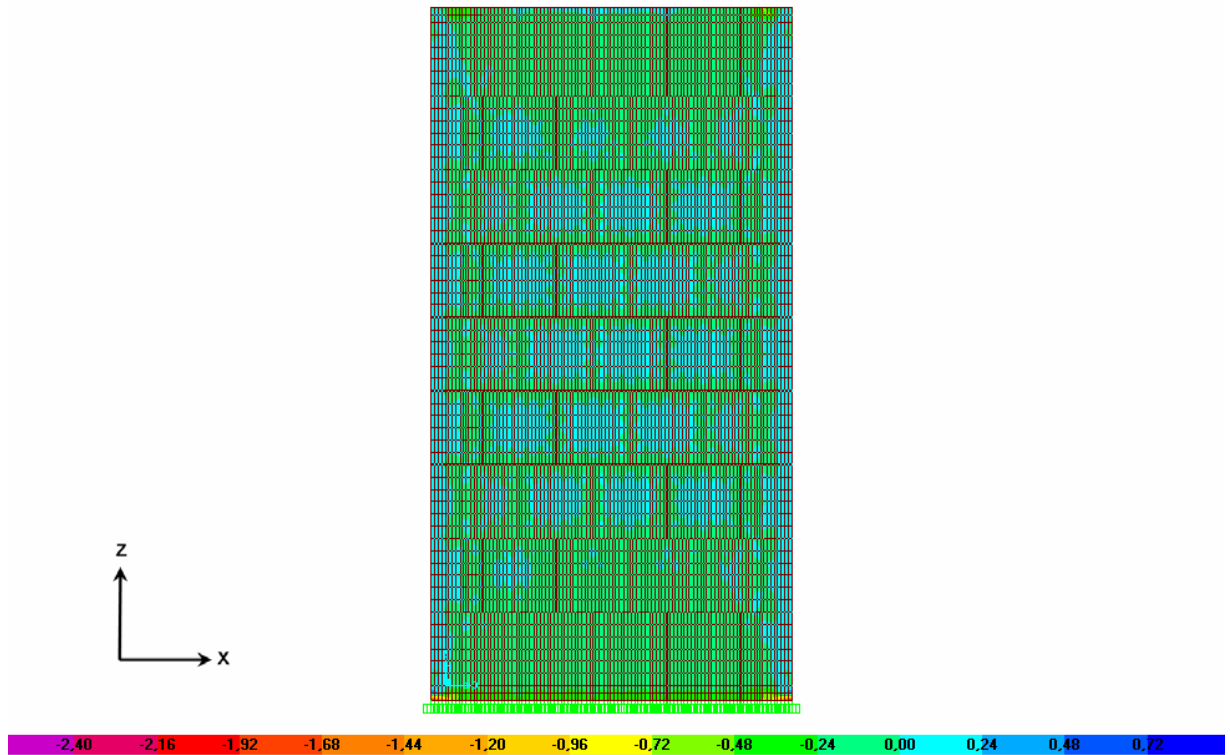


Figura 104 – Distribuição de tensões σ_x ao longo do plano (x, z) do painel PB01 (vista frontal)

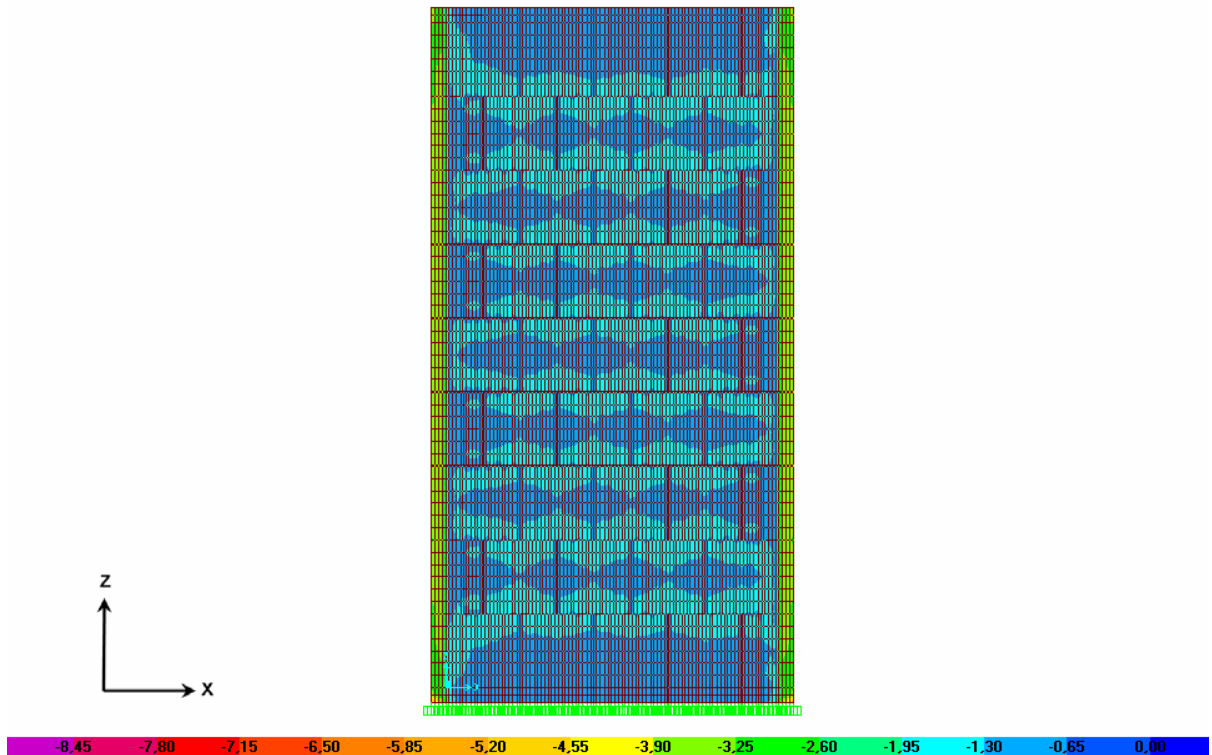


Figura 105 – Distribuição de tensões σ_z ao longo do plano (x, z) do painel PB01 (vista frontal)

Com a finalidade de observar o comportamento do painel PB01 mais detalhadamente, através das análises de níveis de concentração de tensões, estabeleceram-se seções no painel, sendo denominadas neste trabalho como seção A (horizontal) e seção B (vertical) e as duas seções são relacionadas à face externa da parte central da altura e do comprimento do painel respectivamente (Figura 106). Os resultados são apresentados nas Figuras 107, 108 e 109 a seguir.

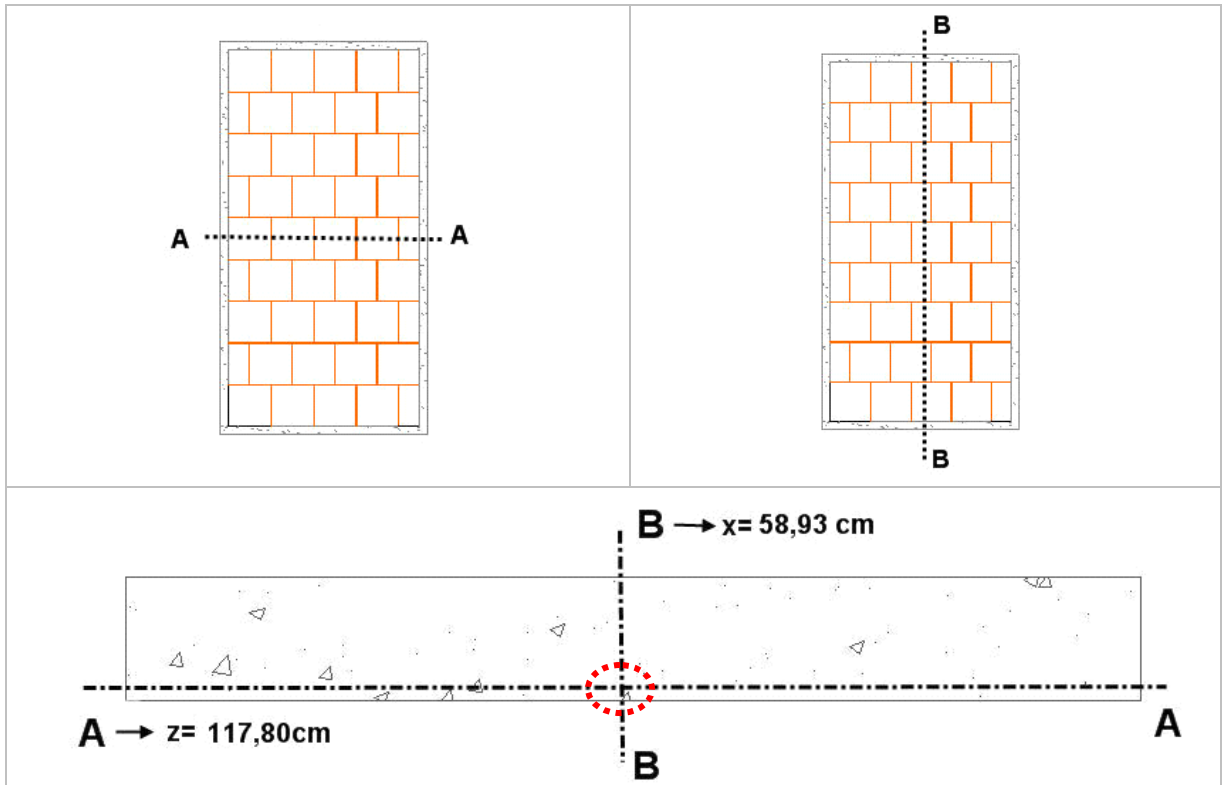


Figura 106 – Vista Frontal e superior das seções A e B.

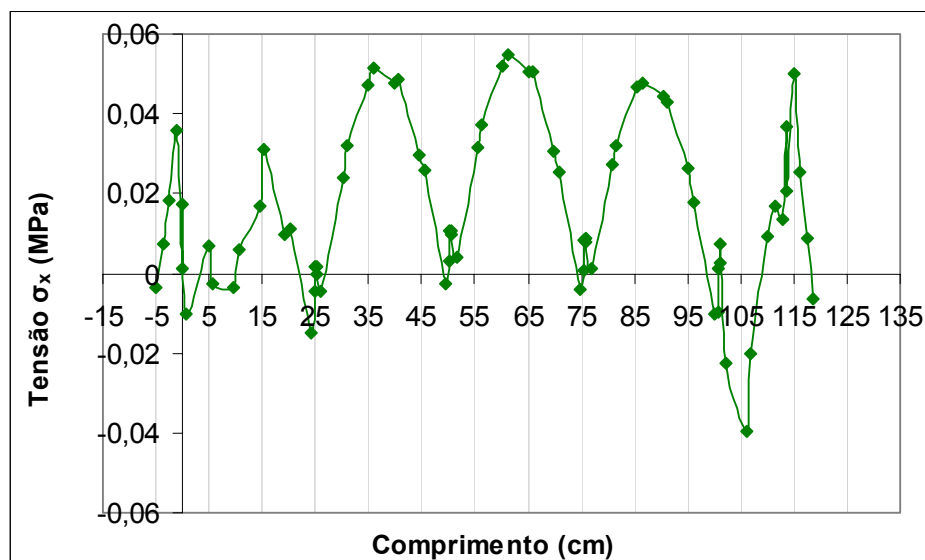


Figura 107 – Distribuição de tensões σ_x ao longo do comprimento do painel PB01 (seção A)

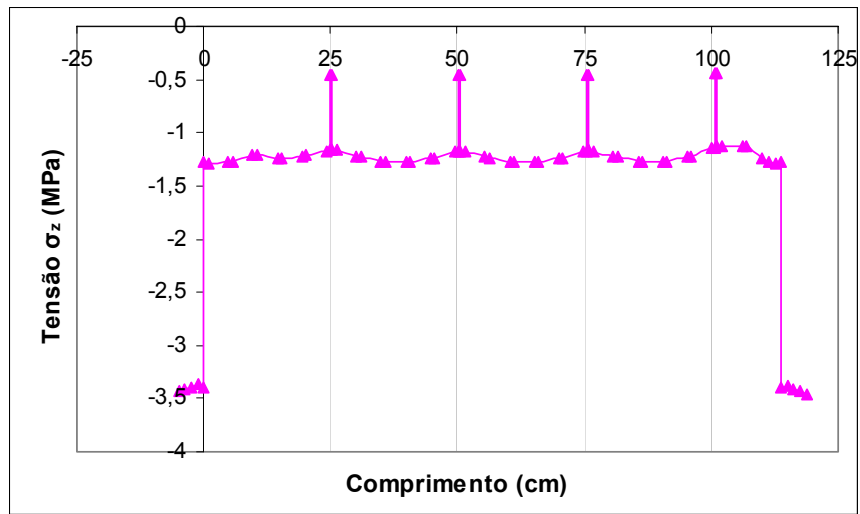


Figura 108 – Distribuição de tensões σ_z ao longo do comprimento do painel PB01 (seção A)

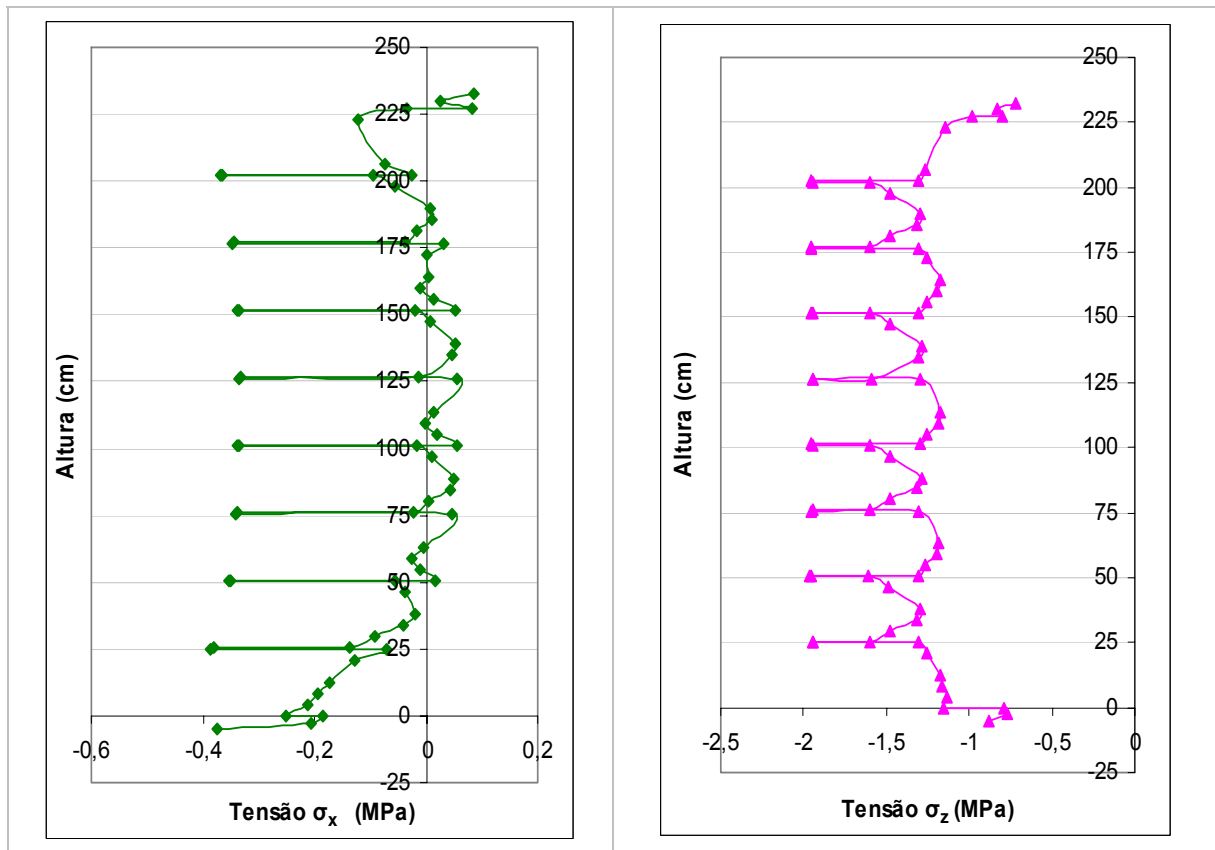


Figura 109 – Distribuição de tensões σ_x e σ_z ao longo da altura do painel PB01 (seção B)

Observa-se na Figura 107 que o meio bloco existente no painel PB01 traz concentrações de tensões a fiada, devido à geometria dos septos ser diferente.

Os picos de tensões existentes nas extremidades do gráfico da distribuição de tensões σ_z ao longo do comprimento (Figura 108), comprovam as diferenças de tensões entre a argamassa armada e a alvenaria. A falta de simetria existente no painel,

por um lado possuir um número maior de meio bloco que o outro, também foi evidenciada na Figura 109, onde ficou acentuada a falta de distribuição das tensões.

6.4.2 Painel PB02

A malha gerada pelo painel PB02 possui 113.808 nós e 83.055 elementos (Figura 110)

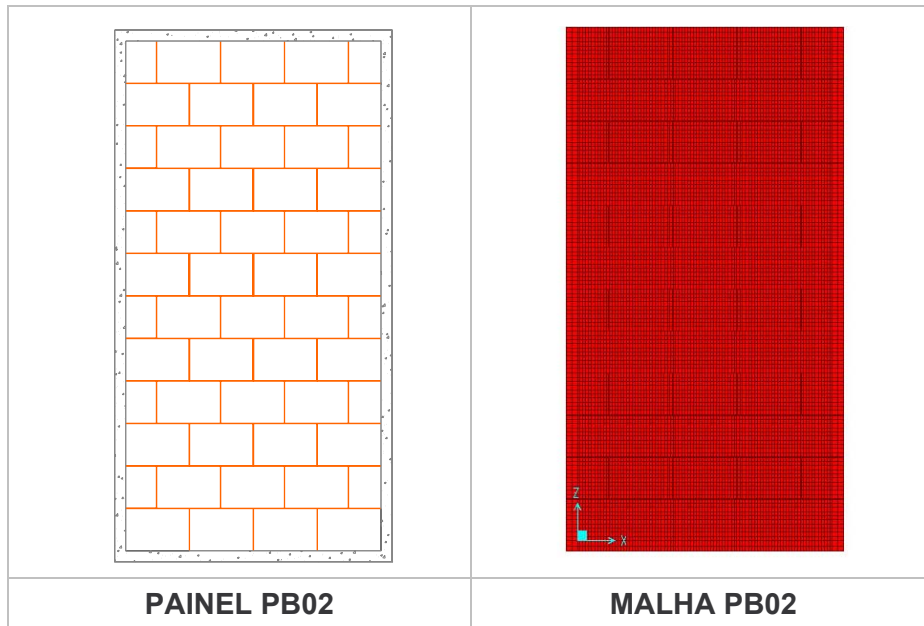


Figura 110 – Geometria e malha do painel PB02

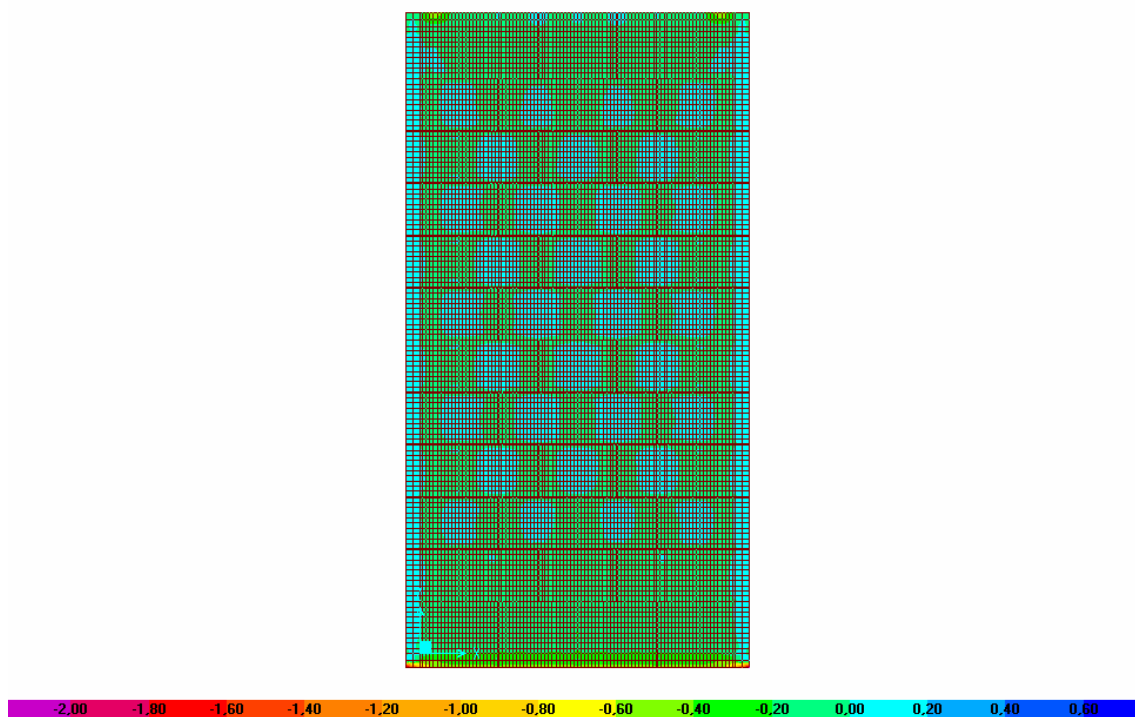


Figura 111 – Distribuição de tensões σ_x ao longo do plano (x, z) do painel PB02 (vista frontal)



Figura 112 – Distribuição de tensões σ_z ao longo do plano (x, z) do painel PB02 (vista frontal)

As dimensões das seções escolhidas no painel PB02 foram praticamente semelhantes as das seções do painel PB01, para que desta maneira possa ser realizada uma comparação coerente entre os dois resultados (Figura 113).

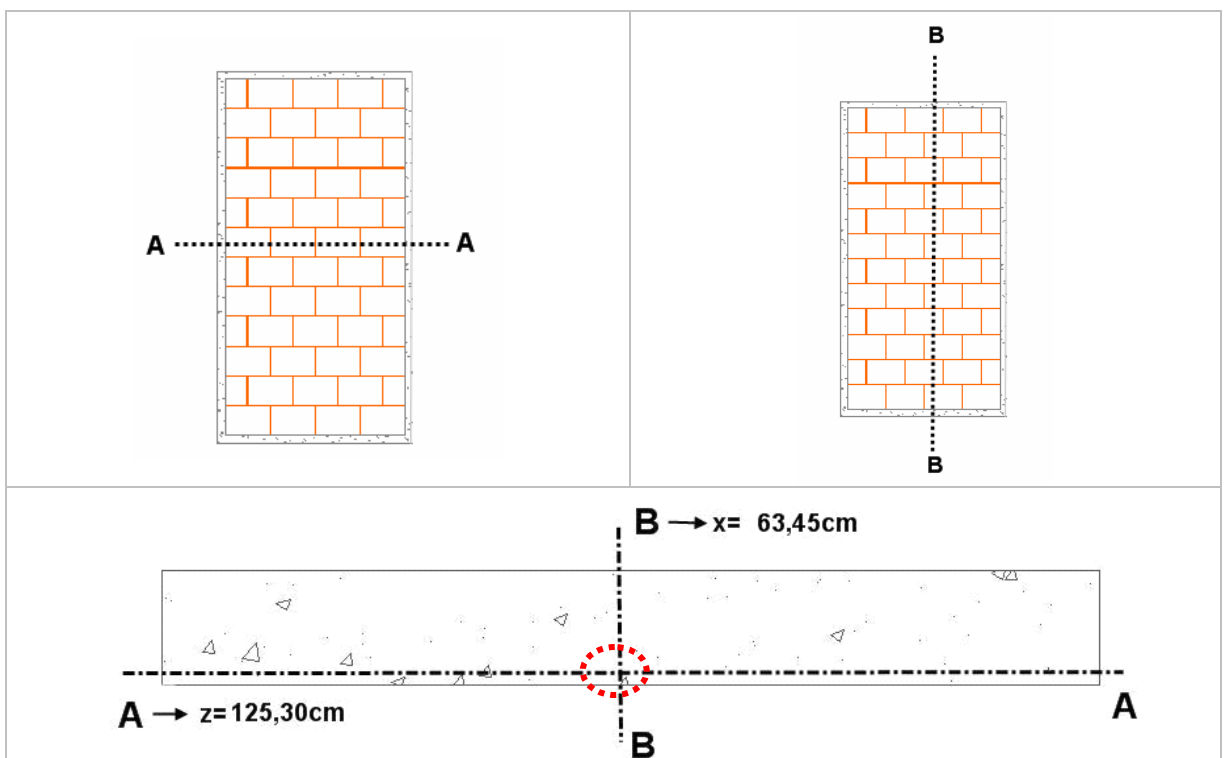


Figura 113 – Vista Frontal e superior das seções A e B.

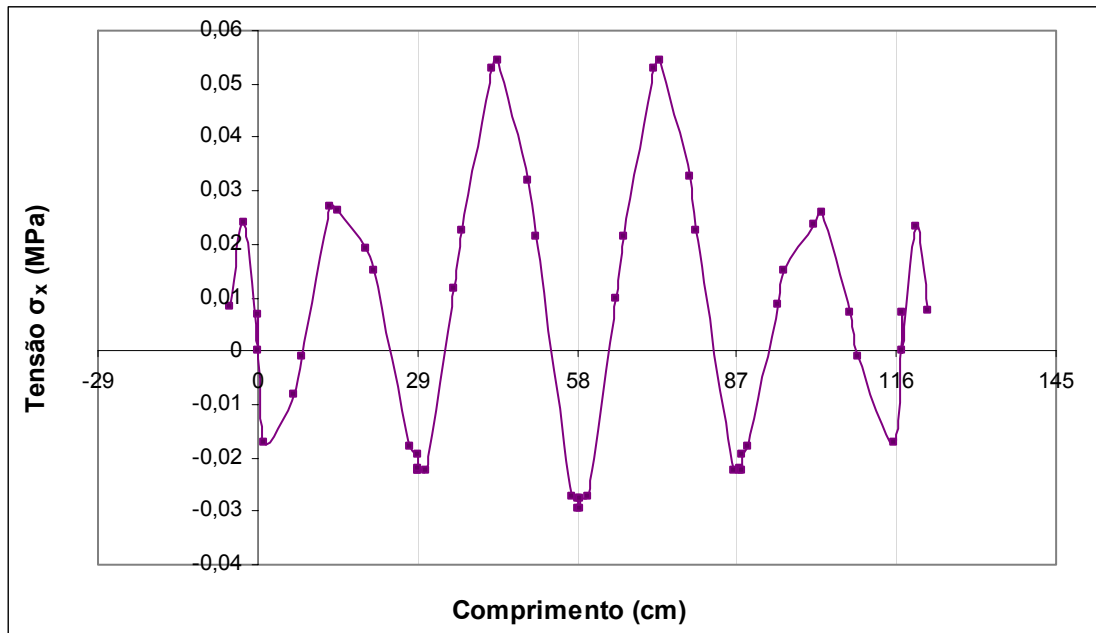


Figura 114 – Distribuição de tensões σ_x ao longo do comprimento do painel PB02 (seção A).

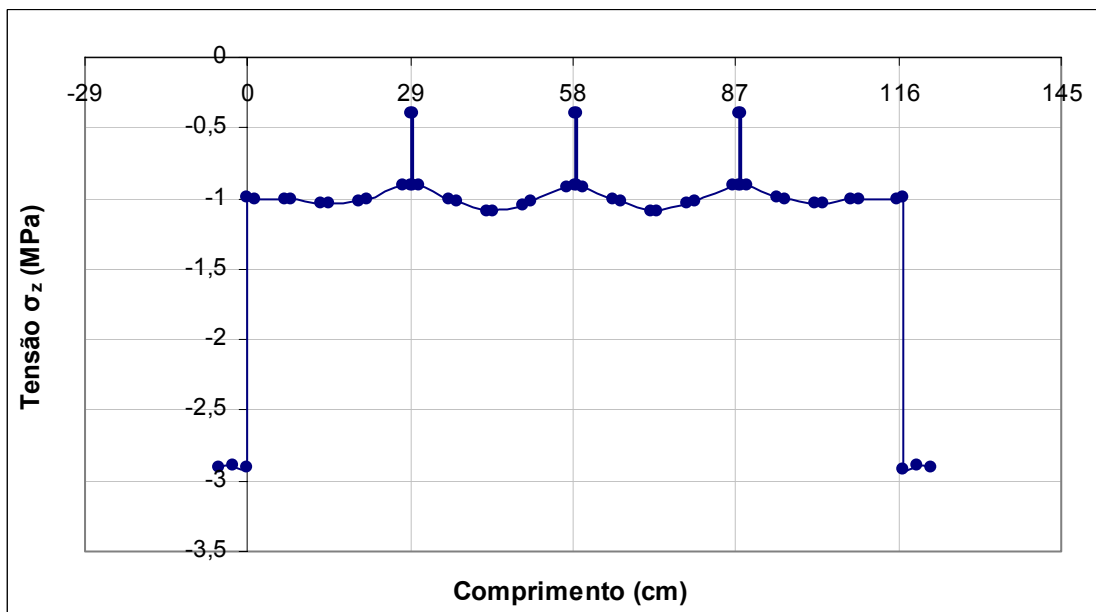


Figura 115 – Distribuição de tensões σ_z ao longo do comprimento do painel PB02 (seção A).

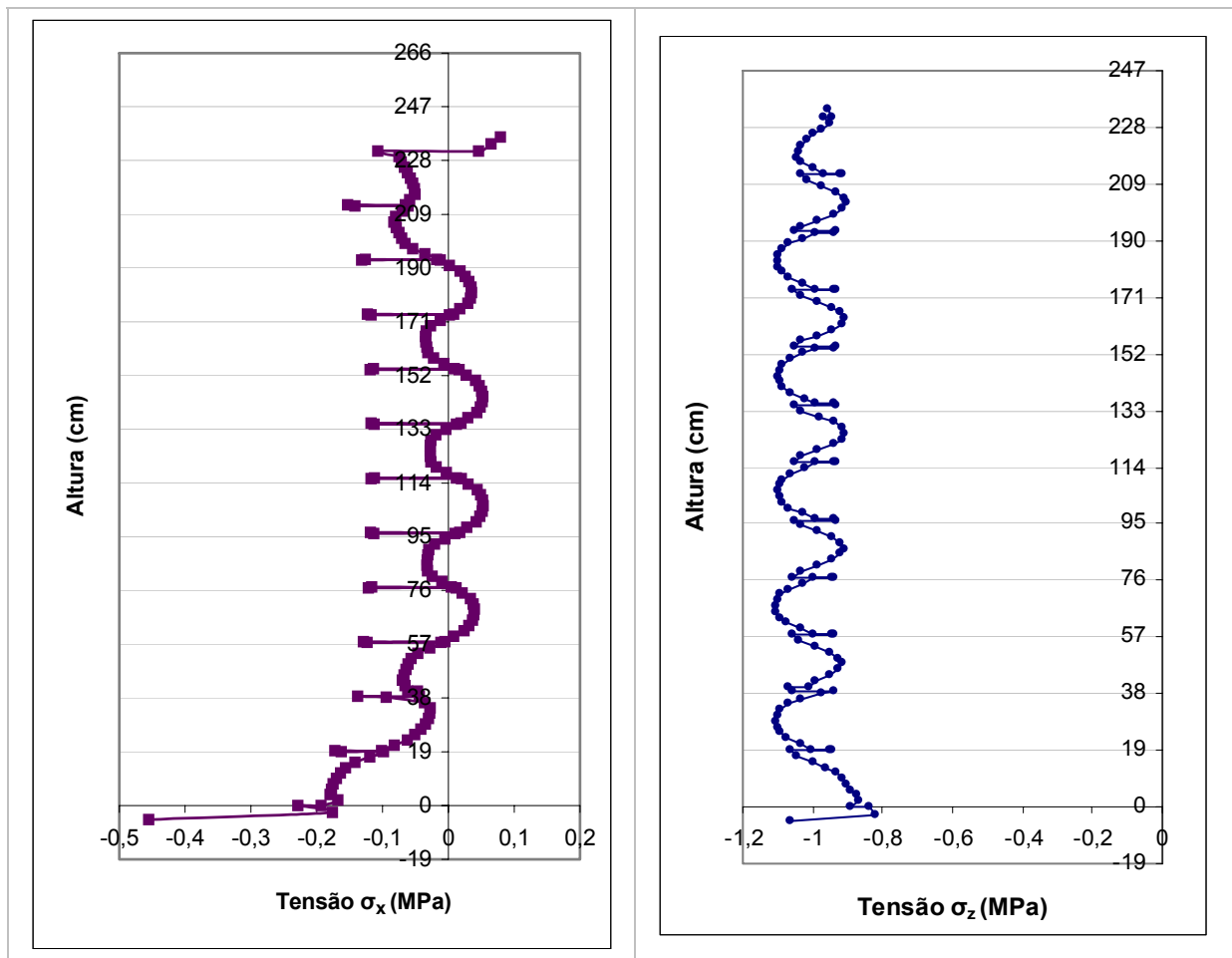


Figura 116 – Distribuição de tensões σ_x e σ_z ao longo da altura do painel PB02 (seção B)

Verifica-se através dos gráficos 114 e 115 que o painel PB02 devido a sua geometria simétrica, apresentou também simetricamente as tensões ao longo da linha analisada.

6.4.3 Comparação entre os dois tipos de painéis

As figuras apresentadas a seguir mostram a comparação dos resultados apresentados pelos dois tipos de painéis e foram realizadas para a melhor compreensão das diferenças apresentadas pela distribuição de tensões σ_x e σ_z em cada seção.

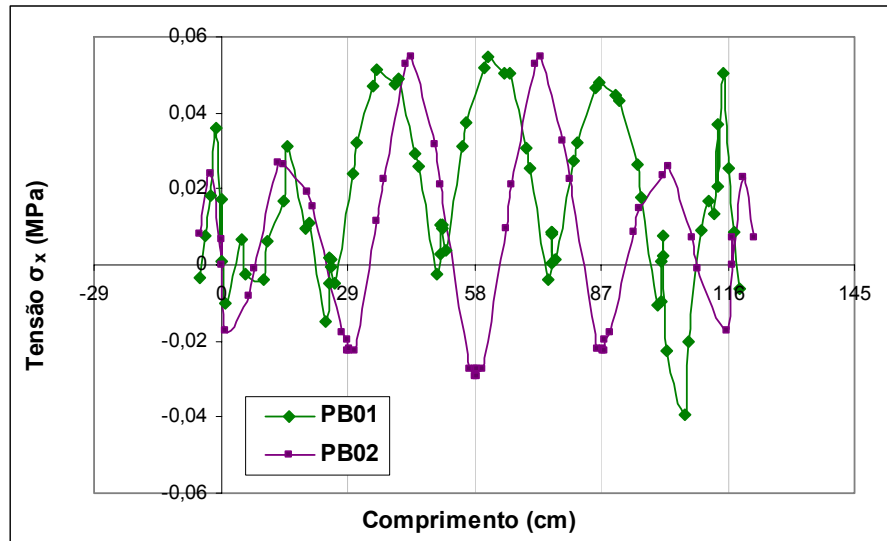


Figura 117 – Comparação entre os painéis PB01 e PB02 ao longo do comprimento (seção A).

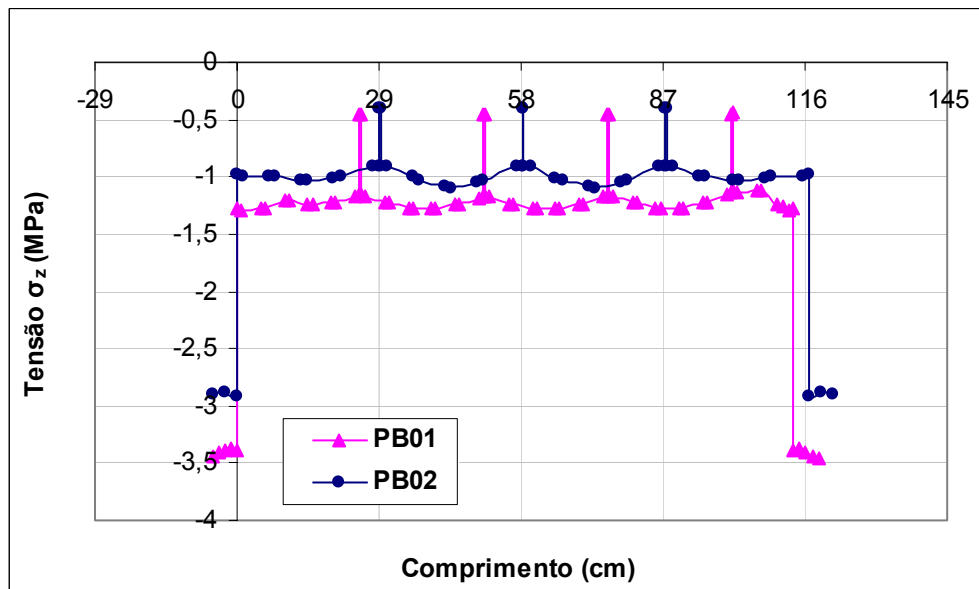


Figura 118 – Comparação entre os painéis PB01 e PB02 ao longo do comprimento (seção A).

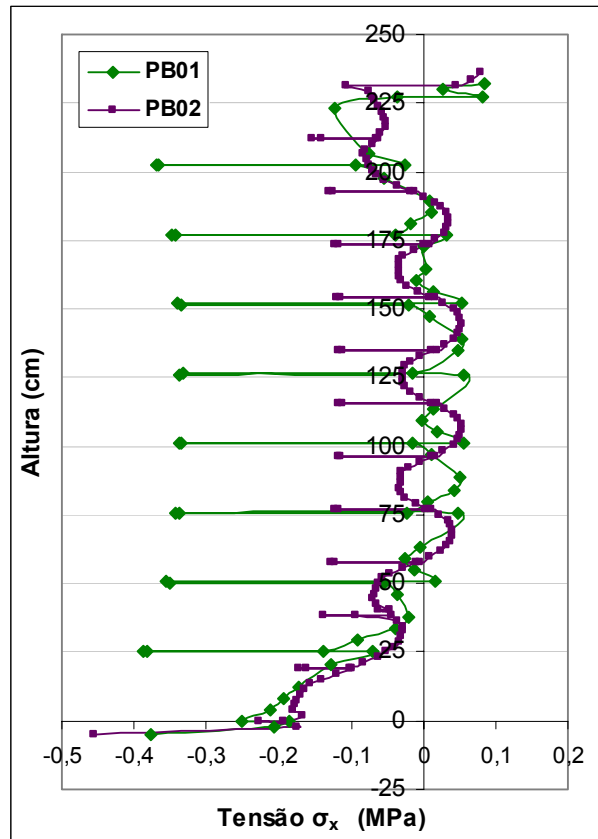


Figura 119 – Comparação entre os painéis PB01 e PB02 ao longo da altura (seção B).

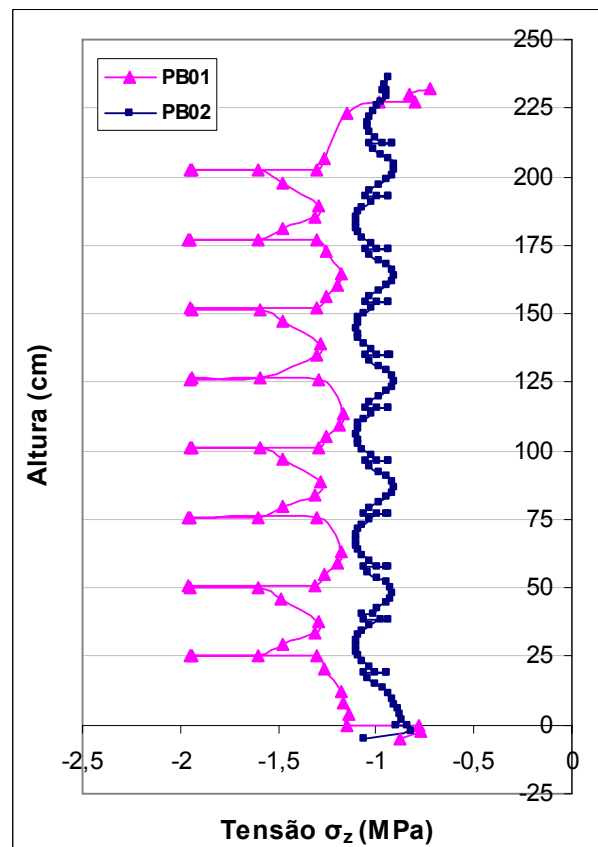


Figura 120 – Comparação entre os painéis PB01 e PB02 ao longo da altura (seção B).

Com relação à comparação apresentada na figura 119, observa-se que as juntas de argamassa polimérica dos painéis foram submetidas a tensões (σ_x) de compressão enquanto que nos blocos surgem tensões (σ_x) de tração, e ocorrem principalmente nas fiadas centrais do painel PB01.

As concentrações de tensões na argamassa do painel PB01 também podem ser observadas na Figura 120 que ilustra as tensões (σ_z) de compressão. Estas concentrações de tensão podem estar associadas à espessura de 3mm de argamassa polimérica, assim como a área de assentamento que é inferior à área de assentamento dos blocos do painel PB02. Apesar desta ser uma visão inicial de comportamento, uma vez que se trata de uma análise linear, a diferença notória na distribuição de tensões entre os dois tipos de painéis demonstra que a espessura dos septos do bloco B01 influenciou na concentração de tensões.

As altas tensões de tração (σ_x) ao longo do comprimento (Seção A) observadas na distribuição de tensões existentes nos dois tipos de painéis (Figura 117), mostram a tendência do rompimento por flambagem da argamassa armada, devido às altas tensões de tração impostas pela alvenaria. A forma de ruptura por flambagem das laterais esquerdas de argamassa armada, observadas em todos os painéis PB01 durante os ensaios de resistência à compressão foram esclarecidas pela análise da distribuição de tensões (σ_x) do painel PB01 (Seção A), onde as tensões de tração (σ_x) existentes nesta extremidade são superiores à extremidade esquerda, e isso deve-se provavelmente a falta de simetria deste tipo de painel, onde o uso de uma quantidade maior de meio bloco nesta extremidade provocou forças excêntricas nesta região.

Destaca-se novamente que embora os blocos B01 e B02 apresentem mesma resistência, a geometria diferente influenciou as tensões que se desenvolveram nos painéis, tanto na magnitude quanto na distribuição.

6.5 CORRELAÇÕES DAS ANÁLISES EXPERIMENTAL E NUMÉRICA

Na tabela 55 estão resumidos os valores médios das deformações específicas numéricas e experimentais referentes aos dois tipos de painéis. As deformações específicas referentes aos transdutores TD01-TD02 e TD02-TD04 foram obtidas pela

divisão entre o deslocamento obtido entre os pontos A e B (Figura 121) do modelo numérico.

Para cada grupo de painéis, foram tomadas as médias das deformações específicas referentes aos transdutores de deslocamento (TD01-TD02) e (TD03-TD04). Os valores foram extraídos até a tensão de 0,7 MPa (tensão aplicada no modelo numérico).

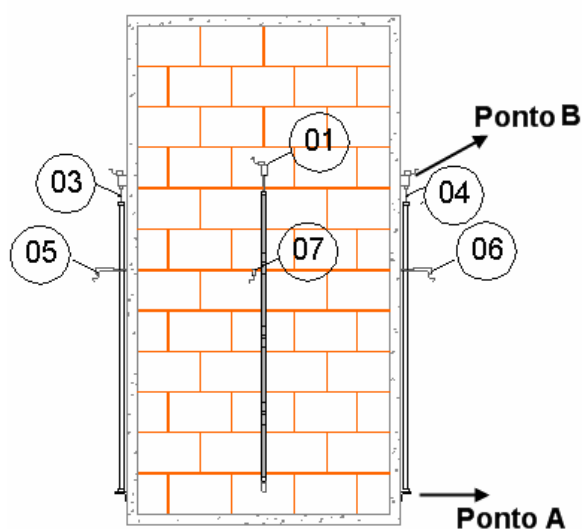


Figura 121 – Localização dos transdutores no painel

Tabela 47 – Comparação entre as deformações específicas numéricas e experimentais

	Força de 150kN			
	Deformação específica (mm/mm)			
	Numérica		Experimental	
	TD01-TD02	TD03-TD04	TD01-TD02	TD03-TD04
Painel PB01	0,000261	0,000246	0,000405	0,000370
Painel PB02	0,000219	0,000210	0,000406	0,000197

A partir da Tabela 47 foram obtidas as relações entre as deformações específicas teóricas e experimentais (Tabela 48).

Tabela 48 – Relação entre as deformações específicas nos modelos numéricos e experimentais

	Relação Numérico/ Experimental	
	TD01-TD02	TD03-TD04
Painel PB01	0,64	0,66
Painel PB02	0,54	1,07

As Figuras 122 a 125 apresentam as curvas tensão x deformação específica obtidas na análise numérica e nos ensaios. Observa-se nos gráficos e através das relações apresentadas na Tabela 47, que a deformação dos modelos de elementos finitos foi inferior aos resultados obtidos experimentalmente, ou seja, mostrou-se um pouco mais rígido do que o experimental, provavelmente devido ao efeito da fissuração que já ocorre para baixos níveis de carga axial aplicada.

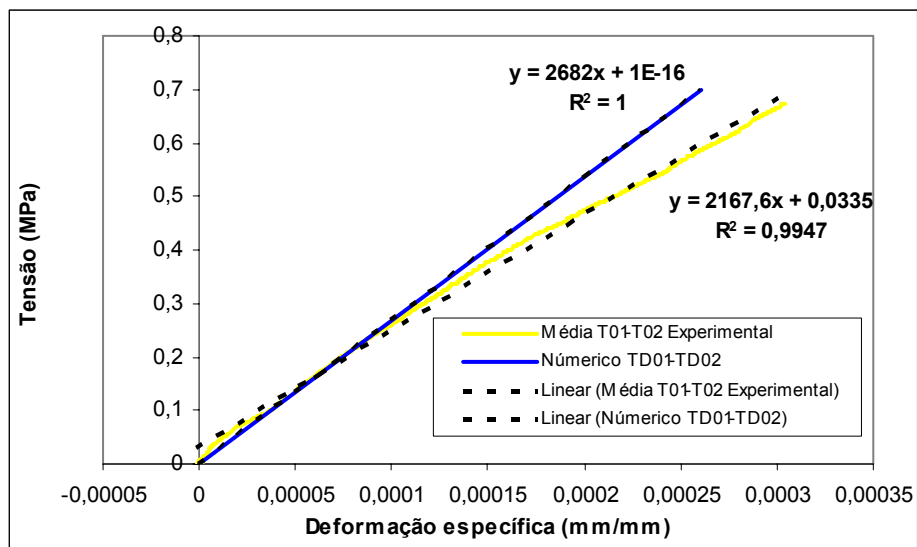


Figura 122 – Gráfico tensão x deformação específica referente aos transdutores TD01 e TD02 do painel PB01-05. Resultados experimentais e numéricos.

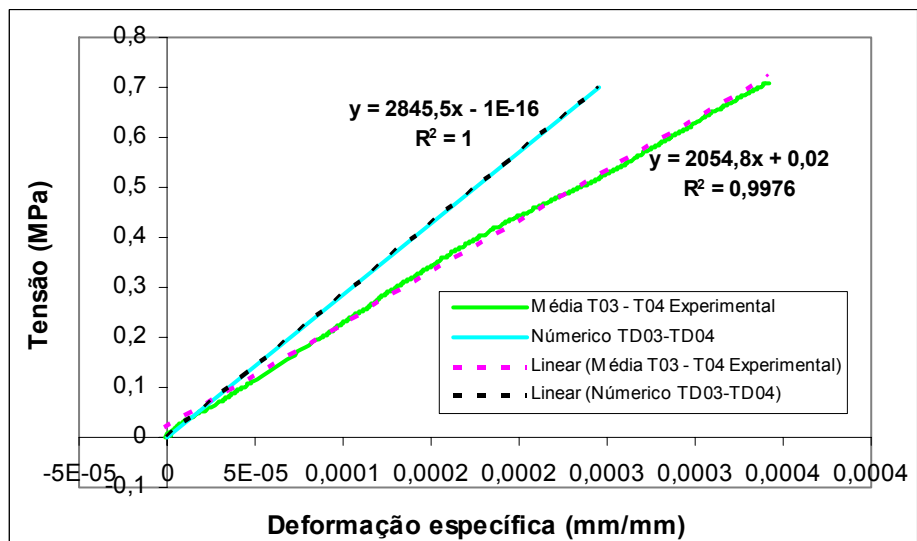


Figura 123 – Gráfico tensão x deformação específica referente aos transdutores TD03 e TD04 do painel PB01-05. Resultados experimentais e numéricos.

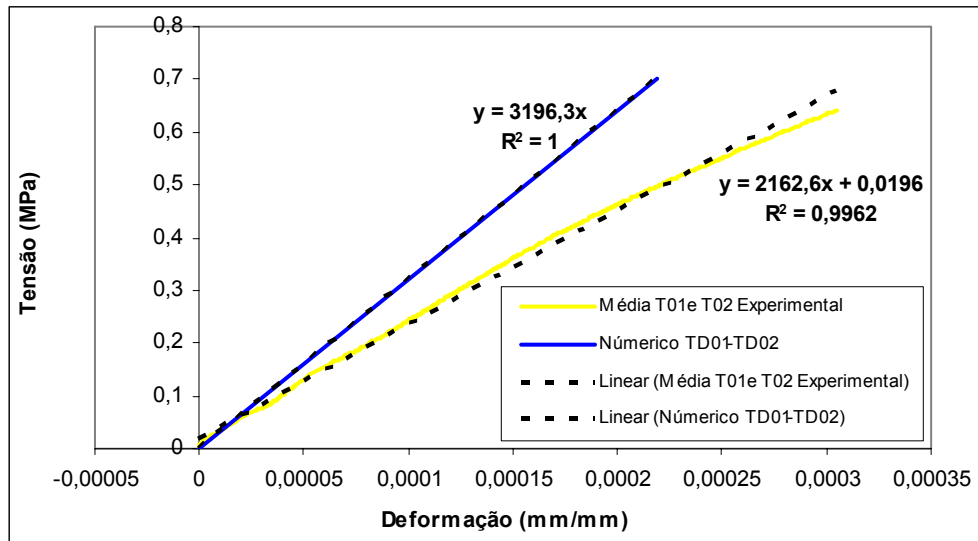


Figura 124 – Gráfico tensão x deformação específica referente aos transdutores TD01 e TD02 do painel PB02-05. Resultados experimentais e numéricos.

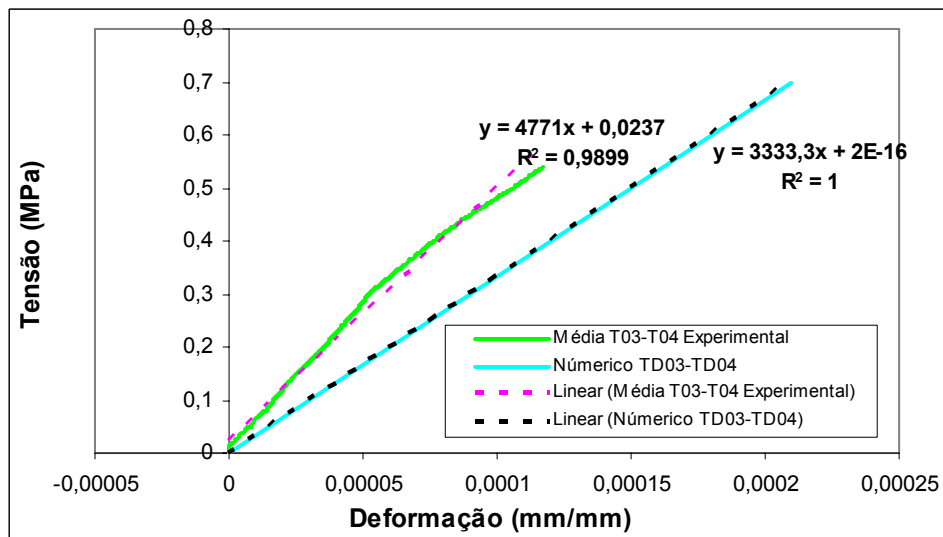


Figura 125 – Gráfico tensão x deformação específica referente aos transdutores TD03 e TD04 do painel PB02-05. Resultados experimentais e numéricos.

7

CONCLUSÕES

Neste capítulo, são feitas considerações sobre os resultados mais significativos obtidos na pesquisa em relação à caracterização dos materiais, parte experimental e análise numérica. Também estão citadas as limitações encontradas na parte experimental e as recomendações que a autora considera importantes para futuras pesquisas nesta área de estudo.

Mitidieri Filho (1998) aponta que “não se pode empregar novas tecnologias, novos processos e sistemas de construção, sem antes ter ensaiado ou avaliado”. Assim, para avaliar o potencial dos painéis pré-fabricados desenvolvidos, foram inicialmente avaliadas as características dos seus componentes.

O estudo sobre o desempenho estrutural dos painéis pré-fabricados incluiu as seguintes etapas:

- Escolha dos materiais a serem utilizados;
- Caracterização de cada material isolado para avaliação das suas propriedades mecânicas;
- Programa experimental para avaliar o comportamento destes painéis à compressão e tração na flexão;
- Apresentação e discussão dos resultados;
- Análise numérica por elementos finitos.

Neste estudo, como os painéis foram concebidos principalmente para resistirem a esforços de compressão, a resistência uniaxial da unidade de alvenaria foi o principal parâmetro a ser analisado.

Devido à dificuldade de se moldarem vários tipos de painéis, ou seja com diferentes tipos de unidades, a opção foi escolher apenas dois tipos de geometrias diferentes de blocos cerâmicos, denominadas no trabalho como B01 e B02. O bloco B01 foi originalmente fabricado para ser usado como elemento de alvenaria de vedação e neste trabalho foi usado com os furos na posição vertical normal à junta de

assentamento para poder ser avaliado como elemento estrutural. O bloco B02 é um bloco cerâmico estrutural com dois furos maiores e pequenos furos para facilitar a queima.

A idéia inicial era utilizar 2 blocos com significativa diferença na resistência à compressão. No entanto, o bloco B01, testado com os furos na vertical, apresentou valor de resistência à compressão na área líquida praticamente igual ao bloco estrutural B02. A área líquida do bloco B01 foi aproximadamente 18% maior que o bloco B02.

Os resultados dos módulos de deformação para os dois tipos de blocos se mostraram relativamente baixos e dispersos com coeficiente de variação em torno de 24%, o que não deixa de ser normal em se tratando de materiais cerâmicos.

Com relação à argamassa de assentamento, a escolha pela utilização da argamassa polimérica foi realizada com base na necessidade de diminuir o tempo de moldagem e de desmoldagem dos painéis, aumentando deste modo a produtividade e incrementando a competitividade do processo.

Através dos ensaios de caracterização da argamassa polimérica concluiu-se que a condição de molhagem das superfícies tem influência na tensão de aderência da argamassa em blocos cerâmicos, pois os resultados dos ensaios de tração em superfícies secas apresentaram melhor desempenho, quando comparados com os blocos imersos em água durante 30 segundos e 1 minuto (valores referentes à mistura 2,9 kg p/ 1 litro de cola). Esta mistura de 2,9 kg (cimento, areia fina e pó de sílica) para 1 litro de cola (PVA) também apresentou os melhores resultados para tensão média de aderência.

Quanto à argamassa armada, por não haver um método de ensaio padronizado, que pudesse ser utilizado para obter a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, foi executada uma fôrma para moldar corpos-de-prova que incorporassem as armaduras as quais são partes constituintes do painel. As dimensões usadas foram 5 x 30 x 15 cm. Os resultados da resistência à compressão destes corpos-de-prova da argamassa em comparação com os moldados em corpos-de-prova cilíndricos de 5X10 foram 25% inferiores. Quanto ao módulo de elasticidade, na comparação entre os dois resultados, o corpo-de-prova cilíndrico de argamassa forneceu um resultado 15% superior ao corpo-de-prova prismático, onde a forma do corpo-de-prova e as armaduras existentes, foram as prováveis causas destas diferenças de resultados.

Nos ensaios realizados com prismas, concluiu-se que tanto para prismas de junta prumo quanto para os prismas de junta amarrada, não ocorreu variação significativa em termos de resistência à compressão.

Entretanto, pode-se retirar destes resultados algumas indicações importantes:

- Os prismas de bloco B01 construídos com junta amarrada apresentaram em seus resultados um decréscimo de aproximadamente 12% na área bruta e líquida. Isto se deve ao fato de que os meio blocos usados na moldagem do prisma tinham resistência inferior aos blocos inteiros, fator que pode ter influência na resistência do prisma à compressão e não permitindo assim conclusões significativas.
- Os prismas de bloco B02 moldados com junta amarrada apresentaram aumento em torno de 15% em relação aos prismas junta prumo. Este aumento mostra que o tipo de assentamento exerce influência na resistência do prisma.

Quanto à moldagem dos painéis, o uso de fôrmas de madeira pode ter prejudicado o controle dimensional dos mesmos, O uso de formas metálicas permite melhor controle das dimensões finais.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos painéis, concluiu-se que os painéis PB02 apresentaram resistência à compressão cerca de 4% maior do que os painéis PB01. Pode-se, neste caso, concluir que a geometria do bloco não teve influência na resistência à compressão do painel. Os painéis com o bloco B01, apresentaram desempenho similar aos painéis B01 mesmo sendo compostos de blocos de vedação com septo na vertical. A causa provável deste incremento de desempenho foi a ação da argamassa armada.

As cargas de fissuração do ensaio de resistência à compressão dos painéis ficaram em torno de 71% da carga de ruptura para os painéis PB01 e 62% para os painéis PB02. A carga mínima que provocou a fissuração da estrutura foi de 117,60 kN para os painéis PB01, enquanto que para os painéis PB02 esse valor foi de 118,43 kN, demonstrando novamente que não houve variação entre os dois tipos de painéis.

Analisando-se os fatores de eficiência obtidos, podem-se tirar as seguintes conclusões: em relação aos blocos os resultados mostram que os fatores de eficiência dos painéis PB01 variam de 0,12 a 0,32, enquanto para os painéis PB02 esta variação fica entre 0,15 e 0,17. Para os painéis moldados com bloco B02 (estrutural) percebe-se

que os valores do fator eficiência diminuem quando comparados com os valores apresentados pelo painel de bloco B01 (vedação). Por outro lado, a dispersão dos ensaios dos painéis moldados com blocos estruturais foi bem menor do que a dispersão dos painéis PB01, feitos com blocos de vedação. A causa provável deste desempenho ligeiramente melhor dos painéis com blocos de vedação é a interação do painel de cerâmica com o contorno de argamassa armada.

Os resultados dos módulos teóricos apresentados indicam que o maior módulo de deformação da alvenaria do painel PB02 se deve ao aumento da carga por ela absorvida se comparado com os painéis com blocos B01. Esta maior parcela de carga absorvida pelo painel PB02 e por decorrência de maiores tensões de confinamento foi evidenciada durante a realização dos ensaios, onde foi comum o aparecimento de fissuras na vertical nos dois tipos de painéis próximo a 75% da carga de ruptura, sendo mais acentuadas em painéis PB02.

Pelos resultados obtidos conclui-se que no caso dos painéis pré-fabricados desenvolvidos, o uso de blocos cerâmicos de vedação com furos na vertical podem produzir resultados similares a blocos estruturais que tenham resistências na área líquida aproximadamente iguais.

Em relação à forma de ruptura, que ocorreu por flexão das laterais de argamassa armada de todos os painéis, recomenda-se o uso de uma junta horizontal de argamassa armada no centro do painel, unindo as duas laterais e funcionando como uma espécie de tirante, conferindo maior rigidez ao conjunto.

Os ensaios de tração na flexão, apesar dos altos coeficientes de variação mostraram-se satisfatórios. A variação dos resultados obtidas nos prismas B01 em comparação com os resultados apresentados para os prismas B02, pode estar relacionada ao fato de que área útil do bloco B01 é inferior ao bloco B02.

A análise linear realizada mostrou-se útil na localização de zonas sujeitas à concentração de tensões, visto que os resultados fornecidos pela análise numérica são consistentes com os experimentais e o comportamento da distribuição das tensões observado experimentalmente pode ser comprovado numericamente. Ou seja, a análise numérica atingiu plenamente os objetivos esperados.

Conclui-se em relação aos resultados obtidos nas análises numéricas que o uso de blocos de geometrias diferentes e paredes dos septos mais delgadas, influencia consideravelmente o comportamento estrutural da alvenaria submetida à compressão. É importante lembrar que na pesquisa foi feita uma análise linear, ou seja, as conclusões extraídas não são definitivas, pois os resultados indicam uma tendência ao comportamento dos painéis analisados.

As conclusões aqui expostas permitem assegurar que o comportamento estrutural dos painéis pré-fabricados desenvolvidos é adequado e suficiente para uso em habitações. Muitos aspectos devem ser investigados e melhorados para garantir o maior entendimento e confirmar as expectativas em relação aos mesmos.

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que possam dar continuidade a esta pesquisa:

- Estudos similares ao aqui apresentado, porém com a variação da espessura da argamassa armada, assim como o uso de blocos cerâmicos tanto estruturais quanto de vedação;
- Estudar mais detalhadamente a influência da junta armada no meio do painel, quando submetidos a esforços de compressão e cisalhamento;
- Determinar o efeito do número de conectores entre os painéis a fim de determinar a resistência ao cisalhamento dos mesmos;
- Estudo da interação painel/laje, assim como o uso de diferentes conectores para esta ligação.
- Análise não-linear, a fim de representar o comportamento da interface bloco com argamassa armada, assim como bloco/argamassa polimérica na ruptura.

8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNESINI, M.V.M; SILVA, L.F.; LIBÓRIO, J.B.L. Controle de Qualidade em Obras de Argamassa Armada. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 35, Brasília, 1993. ANAIS. IBRACON, São Paulo, 1993. v.1. p. 359 – 371.

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

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 530-92: Building Code Requirements for Masonry Structures. Detroit: ACI, 1992.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. ASTM C 67 – 94: Standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile. Philadelphia, 1994.

_____. ASTM C 1006-84: Standard test method for splitting tensile strength of masonry units. Philadelphia, 1984.

_____. ASTM C-1072-00a: Standard test method for measurement of masonry flexural bond strength. 2001.

_____. ASTM E-149-76: Standard test method for bond strength of mortar to masonry units. 1976.

_____. ASTM E 447-84: Compressive strength of prisms. Philadelphia, 1987.

_____. ASTM E – 518-80: Standard test methods for flexural bond strength of masonry. Detroit, Michigan. 1993.

ANDERSON. C. Tensile bond tests with concrete blocks, International Journal of Masonry Construction, vol. 1, n°4, 1981, p. 134-148.

ASSAN, A.E. Método dos elementos finitos : Primeiros Passos. Ed. Unicamp, Campinas, S.P., 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. ABCI: Manual técnico de Alvenaria. São Paulo: ABCI: Projeto, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial, especificação. Rio de Janeiro, 1991. 7 p.

_____. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos de prova prismáticos ou cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

_____. NBR 6136: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural: especificação. Rio de Janeiro, 1994

_____. NBR 6461: Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1993.

_____. NBR 7171: Bloco cerâmico para alvenaria – Especificações. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 7184: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: determinação da resistência à compressão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 7211: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 7215: Determinação da resistência à compressão: cimento Portland. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 7217: Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 7251: Agregados: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. NBR 8043: Bloco cerâmico portante para alvenaria – Determinação da área líquida. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 8215: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural: preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro, 1983

_____. NBR 8522: Concreto: determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984

_____. NBR 8949: Paredes de alvenaria estrutural: ensaio à compressão simples. Rio de Janeiro, 1985.

_____. NBR 11173: Projeto e execução de argamassa armada. Rio de Janeiro, 1989.

_____. NBR 13528: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 14084: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – determinação da resistência de aderência. Rio de Janeiro, 1998.

AZEVEDO, A. Mecânica dos Sólidos. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto. 1996. Digital.

BARROS, M. M. B. Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios. São Paulo, 1996. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BARTH, F.; CARDOSO, A.P. Desenvolvimento de sistemas construtivos em painéis pré-fabricados de blocos cerâmicos: estudo desenvolvimento pelos grupos GDA/LABSISCO da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

BLEY, B.;ANLIKER. PC controlled flexible production of brickwork automation in construction. In: 11th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION (ISARC), 1994. Proceedings...p.111-115.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION . Prefabricated Brick Masonry Panels. Technical notes on brick construction – n° 40. Virginia: BIA, 1987. Aug., 4 p. Disponível em: <<http://www.bia.org/>>. Acesso em: 07 de fev. 2005

_____. Testing for Engineered Brick Masonry – Quality Control. Technical notes on brick construction – n° 39B. Virginia: BIA, 1988. March. Disponível em: <<http://www.bia.org/>>. Acesso em: 20 de jan. 2005.

BRITISH STANDARD INSTITUTION Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry: BS 1200. London, 1976.

_____. British standard specification for clay bricks: BS 3921. London, 1985.

_____. Structural use of unreinforced masonry: BS 5628 : Part 1. BSI, Londres, 1995.

CAMACHO, J. S. Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo. 1995. 157p.

CESAR, C.G.; PARIZOTTO FILHO, S.; CARDOSO, A. P.; ROMAN, H. R.; BARTH, F. Desenvolvimento de um processo construtivo em painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1, Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, 2004, São Paulo (SP). Anais...São Paulo: claCS'04/ENTAC'04.

COLVILLE, J.; WOLDE-TINSAE, A, M. Compressive strength of grouted concrete masonry. In: 9TH INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 1991, Berlim, Alemanha. Proceedings... Berlim. 1991. v. 2, p. 1136-1143.

DAVISON, C.H. Industrialized construction: a commentary. In: INDUSTRIALIZATION in concrete building construction. Detroit, ACI, 1975. p. 1-6. (ACI Publication, SP-48)

DUARTE, R. B. Avaliação de sistemas construtivos industrializados. SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO ÀS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, Artigo técnico. São Paulo, SP. 1981. p. 735-749.

EUROCODE 6. Common unified rules for masonry structures. Commission of the European Communities, Luxemburgo, 1988.

FRANCO, L. S. Desempenho estrutural do elemento parede de alvenaria empregado na alvenaria estrutural não armada, quando submetido a esforços de compressão. São Paulo, 1987. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

_____. Desempenho da alvenaria à compressão. Boletim Técnico da Escola Politécnica de São Paulo, nº 20, 14p., São Paulo, 1988.

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

_____. Parâmetros utilizados nos projetos de alvenaria estrutural. Texto Técnico – Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo. 17p. 1992.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. Déficit habitacional no Brasil. 2. ed. – Belo Horizonte, 2005.

GALLEGOS, H. Albenileria Estructural. Pontifícia Universidad Católica do Peru. Fondo Editorial. Lima 1989.

GARCIA, D.G. Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP, São Carlos, 2000.

GLEIZE, P. J. P. Introdução à ciência e engenharia dos materiais, março 2003. Notas de aula. Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil – UFSC. Digital.

GOMES, N. S. A resistência das paredes de alvenaria. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP. São Paulo. 1983. 190p.

GOMES, I.R. Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface. Tese (Doutorado),

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2001.

GREVEN, H.A. Processos construtivos inovadores para atendimento à demanda habitacional. I Encontro Nacional de Engenheiros e Arquitetos de Instituições Bancárias. Porto Alegre.

HENDRY, A. W. Testing methods for masonry, joints and structural units, Proceedings of the 3rd International Symposium on Wall Structures, CIB/COBPBO, Warsaw, General Report Session 1, June, 1984

_____. Structural brickwork. London, Macmillan Press, 1990.

_____. Masonry Walls: materials and construction. Elsevier. University of Edinburgh, Edinburgh, n.15, p. 323-330, jun. 2001.

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

HOGG, J.; ROBERTS, J.J.; FRIED, A. Prefabricated Brickwork – What lessons can be learnt from other materials and industries. In: INTERNATIONAL MASONRY CONFERENCE, 6., London, 4-6 Nov. 2002. Proceedings... British Masonry Society, p.220-225.

HUGHES, D.M.; ZSEMBERY, S. A method of determining the flexural bond strength of brickwork at right angles to the bed joint. 2th Canadian Masonry Symposium. Proceedings...Ottawa, 1980, p.73-86.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Painéis Cerâmicos Pré-Fabricados “Jet Casa”. Referência técnica 21. 2003. 8p.

KONCZ, Tihamér. New technology spurs market for large panel precast concrete buildings. PCI Journal, Jan./Feb. 1995. p. 30 – 42.

KRECHTING, A. Prefabrication in the brick industry. In: 13th INTERNATIONAL BRICK AND BLOCK MASONRY CONFERENCE, 2004, Proceedings... . Amsterdam.

LA ROVERE, H.L.; SOLIZ, V.H.L. Efeito da altura na resistência de prismas de alvenaria de blocos cerâmicos vazados. In: Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural, Argentina, 1995.

LOURENÇO, P. B. Computational Strategies for Masonry Structures. Tese de Doutorado, Delft University of Technology, Netherlands, 1996.

MASSETTO, L. T. Estudo da resistência à compressão de alvenarias de vedação de componentes comercializados em São Paulo. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2001. 181p.

MAUREMBRECHER, A.H. P. Use of the prism test to determine compressive strength of masonry – proceedings of North America Masonry Conference, Boulder, CO, August 1978.

MEDEIROS, J.S., SABBATINI, F.H. Aderência bloco / argamassa: determinação da resistência à flexão de prismas. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, Proceedings. Florianópolis, SC: 1994. 694p. p.270-277.

MENDES, R. J. K. Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais. 1998. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

MITIDIARI FILHO, C.V. Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: Proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural, Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. USP. São Paulo. 1998.

MONK, C.B.JR. A historical survey and analysis of the compressive strength of brick masonry. Research Report n. 12, Geneva: Structural Clay Products Research Foundation, 1967.

MÚLLER, M. S. K. Estudo das correlações entre resistências à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. USP. São Paulo. 1989. 246 p.

NASCIMENTO NETO, J.A. Estudo de painéis com abertura constituídos por alvenaria estrutural de blocos. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP. 2003. 319 p.

OLIVEIRA, S.M. Avaliação dos blocos e tijolos cerâmicos do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis. 1993.

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

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

PAGE, A. W.; SHRIVE N. G. A critical assessment of compression tests for hollow block masonry. Masonry International Journal, 1988, v.2, nº 2. p. 64-70.

PARIZOTTO FILHO, S. Análise arquitetônica e construtiva de tipos habitacionais edificados com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, 2004. 110p.

PRUDÊNCIO, L. R. Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre. 1986. 123 p.

RAMALHO, M.; CORRÊA, M.R.S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. Editora Pini, 2003.174p.

RAMAMURTHY, K.; GANESAN, T.P. Behaviour of concrete hollow block masonry prism under axial compression. ASCE Journal of Structural Engineering, 1992, v.112, p. 605-613.

REVEL, M. La prefabricacion en la construccion. Bilbao: Urmo, 1973.

ROMAGNA, R.H. Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis. 2000.

ROMAN, H. R. Out-of-plane shear behavior of brickwork joints subjected to non-uniform compressive stress – Thesis submitted to the University of Sheffield for the degree of Doctor of Philosophy. October, 1989;

_____. Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural. In: III SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1991, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC. 1991. p. 101 – 108.

_____. Pesquisa e desenvolvimento de processos construtivos industrializados em cerâmica estrutural. Projeto FINEP.UFSC, 2000.

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

ROMAN, H.R.; SIGNOR, R.; RAMOS, A.S. ;MOHAMAD, G. Análise de alvenaria estrutural. Curso Internet preparado para funcionários da Caixa Econômica Federal. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SABBATINI, F. H. O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária. 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia. São Paulo, 1989. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SÁNCHEZ, C.A.A. Estudo de impacto usando elementos finitos e análise não linear. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, 2001. 143p. Universidade de São Paulo – USP. Tese de doutorado

SANTOS, F. A. Efeito do não preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001. 154p.

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

SCHNEIDER R.R.; DICKEY W.L. Reinforced masonry – design. Prentice-Hall, Inc., 1ª edição, 1980.

SHALIN, S. Structural Masonry. USA: Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1971.

SINHA, B.P. Development and potential of structural masonry. In: Seminário sobre paredes de alvenaria, P.B. Lourenço e H. Souza (Editores), Porto, Portugal, 2002.206p. 1-16

SINHA, B.P.; HENDRY, A.W. Structural testing of brickwork in a disused quarry. In: Proceedings Inst. Civil Engineers, part 1, 1976, pp 153-162.

SOLÓRZANO, M. G. P. Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto. 1994. 203p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politècnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUZA, Roberto de. Avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, divisão de edificações do IPT, 1988. p. 529 – 532.

SUTHERLAND, R.J.M. Brick and block masonry in engineering. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, 70. (pt. I) :, Feb. 1981. p. 31-63

TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR THE TESTING AND USE OF CONSTRUCTION MATERIALS – RILEM. Determination of the flexural bond strength of masonry (based on ASTM E 518 – 74). MR8. 1982.

TESTA, C. The industrialization of building. s.l., Van Nostrand, 1972.

APÊNDICE 1

Tabela A1 – Caracterização física dos blocos B01

TIPO DE BLOCO	CP N°	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPRIM. (mm)	DESVIO DE FLECHA (mm)	DESVIO DE ESQUADRO (mm)
BLOCO TIPO 1	1	150,40	247,25	248,90	1,40	1,00
	2	150,00	245,70	249,65	1,80	2,45
	3	150,70	248,35	251,90	1,65	2,70
	4	149,30	246,50	248,90	1,45	1,85
	5	150,00	247,70	250,00	1,00	1,10
	6	150,10	248,00	250,50	0,75	2,70
	7	150,95	246,95	251,00	2,00	2,15
	8	150,60	246,50	250,90	1,70	2,00
	9	150,00	247,15	250,50	1,90	2,10
	10	149,40	245,00	249,00	1,60	2,50
	11	150,75	247,90	251,30	1,20	1,50
	12	150,10	248,15	250,80	1,15	1,50
	13	150,00	246,00	249,80	1,90	1,55
	14	151,20	248,30	252,20	1,10	2,70
	15	150,45	247,70	251,75	2,05	2,65
	16	150,60	248,25	251,30	1,15	2,35
	17	150,15	249,10	251,50	1,90	2,00
	18	150,00	247,80	250,45	1,35	1,90
	19	149,60	246,20	250,20	1,85	1,95
	20	149,40	246,35	250,00	1,60	0,85
	21	149,65	245,90	249,65	1,20	1,85
	22	151,00	247,45	251,00	1,15	2,05
	23	150,35	248,00	251,50	2,30	2,15
	24	150,00	247,00	250,90	2,15	2,35
	Média	150,20	247,22	250,57	1,55	2,00
	D.P.	0,52	1,02	0,94	0,41	0,53
	C.V. (%)	0,35	0,41	0,38	26,41	26,72

	Dimensão Total (m)	Dimensão Unitária (cm)
LARGURA	3,64	15,17
ALTURA	5,96	24,83
COMPRIMENTO	6,12	25,50

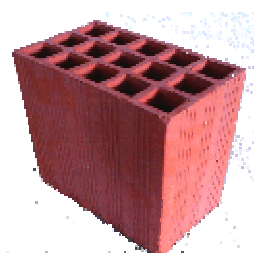


Tabela A2 – Caracterização física dos blocos B02

TIPO DE BLOCO	CP N°	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPRIM. (mm)	DESVIO DE FLECHA (mm)	DESVIO DE ESQUADRO (mm)
BLOCO TIPO 2	1	141,10	190,50	291,20	1,50	2,40
	2	140,90	190,05	291,35	2,00	2,20
	3	141,15	190,20	291,95	1,60	2,50
	4	140,95	190,00	291,30	1,55	2,50
	5	141,30	189,45	291,50	2,15	2,05
	6	141,35	189,60	291,10	1,40	2,35
	7	141,00	190,25	290,00	1,45	2,10
	8	140,95	189,60	290,65	1,75	1,60
	9	139,10	191,15	290,90	2,20	1,95
	10	141,35	190,60	290,95	1,30	2,20
	11	140,35	189,80	291,00	1,00	1,80
	12	140,60	190,45	291,15	1,70	3,00
	13	140,70	190,50	290,50	1,05	2,50
	14	140,60	190,35	290,90	1,50	2,05
	15	139,65	191,40	291,10	0,60	2,30
	16	140,90	191,15	290,60	1,35	2,30
	17	141,10	190,50	291,50	2,10	1,60
	18	140,80	189,30	290,70	2,00	2,00
	19	141,00	189,50	290,35	1,30	1,50
	20	140,15	190,70	291,95	0,90	1,55
	21	141,85	190,40	290,80	2,15	2,20
	22	141,40	189,95	290,60	1,40	1,75
	23	141,20	190,25	290,80	0,85	2,40
	24	141,20	189,95	290,50	1,75	1,50
	Média	140,86	190,23	290,97	1,52	2,10
	D.P.	0,59	0,55	0,47	0,44	0,39
	C.V. (%)	0,42	0,29	0,16	29,14	18,38

	Dimensão Total (m)	Dimensão Unitária (cm)
LARGURA	3,40	14,17
ALTURA	4,58	19,08
COMPRIMENTO	7,06	29,42

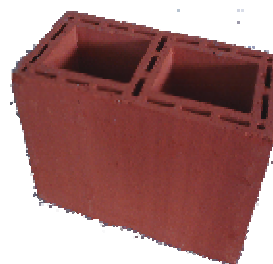


Tabela A3 – Caracterização física dos blocos MB01

TIPO DE BLOCO	CP N°	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPRIM. (mm)	DESVIO DE FLECHA (mm)	DESVIO DE ESQUADRO (mm)
MEIO BLOCO TIPO 1	1	147,40	248,00	119,40	0,00	2,20
	2	147,10	248,00	120,00	0,00	1,55
	3	147,10	248,35	120,50	0,00	2,00
	4	146,85	247,55	118,30	1,10	1,40
	5	147,60	248,80	120,90	0,00	2,20
	6	146,60	248,20	121,00	0,00	2,20
	7	146,60	247,30	119,20	1,20	2,10
	8	147,35	247,7 5	118,40	0,75	1,80
	9	148,00	247,95	119,50	0,75	1,65
	10	147,00	246,85	119,30	1,20	1,75
	11	146,25	249,00	119,45	0,00	2,20
	12	147,05	248,20	119,65	0,00	2,00
	13	146,70	247,10	120,30	0,65	2,20
	14	146,95	248,95	121,05	0,60	2,60
	15	148,20	247,85	119,80	0,90	1,95
	16	147,90	247,40	119,55	0,60	2,20
	17	147,45	248,20	120,00	1,10	1,55
	18	147,10	247,20	120,25	0,00	2,10
	19	147,65	247,40	118,95	1,00	2,00
	20	147,40	247,80	119,50	0,00	1,60
	21	146,80	248,60	120,15	0,40	2,30
	22	146,90	246,65	118,85	1,10	1,40
	23	148,20	248,10	119,25	1,00	1,75
	24	147,70	247,30	119,65	0,00	2,20
	Média	147,24	247,86	119,70	1,00	1,95
	D.P.	0,52	0,65	0,74	0,48	0,31
	C.V. (%)	0,35	0,26	0,61	48,42	16,09

	Dimensão Total (m)	Dimensão Unitária (cm)
ALTURA	5,88	24,50
COMPRIMENTO	6,05	25,21
LARGURA	3,58	14,92

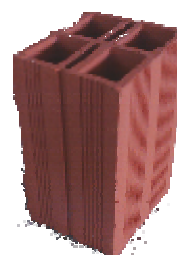


Tabela A4 – Caracterização física dos blocos MB02

TIPO DE BLOCO	CP N°	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPRIM. (mm)	DESVIO DE FLECHA (mm)	DESVIO DE ESQUADRO (mm)
MEIO BLOCO TIPO 2	1	141,00	190,80	141,60	0,20	0,15
	2	140,00	190,10	141,00	1,05	1,60
	3	140,50	190,70	139,10	1,35	2,00
	4	140,20	191,10	141,00	0,15	1,45
	5	140,30	191,30	139,60	1,85	1,00
	6	140,10	191,50	140,50	0,85	1,10
	7	140,70	191,00	139,90	0,20	1,50
	8	140,40	189,70	140,00	0,80	1,55
	9	140,50	191,00	138,80	1,15	0,20
	10	140,60	191,00	140,60	0,00	0,10
	11	141,60	191,00	142,00	0,00	1,60
	12	140,20	191,00	140,10	0,75	1,00
	13	140,20	189,20	140,00	1,00	0,00
	14	141,10	190,80	142,20	1,00	1,50
	15	140,60	190,70	140,20	0,95	0,30
	16	139,80	188,20	140,60	0,75	1,60
	17	140,80	191,00	141,10	0,50	1,30
	18	141,30	190,80	139,00	1,45	1,20
	19	140,90	189,80	141,70	0,00	1,60
	20	140,40	191,10	140,00	1,55	1,20
	21	141,00	191,00	141,30	1,00	1,20
	22	141,50	190,50	140,70	0,50	0,30
	23	139,90	190,20	140,30	0,50	1,75
	24	140,80	191,60	140,00	1,05	0,00
Média		140,60	190,63	140,47	0,78	1,05
D.P.		0,49	0,77	0,91	0,52	0,64
C.V. (%)		0,35	0,40	0,65	66,48	60,63

	Dimensão Total (m)	Dimensão Unitária (cm)
LARGURA	3,39	14,13
ALTURA	4,59	19,13
COMPRIMENTO	3,40	14,17



Tabela A5 – Ensaio de taxa de absorção do bloco B01

BLOCO CERÂMICO TIPO B01	CP N°	Peso Saturado (kg)	Peso Seco (kg)	Absorção da água (%)
	1	7,00	5,76	21,53
	2	6,94	5,75	20,80
	3	6,88	5,77	19,24
	4	6,97	5,79	20,29
	5	6,95	5,75	20,78
	6	6,95	5,74	21,10
	7	6,93	5,76	20,42
	8	6,98	5,80	20,45
	9	7,02	5,81	20,74
	10	6,99	5,73	21,90
	Média	6,96	5,76	20,72
	D. Padrão	0,04	0,03	0,73
C.V.(%)	0,56	0,46	3,51	

Tabela A6 – Ensaio de taxa de absorção do bloco B02

BLOCO CERÂMICO TIPO B02	CP N°	Peso Saturado (kg)	Peso Seco (kg)	Absorção da água (%)
	1	6,48	5,34	21,46
	2	6,49	5,33	21,76
	3	6,50	5,34	21,74
	4	6,47	5,34	21,27
	5	6,51	5,35	21,70
	6	6,47	5,30	22,08
	7	6,45	5,35	20,56
	8	6,51	5,33	22,05
	9	6,48	5,34	21,37
	10	6,50	5,32	22,20
	Média	6,48	5,33	21,62
	D. Padrão	0,02	0,01	0,48
C.V.(%)	0,27	0,27	2,23	

Tabela A7 – Ensaio de taxa de absorção do bloco MB01

BLOCO CERÂMICO TIPO MB01	CP N°	Peso Saturado (kg)	Peso Seco (kg)	Absorção da água (%)
	1	2,99	2,48	20,81
	2	2,96	2,49	19,11
	3	3,02	2,49	21,08
	4	3,00	2,46	22,00
	5	2,98	2,50	19,24
	6	3,00	2,48	20,97
	7	2,99	2,48	20,61
	8	3,03	2,47	22,72
	9	2,96	2,46	20,12
	10	3,00	2,45	22,24
	Média	2,99	2,47	20,89
	D. Padrão	0,02	0,02	1,20
C.V.(%)	0,74	0,61	5,75	

Tabela A8 – Ensaio de taxa de absorção do bloco MB02

BLOCO CERÂMICO MB02	CP N°	Peso Saturado (kg)	Peso Seco (kg)	Absorção da água (%)
	1	3,07	2,62	17,21
	2	3,09	2,61	18,62
	3	3,07	2,59	18,53
	4	3,11	2,61	19,39
	5	3,08	2,61	18,04
	6	3,10	2,62	18,13
	7	3,04	2,62	16,25
	8	3,03	2,60	16,76
	9	3,09	2,62	17,97
	10	3,10	2,60	19,46
	Média	3,08	2,61	18,04
	D. Padrão	0,03	0,01	1,05
C.V.(%)	0,84	0,39	5,83	

Tabela A9 – Ensaio de taxa de sucção inicial do bloco B01

Bloco Tipo B01 – Taxa de Sucção Inicial (IRA)					
CP N°	Peso Seco (kg)	Peso do bloco imerso na água em 1 min (kg)	Área Líquida (cm ²)	Área Líquida (m ²)	Taxa de Sucção Inicial (kg/m ² .min)
1	5,78	5,80	136,49	0,0136	1,10
2	5,76	5,78	133,21	0,0133	1,50
3	5,83	5,84	132,32	0,0132	1,13
4	5,83	5,84	134,63	0,0135	0,74
5	5,79	5,80	134,46	0,0134	0,74
6	5,81	5,83	134,69	0,0135	1,48
7	5,76	5,77	132,65	0,0133	1,13
8	5,77	5,79	134,82	0,0135	1,48
9	5,75	5,77	135,56	0,0136	1,48
10	5,78	5,79	133,16	0,0133	1,13
Média	5,78	5,80	134,20	0,013	1,19
D.P.	0,03	0,03	1,33	0,00	0,29
C.V. (%)	0,49	0,46	0,99	0,99	24,53

Tabela A10 – Ensaio de taxa de sucção inicial do bloco B02

Bloco Tipo B02 -Taxa de Sucção Inicial (IRA)				
CP N°	Peso Seco (kg)	Peso do bloco imerso na água em 1 min (kg)	Área Líquida (m ²)	Taxa de Sucção Inicial (kg/m ² .min)
1	5,32	5,34	0,0164	1,52
2	5,36	5,38	0,0164	1,22
3	5,32	5,34	0,0165	1,52
4	5,35	5,37	0,0164	1,53
5	5,34	5,36	0,0164	1,52
6	5,33	5,36	0,0163	1,53
7	5,35	5,37	0,0165	1,21
8	5,35	5,38	0,0165	1,52
9	5,35	5,37	0,0165	1,21
10	5,36	5,39	0,0165	1,82
Média	5,34	5,36	0,0164	1,46
D.P.	0,02	0,02	0,0001	0,19
C.V. (%)	0,30	0,29	0,3885	13,25

Tabela A11 – Ensaio de taxa de sucção inicial do bloco MB01

Bloco Tipo MB01 – Taxa de Sucção Inicial (IRA)					
CP N°	Peso Seco (kg)	Peso do bloco imerso na água em 1 min (kg)	Área Líquida (cm ²)	Área Líquida (m ²)	Taxa de Sucção Inicial (kg/m ² .min)
1	2,48	2,48	66,48	0,0066	1,04
2	2,49	2,49	62,53	0,0063	1,11
3	2,49	2,50	70,30	0,0070	0,99
4	2,46	2,46	65,77	0,0066	1,05
5	2,50	2,50	61,24	0,0061	1,14
6	2,48	2,49	66,08	0,0066	1,05
7	2,48	2,48	60,94	0,0061	1,14
8	2,47	2,47	67,58	0,0068	1,02
9	2,46	2,47	58,99	0,0059	1,17
10	2,45	2,46	64,29	0,0064	1,07
Média	2,47	2,48	64,42	0,006	1,08
D.P.	0,02	0,02	3,47	0,00	0,06
C.V. (%)	0,61	0,61	5,39	5,39	5,40

Tabela A12 – Ensaio de taxa de sucção inicial do bloco MB02

Bloco Tipo MB02 – Taxa de Sucção Inicial (IRA)					
CP N°	Peso Seco (kg)	Peso do bloco imerso na água em 1 min (kg)	Área Líquida (cm ²)	Área Líquida (m ²)	Taxa de Sucção Inicial (kg/m ² .min)
1	2,62	2,62	96,86	0,0097	0,76
2	2,61	2,61	90,31	0,0090	0,81
3	2,59	2,60	91,97	0,0092	0,79
4	2,61	2,61	101,47	0,0101	0,72
5	2,61	2,61	82,98	0,0083	0,88
6	2,62	2,63	96,17	0,0096	0,76
7	2,62	2,62	102,74	0,0103	0,71
8	2,60	2,60	99,42	0,0099	0,73
9	2,62	2,62	101,57	0,0102	0,72
10	2,60	2,60	96,29	0,0096	0,75
Média	2,61	2,61	95,98	0,010	0,76
D.P.	0,01	0,01	6,12	0,00	0,05
C.V. (%)	0,39	0,39	6,37	6,37	6,70

Tabela A13 – Ensaio de área líquida do bloco B01

ÁREA LÍQUIDA B01				
Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Altura do Bloco (cm)	Área Líquida (cm ²)
1	7000,00	3615,00	24,80	136,49
2	6940,00	3655,00	24,66	133,21
3	6880,00	3605,00	24,75	132,32
4	6965,00	3635,00	24,74	134,63
5	6945,00	3630,00	24,66	134,46
6	6945,00	3610,00	24,76	134,69
7	6930,00	3635,00	24,84	132,65
8	6980,00	3635,00	24,81	134,82
9	7015,00	3645,00	24,86	135,56
10	6985,00	3640,00	25,12	133,16
Média	6958,50	3630,50	24,80	134,20
D.P.	39,16	15,89	0,13	1,33
C.V. (%)	0,56	0,44	0,53	0,99

Tabela A14 – Ensaio de área líquida do bloco B02

ÁREA LÍQUIDA B02				
Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Altura do Bloco (cm)	Área Líquida (cm ²)
1	6480,00	3360,00	19,00	164,25
2	6490,00	3365,00	19,01	164,43
3	6495,00	3360,00	19,03	164,78
4	6470,00	3360,00	19,00	163,73
5	6505,00	3375,00	19,05	164,30
6	6470,00	3370,00	19,03	162,94
7	6450,00	3320,00	18,99	164,87
8	6505,00	3350,00	19,13	164,92
9	6475,00	3340,00	19,00	165,00
10	6495,00	3350,00	19,10	164,66
Média	6483,50	3355,00	19,03	164,39
D.P.	17,65	15,99	0,05	0,64
C.V. (%)	0,27	0,48	0,26	0,39

Tabela A15 – Ensaio de área líquida do bloco MB01

ÁREA LÍQUIDA MB01				
Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Altura do Bloco (cm)	Área Líquida (cm ²)
1	2990,00	1340,00	24,82	66,48
2	2960,00	1415,00	24,71	62,53
3	3015,00	1265,00	24,90	70,30
4	2995,00	1365,00	24,79	65,77
5	2975,00	1460,00	24,74	61,24
6	3000,00	1360,00	24,82	66,08
7	2985,00	1475,00	24,78	60,94
8	3025,00	1345,00	24,86	67,58
9	2955,00	1500,00	24,67	58,99
10	2995,00	1405,00	24,73	64,29
Média	2989,50	1393,00	24,78	64,42
D.P.	22,04	72,00	0,07	3,47
C.V. (%)	0,74	5,17	0,29	5,39

Tabela A16 – Ensaio de área líquida do bloco MB02

ÁREA LÍQUIDA MB02				
Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Altura do Bloco (cm)	Área Líquida (cm ²)
1	3065,00	1215,00	19,10	96,86
2	3090,00	1365,00	19,10	90,31
3	3070,00	1330,00	18,92	91,97
4	3110,00	1175,00	19,07	101,47
5	3075,00	1490,00	19,10	82,98
6	3095,00	1260,00	19,08	96,17
7	3040,00	1090,00	18,98	102,74
8	3030,00	1130,00	19,11	99,42
9	3085,00	1145,00	19,10	101,57
10	3100,00	1255,00	19,16	96,29
Média	3076,00	1245,50	19,07	95,98
D.P.	25,69	122,48	0,07	6,12
C.V. (%)	0,84	9,83	0,37	6,37

Tabela A17 – Ensaio de massa unitária do bloco B01

Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Massa do Bloco (g)	Peso Seco (g)	Massa unitária (kg/m ³)
1	7000,00	3615,00	3385,00	5780,00	1707,53
2	6940,00	3655,00	3285,00	5760,00	1753,42
3	6880,00	3605,00	3275,00	5830,00	1780,15
4	6965,00	3635,00	3330,00	5830,00	1750,75
5	6945,00	3630,00	3315,00	5790,00	1746,61
6	6945,00	3610,00	3335,00	5810,00	1742,13
7	6930,00	3635,00	3295,00	5760,00	1748,10
8	6980,00	3635,00	3345,00	5770,00	1724,96
9	7015,00	3645,00	3370,00	5750,00	1706,23
10	6985,00	3640,00	3345,00	5780,00	1727,95
Média	6958,50	3630,50	3328,00	5786,00	1738,78
D.P.	39,16	15,89	35,84	28,75	22,54
C.V. (%)	0,56	0,44	1,08	0,50	1,30

Tabela A18 – Ensaio de massa unitária do bloco B02

Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Massa do Bloco (g)	Peso Seco (g)	Massa unitária (kg/m³)
1	6480,00	3360,00	3120,00	5320,00	1705,13
2	6490,00	3365,00	3125,00	5360,00	1715,20
3	6495,00	3360,00	3135,00	5320,00	1696,97
4	6470,00	3360,00	3110,00	5350,00	1720,26
5	6505,00	3375,00	3130,00	5340,00	1706,07
6	6470,00	3370,00	3100,00	5330,00	1719,35
7	6450,00	3320,00	3130,00	5350,00	1709,27
8	6505,00	3350,00	3155,00	5350,00	1695,72
9	6475,00	3340,00	3135,00	5350,00	1706,54
10	6495,00	3350,00	3145,00	5360,00	1704,29
Média	6483,50	3355,00	3128,50	5343,00	1707,88
D.P.	17,65	15,99	15,99	14,94	8,38
C.V. (%)	0,27	0,48	0,51	0,28	0,49

Tabela A19 – Ensaio de massa unitária do bloco MB01

Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Massa do Bloco (g)	Peso Seco (g)	Massa unitária (kg/m³)
1	2990,00	1340,00	1650,00	2480,00	1503,03
2	2960,00	1415,00	1545,00	2490,00	1611,65
3	3015,00	1265,00	1750,00	2490,00	1422,86
4	2995,00	1365,00	1630,00	2460,00	1509,20
5	2975,00	1460,00	1515,00	2500,00	1650,17
6	3000,00	1360,00	1640,00	2480,00	1512,20
7	2985,00	1475,00	1510,00	2480,00	1642,38
8	3025,00	1345,00	1680,00	2470,00	1470,24
9	2955,00	1500,00	1455,00	2460,00	1690,72
10	2995,00	1405,00	1590,00	2450,00	1540,88
Média	2989,50	1393,00	1596,50	2476,00	1555,33
D.P.	22,04	72,00	90,22	15,78	88,06
C.V. (%)	0,74	5,17	5,65	0,64	5,66

Tabela A20 – Ensaio de massa unitária do bloco MB02

Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Massa do Bloco (g)	Peso Seco (g)	Massa unitária (kg/m³)
1	3065,00	1215,00	1850,00	2620,00	1416,22
2	3090,00	1365,00	1725,00	2610,00	1513,04
3	3070,00	1330,00	1740,00	2590,00	1488,51
4	3110,00	1175,00	1935,00	2610,00	1348,84
5	3075,00	1490,00	1585,00	2610,00	1646,69
6	3095,00	1260,00	1835,00	2620,00	1427,79
7	3040,00	1090,00	1950,00	2620,00	1343,59
8	3030,00	1130,00	1900,00	2600,00	1368,42
9	3085,00	1145,00	1940,00	2620,00	1350,52
10	3100,00	1255,00	1845,00	2600,00	1409,21
Média	3076,00	1245,50	1830,50	2610,00	1431,28
D.P.	25,69	122,48	116,53	10,54	95,48
C.V. (%)	0,84	9,83	6,37	0,40	6,67

Tabela A21 – Ensaio de compressão do bloco B01

COMPRESSÃO BLOCO TIPO 1							
CP N°	COMPRIM. (cm)	LARGURA (cm)	ÁREA BRUTA (cm²)	ÁREA LÍQUIDA (cm²)	CARGA (kN)	RESISTÊNCIA ÁREA BRUTA (MPa)	RESISTÊNCIA ÁREA LÍQUIDA (MPa)
1	25,16	15,00	377,40	136,49	235,20	6,23	17,23
2	25,01	14,90	372,65	133,21	317,40	8,52	23,83
3	24,96	15,03	375,15	132,32	193,80	5,17	14,65
4	24,92	15,00	373,80	134,63	310,00	8,29	23,03
5	25,13	14,94	375,44	134,46	263,80	7,03	19,62
6	25,06	15,06	377,40	134,69	334,80	8,87	24,86
7	25,19	15,11	380,62	132,65	267,40	7,03	20,16
8	25,22	15,19	383,09	134,82	345,00	9,01	25,59
9	24,96	15,04	375,40	135,56	205,80	5,48	15,18
10	25,09	15,14	379,79	133,16	285,40	7,51	21,43
Média	25,07	15,04	377,07	134,20	275,86	7,31	20,56
D. Padrão	0,10	0,09	3,26	1,33	52,44	1,38	3,91
C.V.(%)	0,42	0,59	0,87	0,99	19,01	18,81	19,00

Tabela A22 – Ensaio de compressão do bloco B02

COMPRESSÃO BLOCO TIPO 2							
CP Nº	COMPRIM. (cm)	LARGURA (cm)	ÁREA BRUTA (cm ²)	ÁREA LÍQUIDA (cm ²)	CARGA (kN)	RESISTÊNCIA ÁREA BRUTA (MPa)	RESISTÊNCIA ÁREA LÍQUIDA (MPa)
1	29,00	14,10	408,90	164,25	361,50	8,84	22,01
2	29,15	14,16	412,62	164,43	282,50	6,85	17,18
3	29,02	14,07	408,31	164,78	411,50	10,08	24,97
4	29,11	14,12	410,96	163,73	325,00	7,91	19,85
5	29,10	14,11	410,60	164,30	282,00	6,87	17,16
6	29,10	14,14	411,40	162,94	286,00	6,95	17,55
7	29,06	14,16	411,49	164,87	354,40	8,61	21,50
8	29,07	14,16	411,63	164,92	343,00	8,33	20,80
9	29,07	14,14	410,98	165,00	400,50	9,75	24,27
10	29,03	14,10	409,25	164,66	372,50	9,10	22,62
Média	29,07	14,13	410,61	164,39	341,89	8,33	20,79
D. Padrão	0,05	0,03	1,37	0,64	47,47	1,17	2,84
C.V.(%)	0,16	0,22	0,33	0,39	13,89	14,10	13,65

Tabela A23 – Ensaio de compressão do bloco MB01

COMPRESSÃO MEIO BLOCO TIPO 1							
CP Nº	COMPRIM. (cm)	LARGURA (cm)	ÁREA BRUTA (cm ²)	ÁREA LÍQUIDA (cm ²)	CARGA (kN)	RESISTÊNCIA ÁREA BRUTA (MPa)	RESISTÊNCIA ÁREA LÍQUIDA (MPa)
1	12,02	14,68	176,38	67,58	97,00	5,50	14,35
2	11,95	14,74	176,14	60,94	147,40	8,37	24,19
3	12,00	14,75	176,94	66,08	132,00	7,46	19,98
4	12,11	14,70	177,88	70,30	88,40	4,97	12,58
5	12,03	14,67	176,48	62,53	132,40	7,50	21,18
6	11,98	14,82	177,54	65,77	153,80	8,66	23,39
7	11,97	14,71	175,95	66,48	56,60	3,22	8,51
8	11,89	14,69	174,59	58,99	179,80	10,30	30,48
9	11,96	14,79	176,81	61,24	126,80	7,17	20,71
10	11,97	14,77	176,72	64,29	101,00	5,72	15,71
Média	11,99	14,73	176,54	64,42	117,62	6,67	18,53
D. Padrão	0,06	0,05	0,91	3,47	40,80	2,33	7,11
C.V.(%)	0,49	0,34	0,51	5,39	34,69	34,92	38,37

Tabela A24 – Ensaio de compressão do bloco MB02

COMPRESSÃO MEIO BLOCO TIPO 2							
CP N°	COMPRIM. (cm)	LARGURA (cm)	ÁREA BRUTA (cm ²)	ÁREA LÍQUIDA (cm ²)	CARGA (kN)	RESISTÊNCIA ÁREA BRUTA (MPa)	RESISTÊNCIA ÁREA LÍQUIDA (MPa)
1	14,16	14,82	209,85	101,47	129,60	6,18	12,77
2	14,10	14,71	207,34	90,31	136,50	6,58	15,11
3	13,91	14,77	205,38	102,74	191,20	9,31	18,61
4	14,10	14,63	206,21	96,86	114,70	5,56	11,84
5	13,96	14,67	204,79	91,97	134,50	6,57	14,62
6	14,05	14,71	206,68	96,17	148,80	7,20	15,47
7	13,99	14,68	205,37	101,57	185,40	9,03	18,25
8	14,00	14,74	206,36	99,42	137,40	6,66	13,82
9	13,88	14,75	204,66	82,98	108,40	5,30	13,06
10	14,06	14,77	207,67	96,29	152,60	7,35	15,85
Média	14,02	14,72	206,43	95,98	143,91	6,97	14,94
D. Padrão	0,09	0,06	1,57	6,12	27,00	1,32	2,23
C.V.(%)	0,64	0,38	0,76	6,37	18,76	18,96	14,93

Tabela A25 – Ensaio de resistência à tração do bloco B01

BLOCO TIPO 01				
Tipo	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Carga (kN)	Resistência à tração (MPa)
1	14,89	24,82	6,64	0,11
2	14,80	24,85	5,06	0,09
3	15,02	24,90	5,94	0,10
4	15,16	24,82	5,00	0,08
5	14,99	24,77	5,76	0,10
Média	14,97	24,83	5,68	0,10
D. Padrão	0,14	0,05	0,68	0,01
C.V.(%)	0,91	0,18	11,95	12,21

Tabela A26 – Ensaio de resistência à tração do bloco B02

BLOCO TIPO 02				
Tipo	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Carga (kN)	Resistência à tração (MPa)
1	13,99	19,02	5,02	0,12
2	13,83	18,89	8,66	0,21
3	13,86	18,92	4,88	0,12
4	14,05	18,74	7,38	0,18
5	13,93	19,00	6,04	0,15
Média	13,93	18,91	6,40	0,15
D. Padrão	0,09	0,11	1,61	0,04
C.V.(%)	0,65	0,59	25,23	25,73

Tabela A27 – Ensaio de resistência à tração do bloco MB01

MEIO BLOCO TIPO 01				
Tipo	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Carga (kN)	Resistência à tração (MPa)
1	14,81	25,00	2,98	0,05
2	14,75	24,98	2,08	0,04
3	14,93	24,92	2,86	0,05
4	14,83	25,06	3,14	0,05
5	14,76	25,00	3,44	0,06
Média	14,82	24,99	2,90	0,05
D. Padrão	0,07	0,05	0,51	0,01
C.V.(%)	0,49	0,21	17,49	17,43

Tabela A28 – Ensaio de resistência à tração do bloco MB02

MEIO BLOCO TIPO 02				
Tipo	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Carga (kN)	Resistência à tração (MPa)
1	13,98	19,01	7,48	0,18
2	14,12	19,00	4,40	0,10
3	14,18	18,95	5,42	0,13
4	14,06	19,05	7,78	0,18
5	13,97	19,05	5,50	0,13
Média	14,06	19,01	6,12	0,15
D. Padrão	0,09	0,04	1,45	0,03
C.V.(%)	0,64	0,22	23,75	23,95

Tabela A29 – Ensaio de resistência à compressão do prisma de junta prumo de bloco B01

BLOCO TIPO 01								
PRISMAS	DIMENSÕES (cm)			Área Bruta (cm ²)	Área Líquida (cm ²)	CARGA (kN)	TENSÃO ÁREA BRUTA (MPa)	TENSÃO ÁREA LÍQUIDA (MPa)
	Comp. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)					
1	24,80	14,80	74,70	367,04	136,49	130,20	3,55	9,54
2	24,80	15,00	74,60	372,00	133,21	151,50	4,07	11,37
3	24,90	14,88	74,70	370,51	132,32	89,50	2,42	6,76
4	25,03	15,04	74,90	376,38	134,63	125,50	3,33	9,32
5	25,11	15,05	75,00	377,91	134,46	130,80	3,46	9,73
Média	24,93	14,95	74,78	372,77	134,22	125,50	3,37	9,35
D. Padrão	0,14	0,11	0,16	4,41	1,58	22,48	0,60	1,66
C.V.(%)	0,55	0,73	0,22	1,18	1,18	17,92	17,86	17,71

Tabela A30 – Ensaio de resistência à compressão do prisma de junta prumo de bloco B02

BLOCO TIPO 02								
PRISMAS	DIMENSÕES (cm)			Área Bruta (cm ²)	Área Líquida (cm ²)	CARGA (kN)	TENSÃO ÁREA BRUTA (MPa)	TENSÃO ÁREA LÍQUIDA (MPa)
	Comp. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)					
1	29,00	13,80	57,30	400,20	164,25	149,1	3,73	9,08
2	29,00	13,90	57,50	403,10	164,43	137,6	3,41	8,37
3	28,90	13,80	57,20	398,82	164,78	160,5	4,02	9,74
4	29,20	13,90	57,30	405,88	163,73	153,8	3,79	9,39
5	29,10	14,00	57,40	407,40	164,30	109,4	2,69	6,66
Média	29,04	13,88	57,34	403,08	164,30	142,08	3,53	8,65
D. Padrão	0,11	0,08	0,11	0,01	0,38	20,09	0,52	1,22
C.V.(%)	0,39	0,60	0,20	0,24	0,23	14,14	14,71	14,13

Tabela A31 – Ensaio de resistência à compressão do prisma de junta amarrada de bloco B01

BLOCO TIPO 01								
PRISMAS	DIMENSÕES (cm)			Área Bruta (cm ²)	Área Líquida (cm ²)	CARGA (kN)	TENSÃO ÁREA BRUTA (MPa)	TENSÃO ÁREA LÍQUIDA (MPa)
	Comp. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)					
1	24,80	14,90	75,50	369,52	136,49	126,80	3,43	9,29
2	24,90	14,90	75,60	371,01	133,21	114,90	3,10	8,63
3	25,00	14,90	75,40	372,50	132,32	113,60	3,05	8,59
4	24,57	14,90	75,30	366,09	134,63	100,10	2,73	7,44
5	24,90	14,90	75,50	371,01	134,46	90,20	2,43	6,71
Média	24,83	14,90	75,46	370,03	134,22	109,12	2,95	8,13
D. Padrão	0,16	0,00	0,11	2,44	1,58	14,19	0,38	1,04
C.V.(%)	0,66	0,00	0,15	0,66	1,18	13,00	12,90	12,76

Tabela A32 – Ensaio de resistência à compressão do prisma de junta amarrada de bloco B02

BLOCO TIPO 02								
PRISMAS	DIMENSÕES (cm)			Área Bruta (cm ²)	Área Líquida (cm ²)	CARGA (kN)	TENSÃO ÁREA BRUTA (MPa)	TENSÃO ÁREA LÍQUIDA (MPa)
	Comp. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)					
1	28,80	13,80	58,20	397,44	164,25	162,4	4,09	9,89
2	28,80	13,80	57,90	397,44	164,43	156	3,93	9,49
3	29,00	14,00	57,75	406,00	164,78	223	5,49	13,53
4	29,00	14,20	58,00	411,80	163,73	154	3,74	9,41
5	28,80	14,00	58,00	403,20	164,30	124,8	3,10	7,60
Média	28,88	13,96	57,97	403,16	164,30	164,04	4,07	9,98
D. Padrão	0,11	0,17	0,16	0,02	0,38	36,00	0,88	2,17
C.V.(%)	0,38	1,20	0,28	0,45	0,23	21,95	21,66	21,77

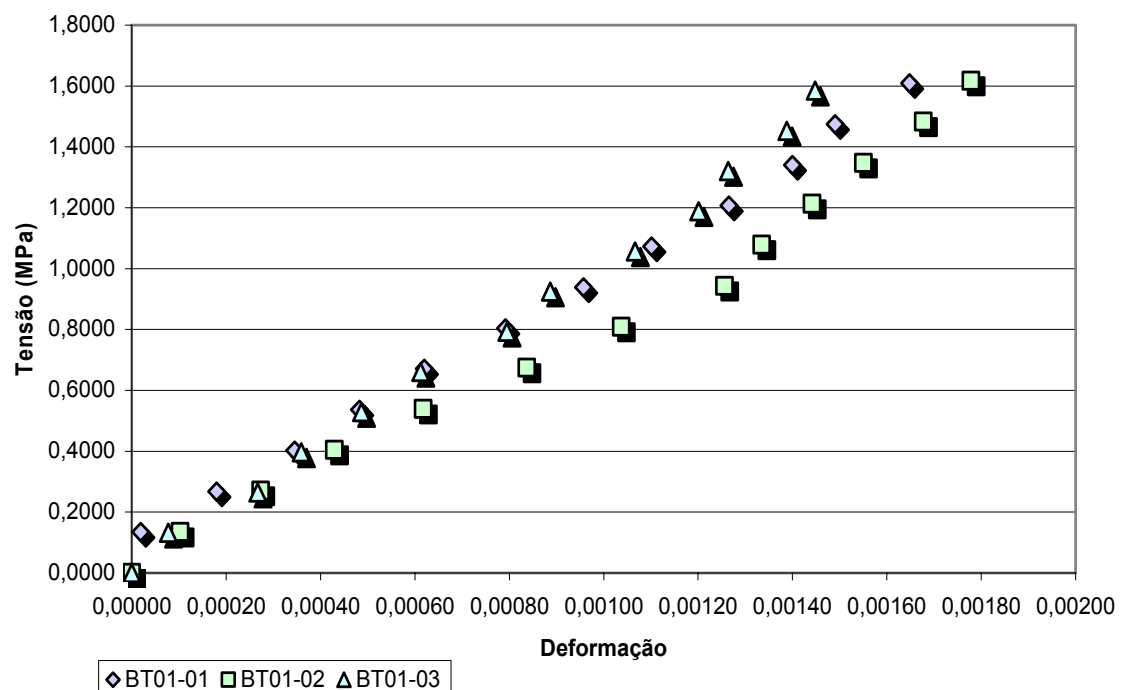


Figura A1 – Gráfico tensão X deformação de Prisma de bloco B01 de junta prumo na área bruta

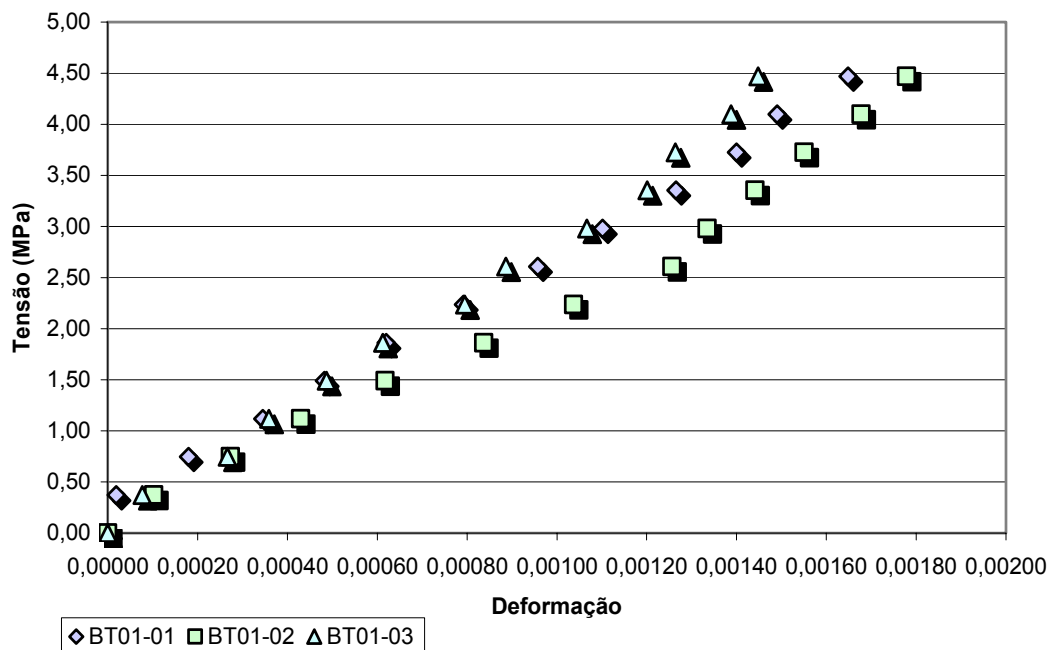


Figura A2 – Gráfico tensão X deformação de Prisma de bloco B01 de junta prumo na área líquida

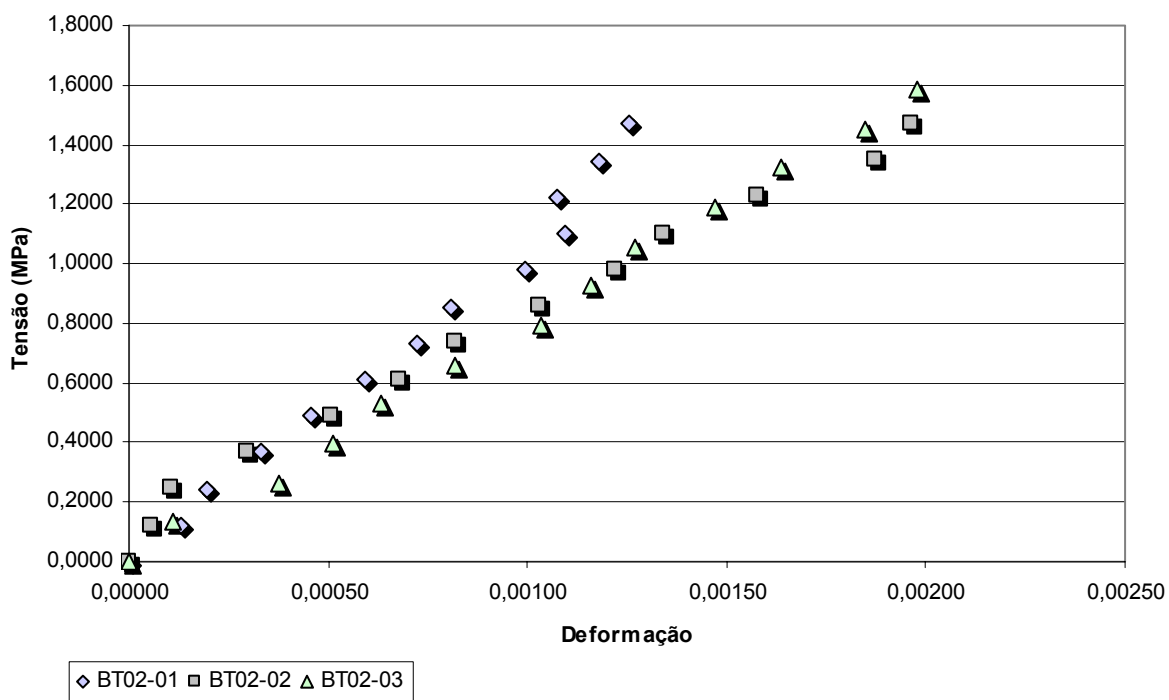


Figura A3 – Gráfico tensão X deformação de Prisma de bloco B02 de junta prumo na área bruta

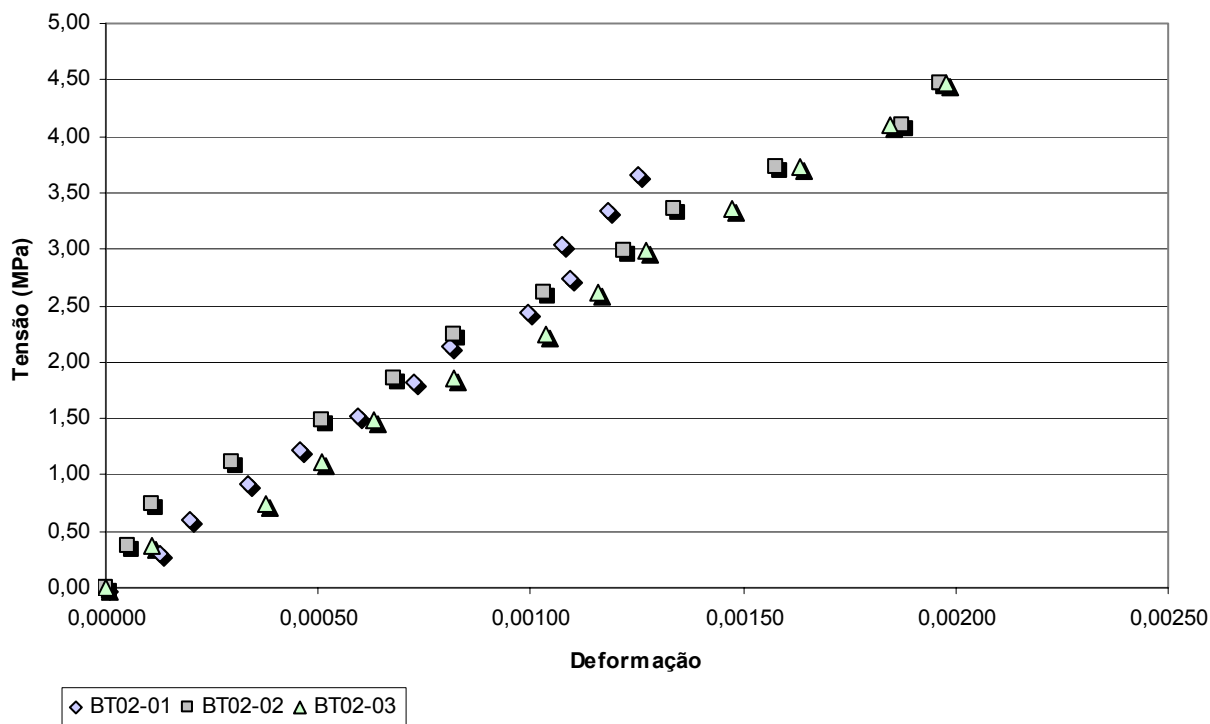


Figura A4 – Gráfico tensão X deformação de Prisma de bloco B02 de junta prumo na área líquida

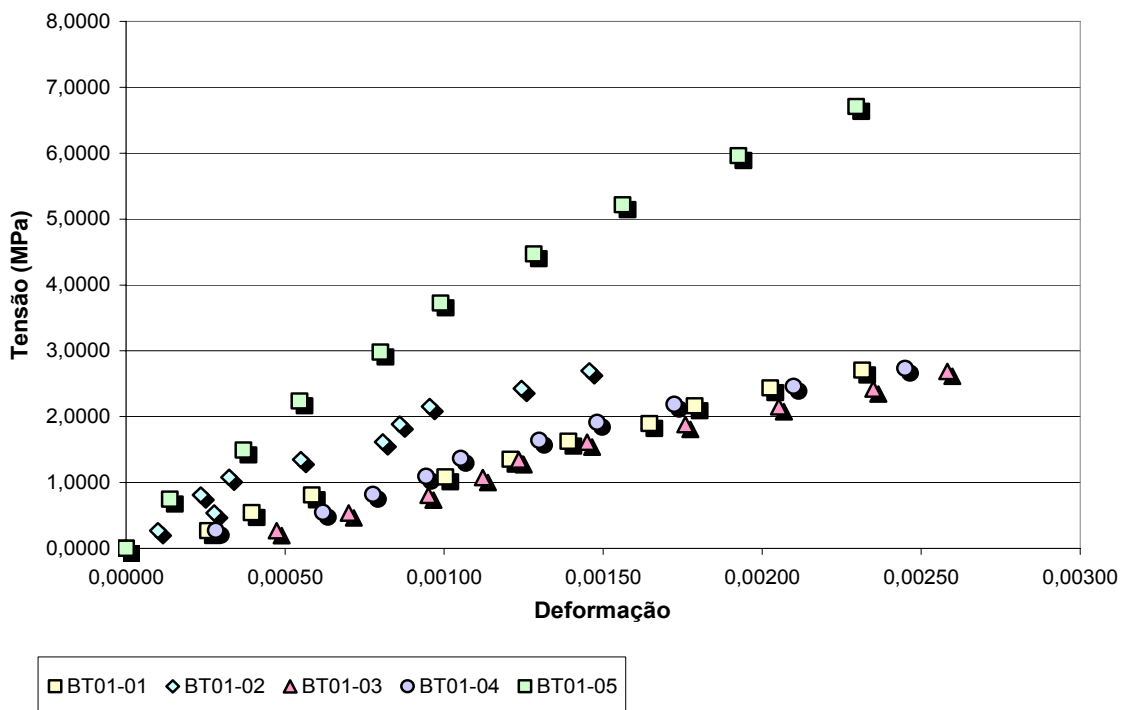


Figura A5– Gráfico tensão X deformação de Prisma de bloco B01 de junta amarrada na área bruta

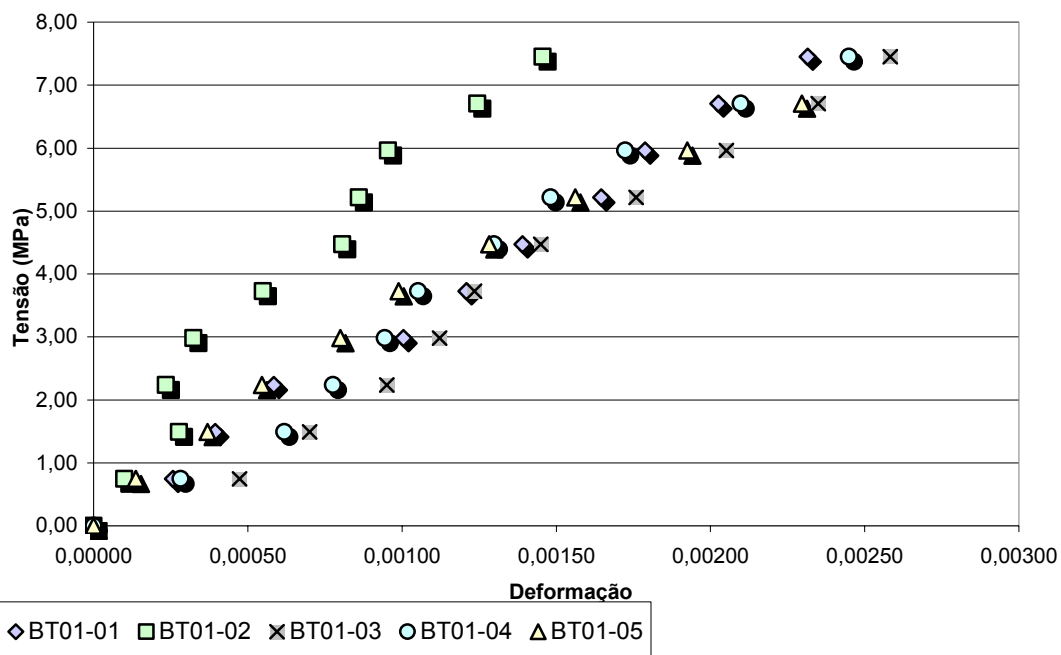


Figura A6 – Gráfico tensão X deformação de Prisma de bloco B01 de junta amarrada na área líquida

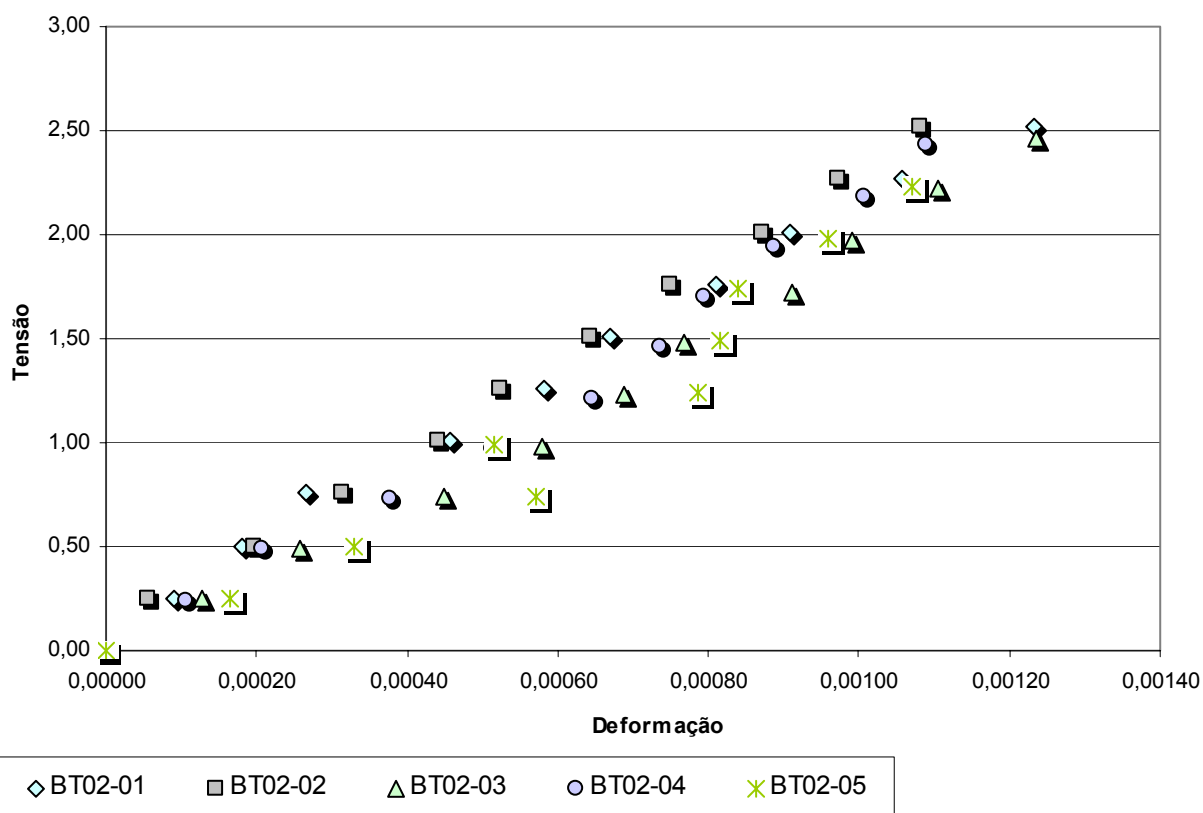


Figura A7 – Gráfico tensão X deformação de Prisma de bloco B02 de junta amarrada na área bruta

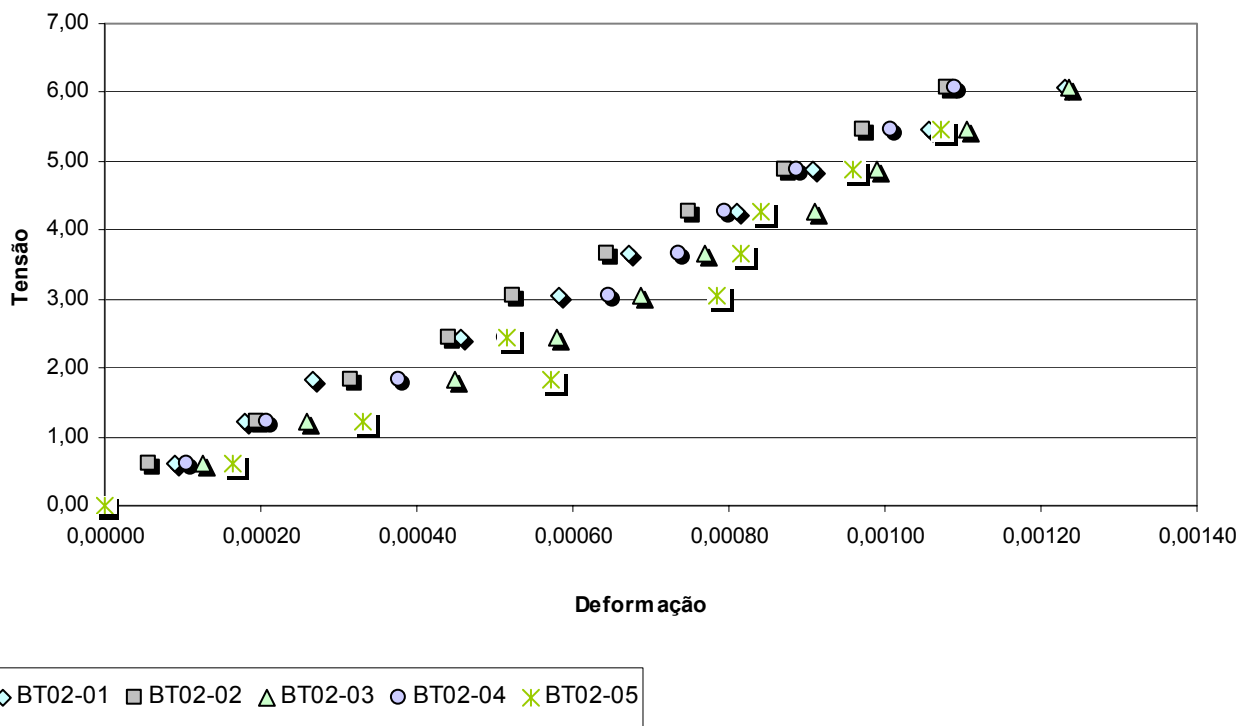


Figura A8 – Gráfico tensão X deformação de Prisma de bloco B02 de junta amarrada na área líquida

APÊNDICE 2

Painel B01 – 02

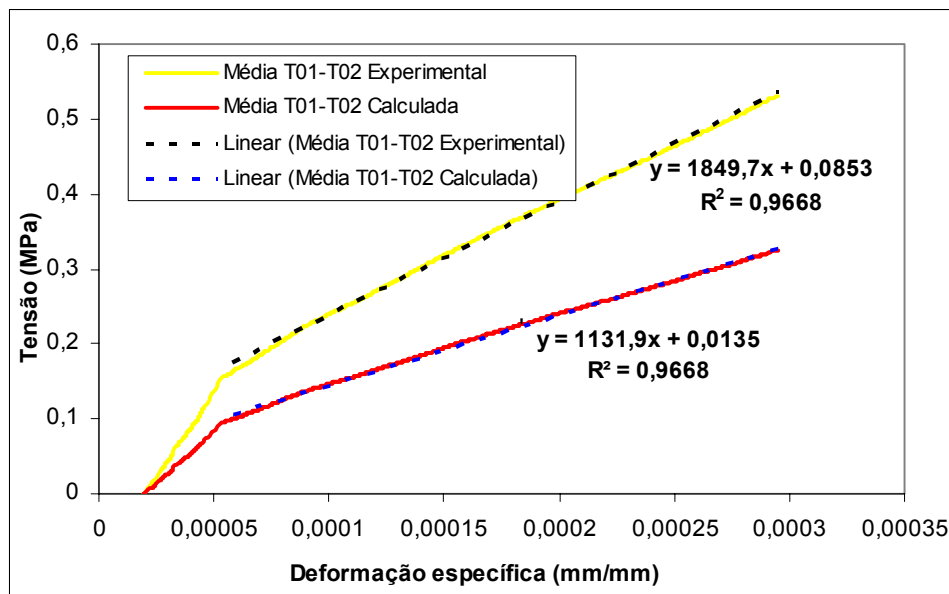


Figura B1 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

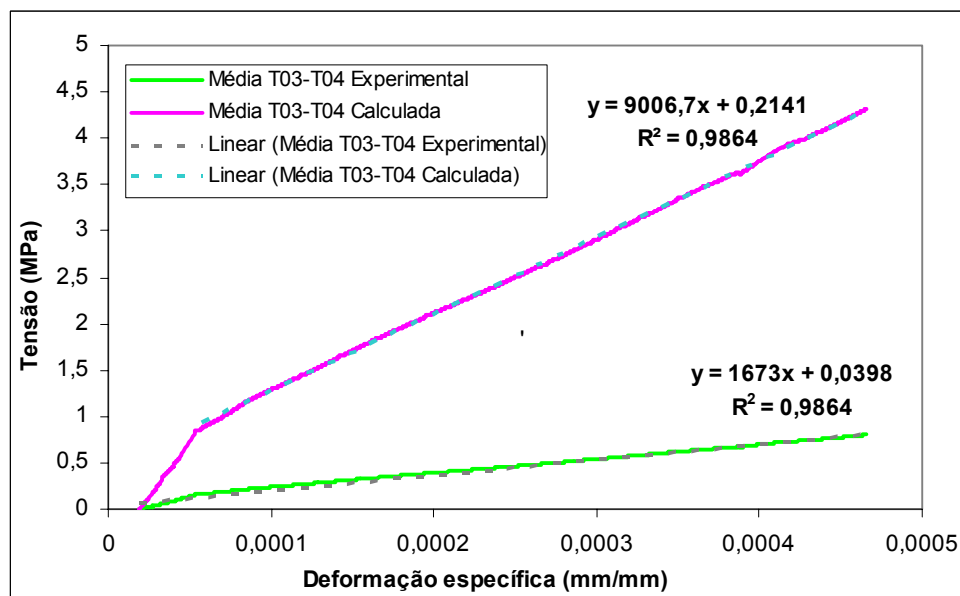


Figura B2 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

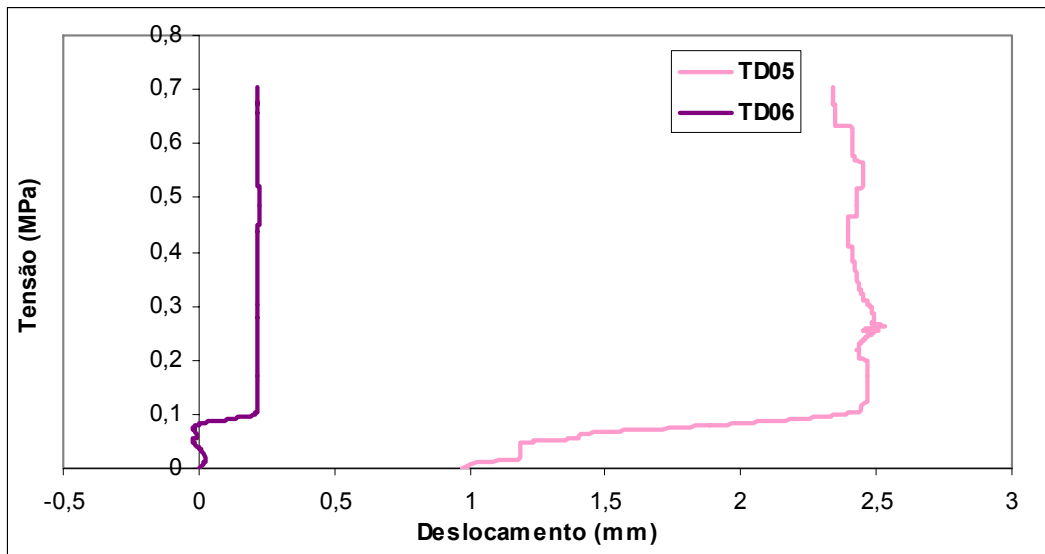


Figura B3 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

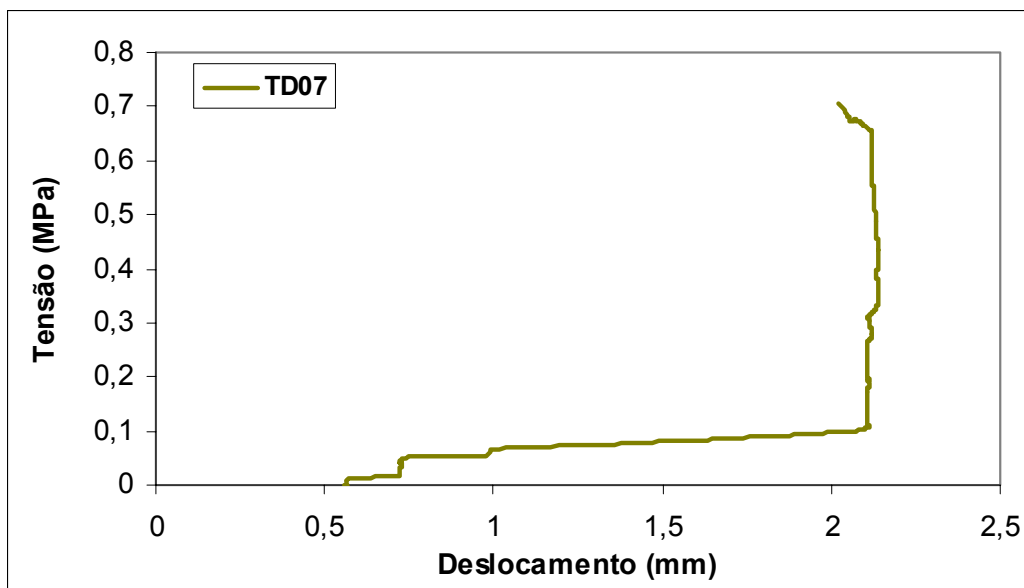


Figura B4 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)

Painel B01-03

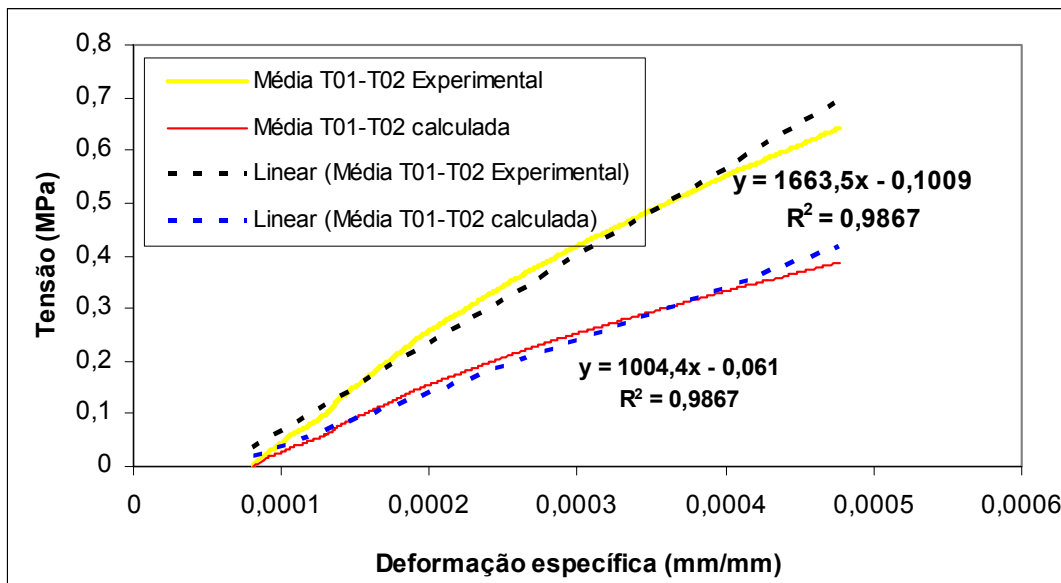


Figura B5 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

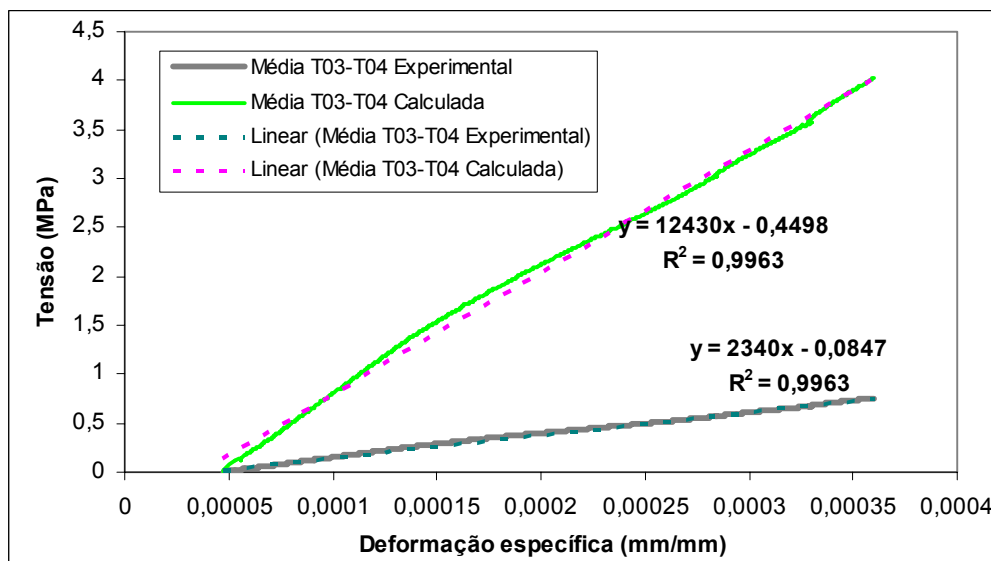


Figura B6 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

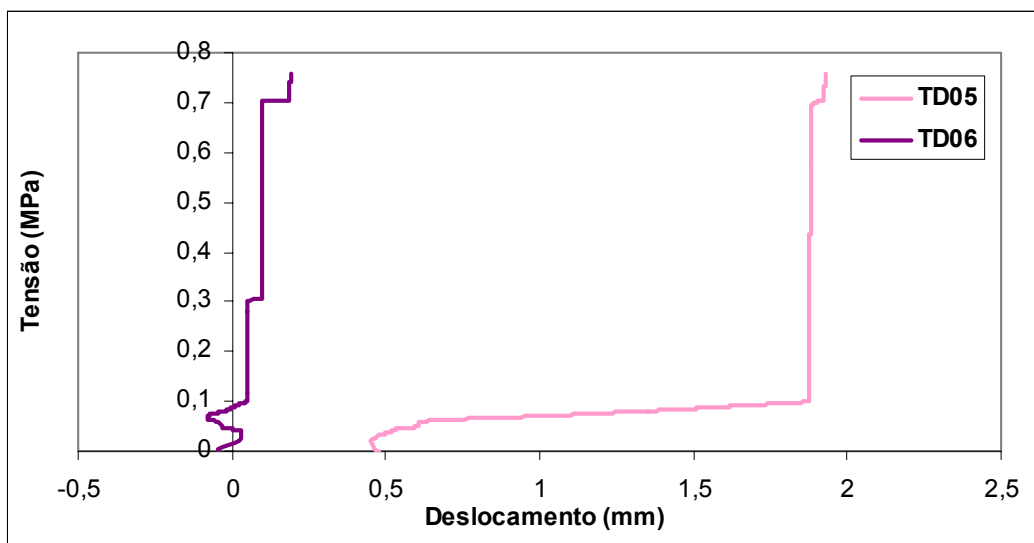


Figura B7 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

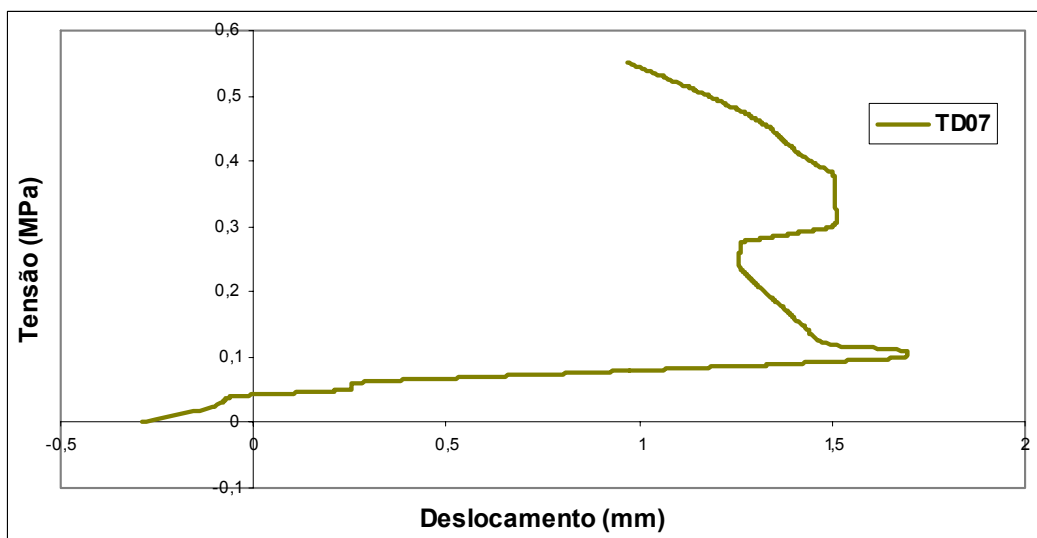


Figura B8 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)

Painel B01-04

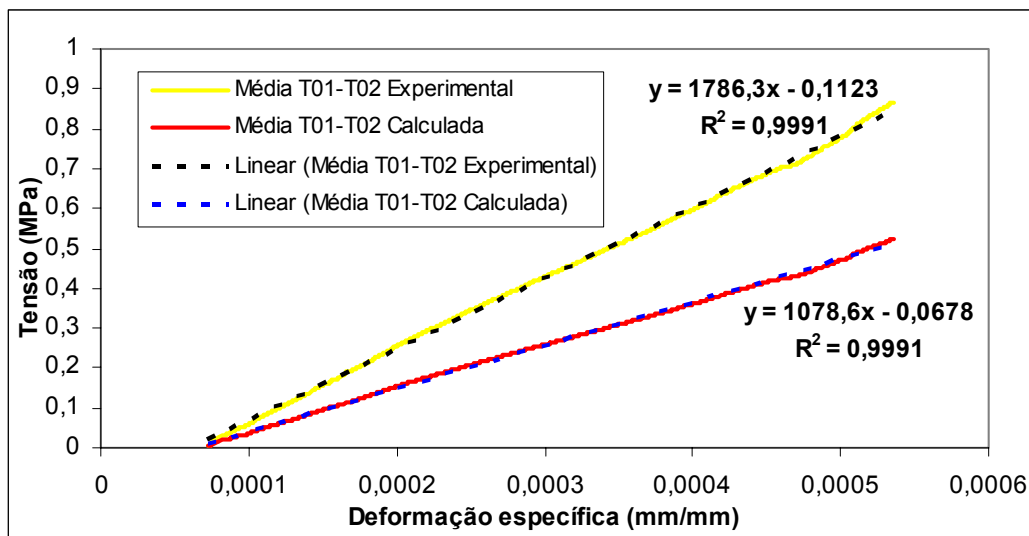


Figura B9 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

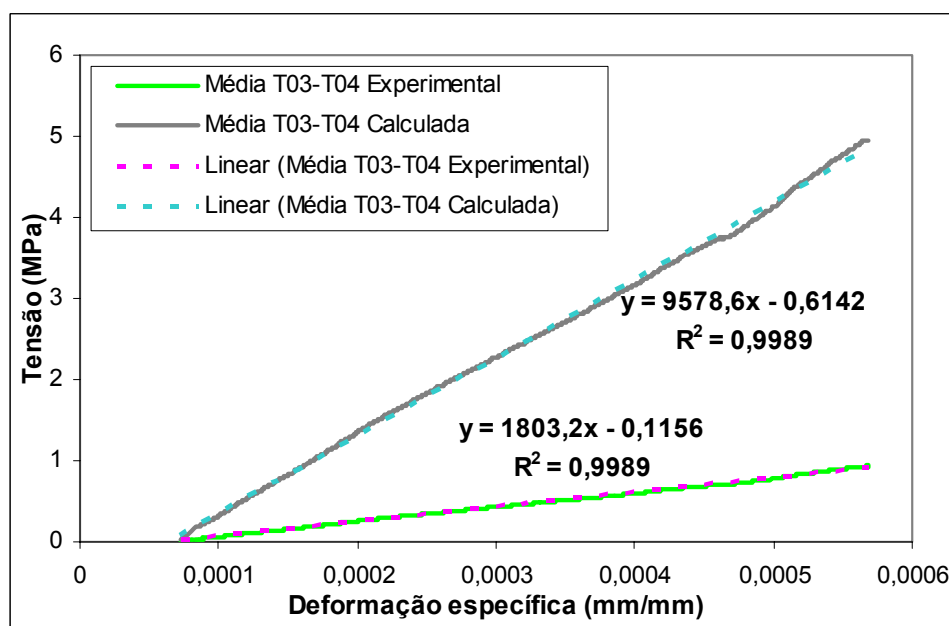


Figura B10 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

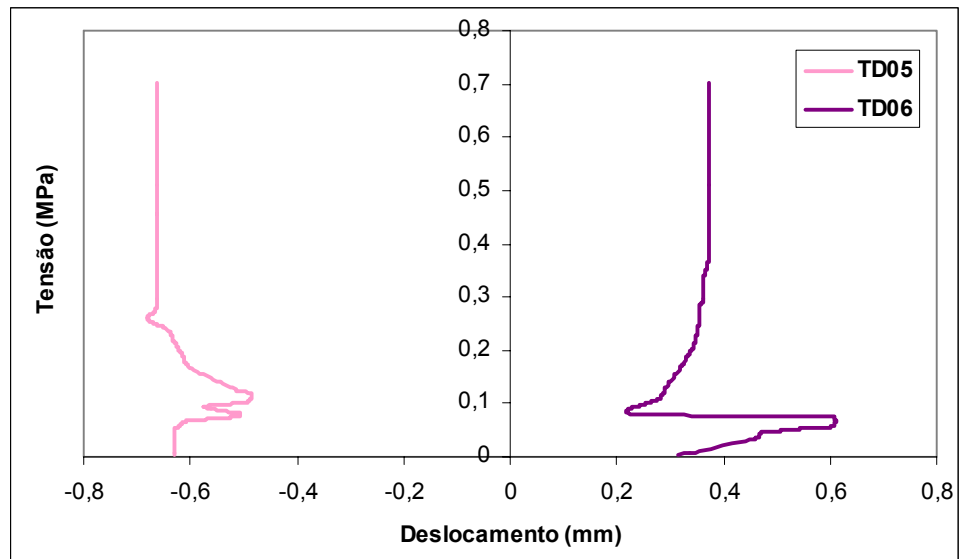


Figura B11 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

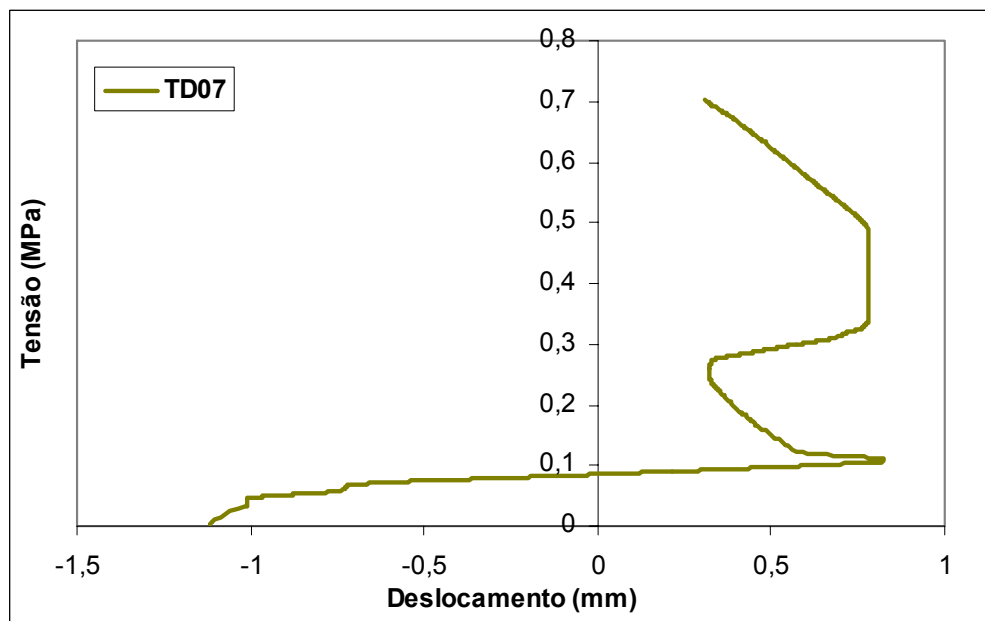


Figura B12 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)

Painel B01-05

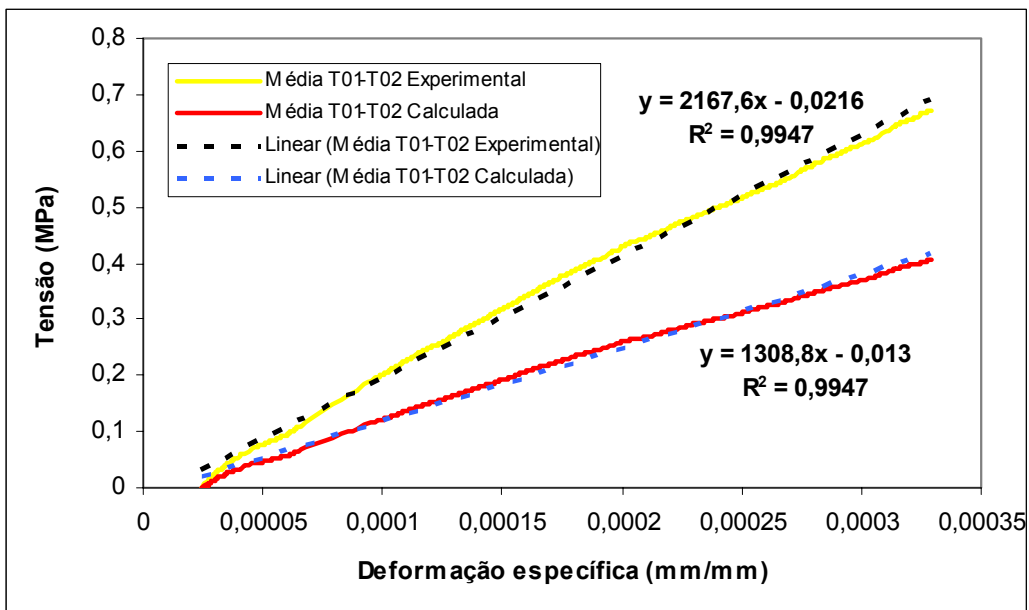


Figura B13 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

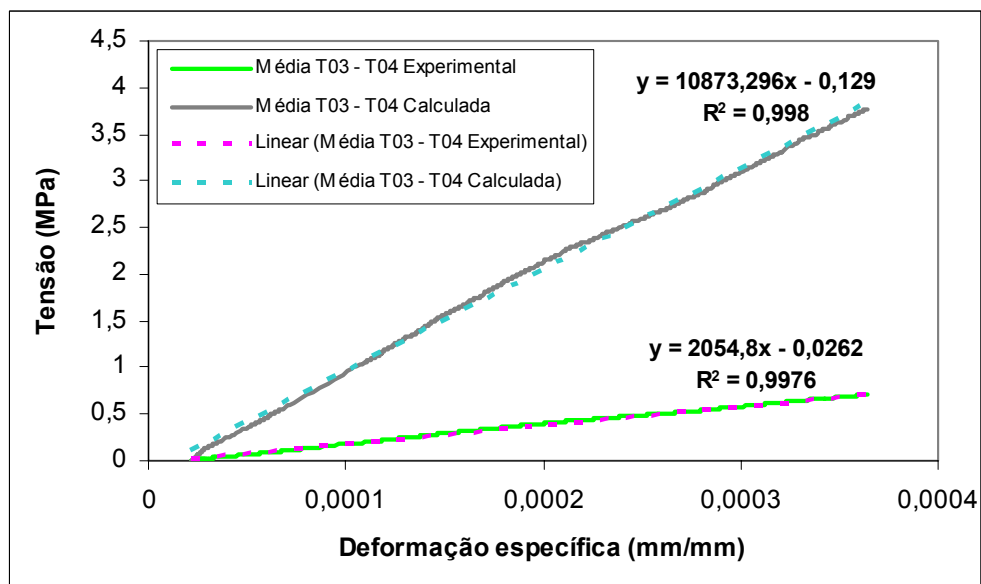


Figura B14 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

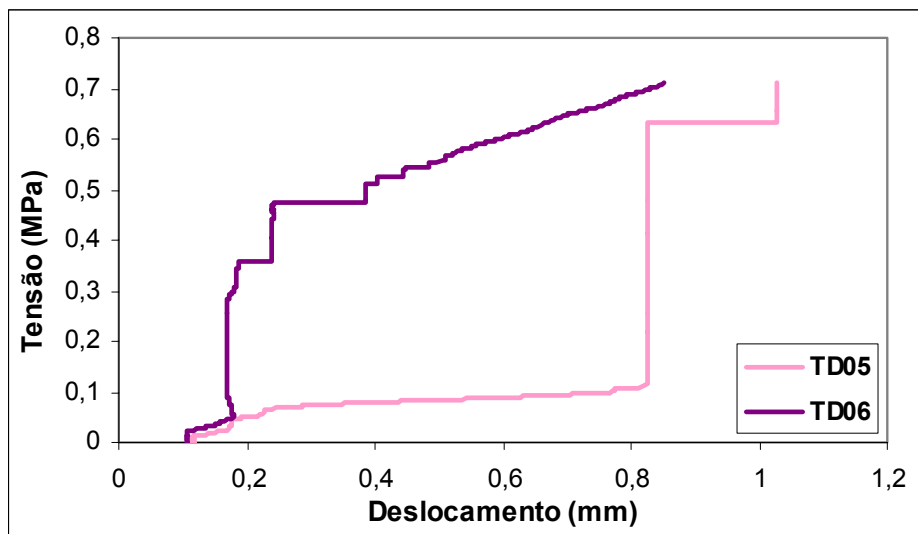


Figura B15 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

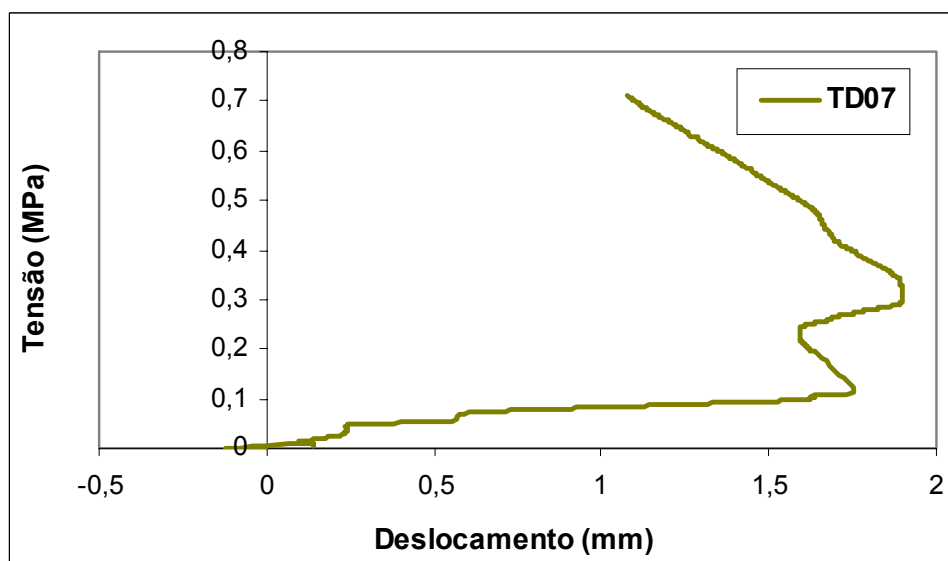


Figura B16 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)

Painel B02-04

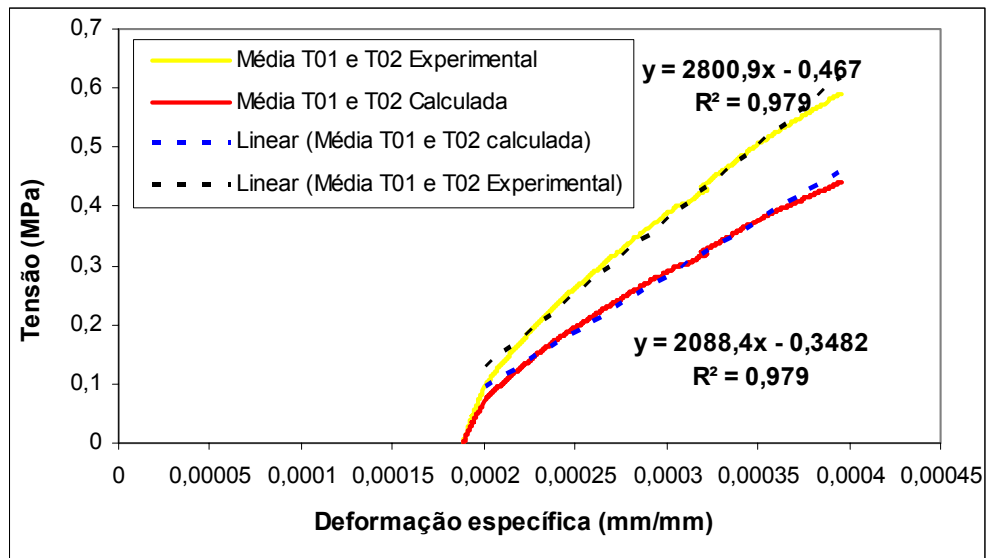


Figura B17 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

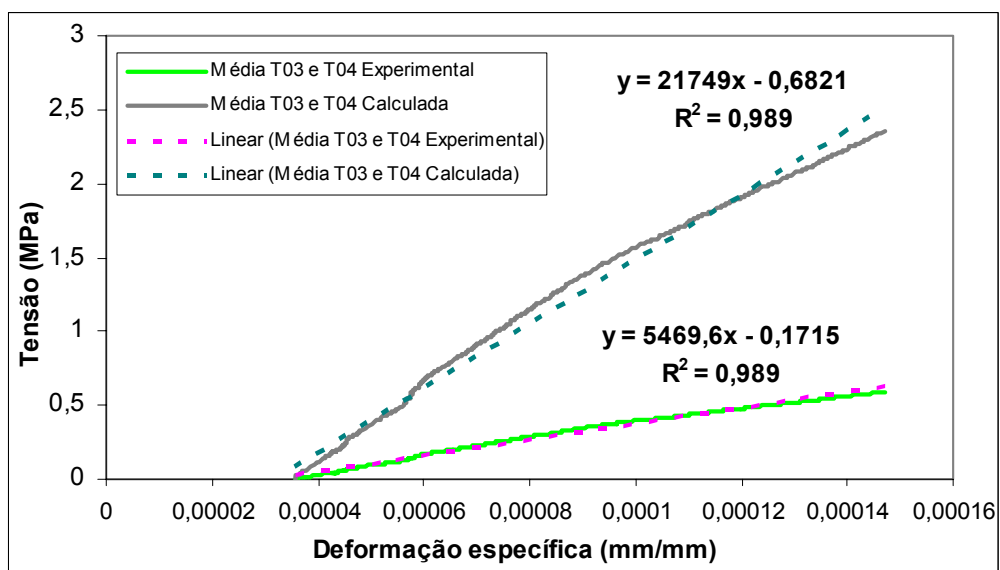


Figura B18 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

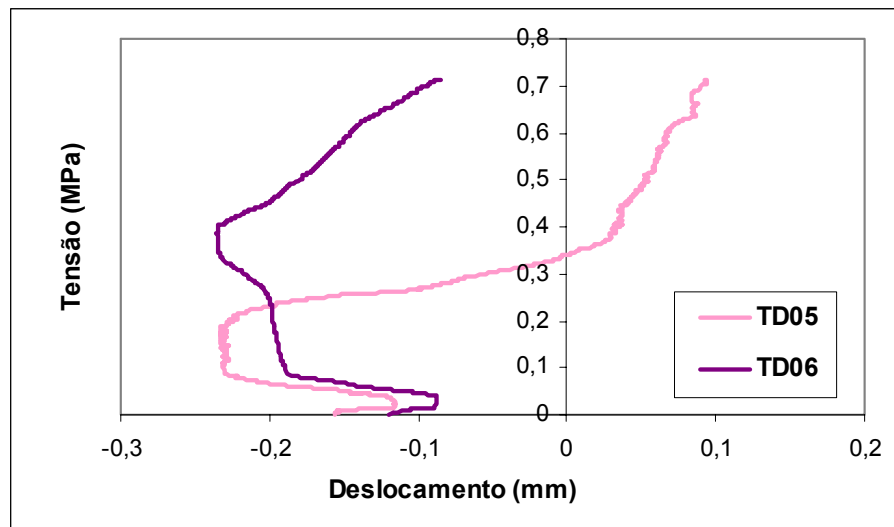


Figura B19 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

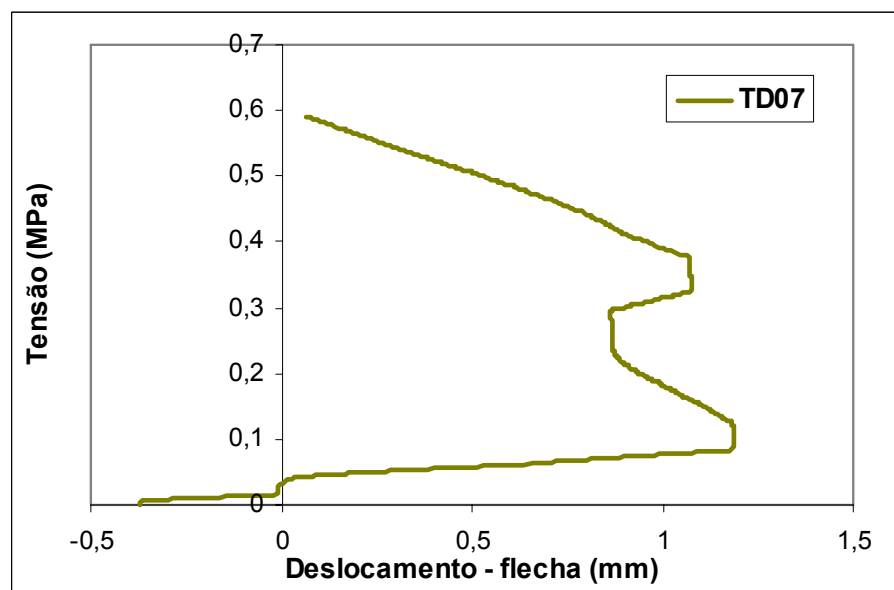


Figura B20 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)

Painel B02-05

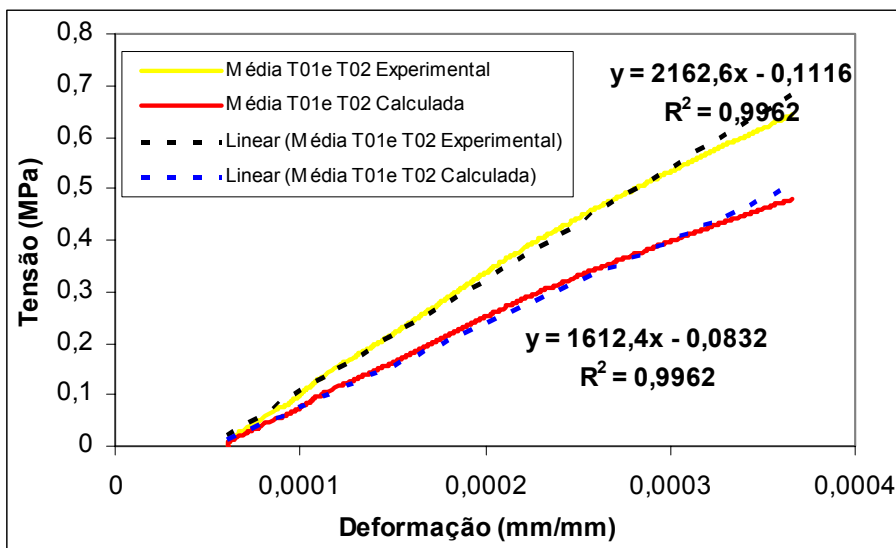


Figura B21 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

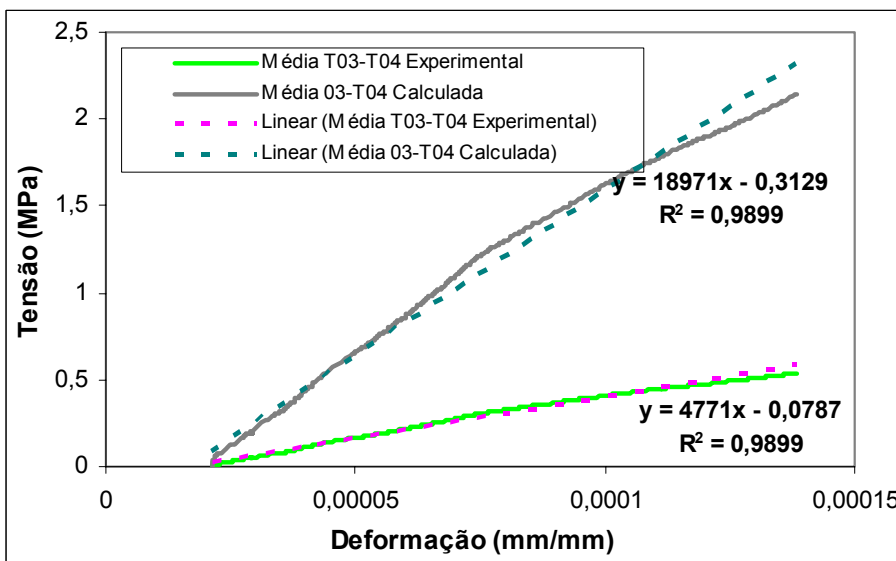


Figura B22 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

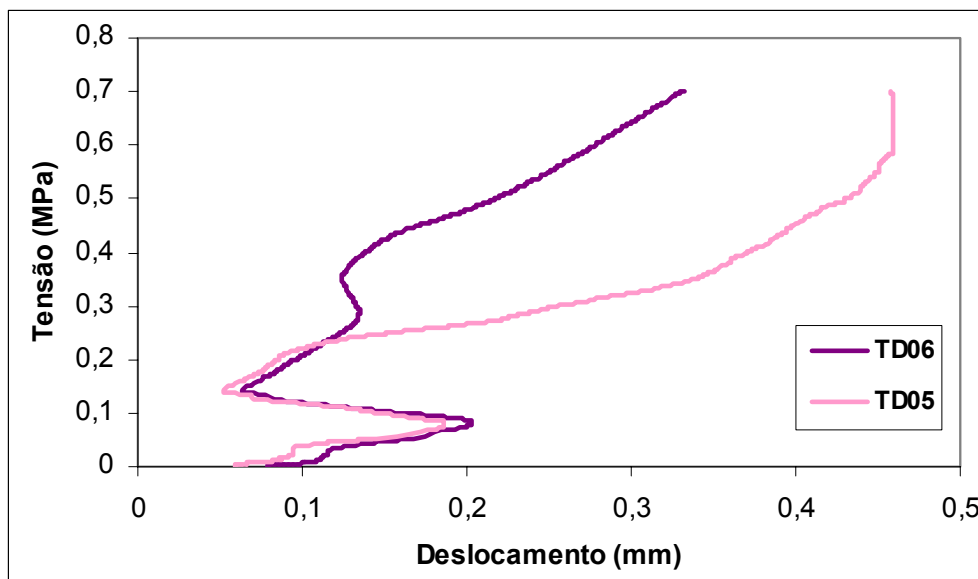


Figura B23 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

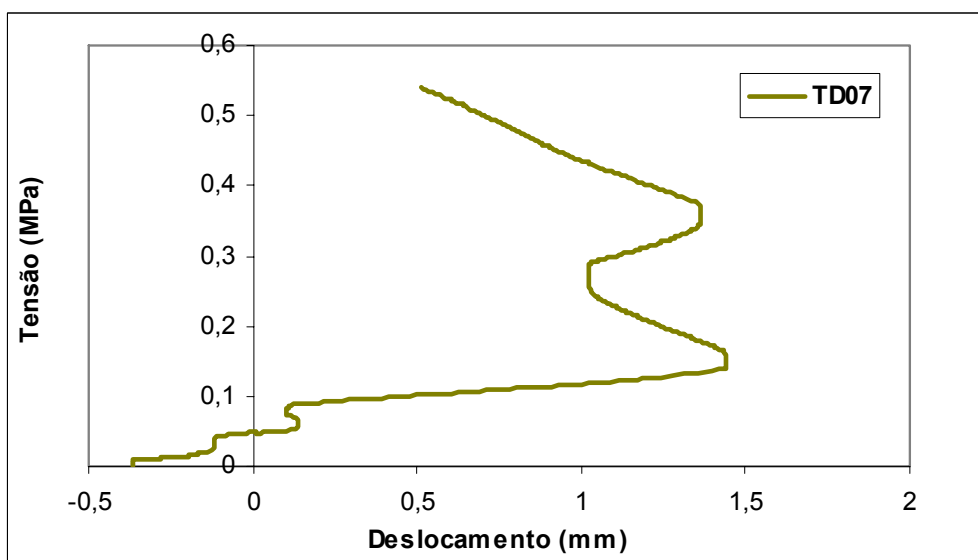


Figura B24 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)

Painel B02-06

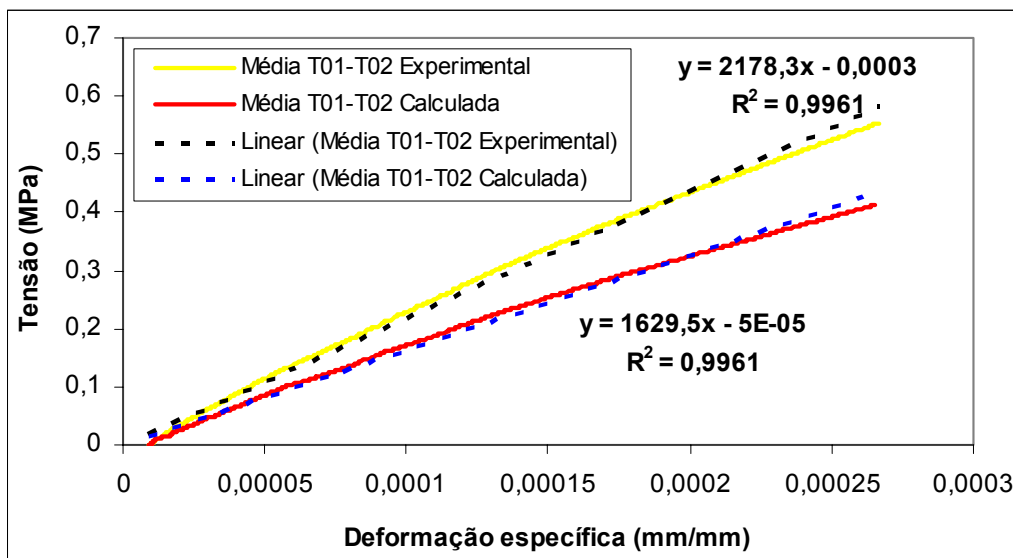


Figura B25 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T01-T02

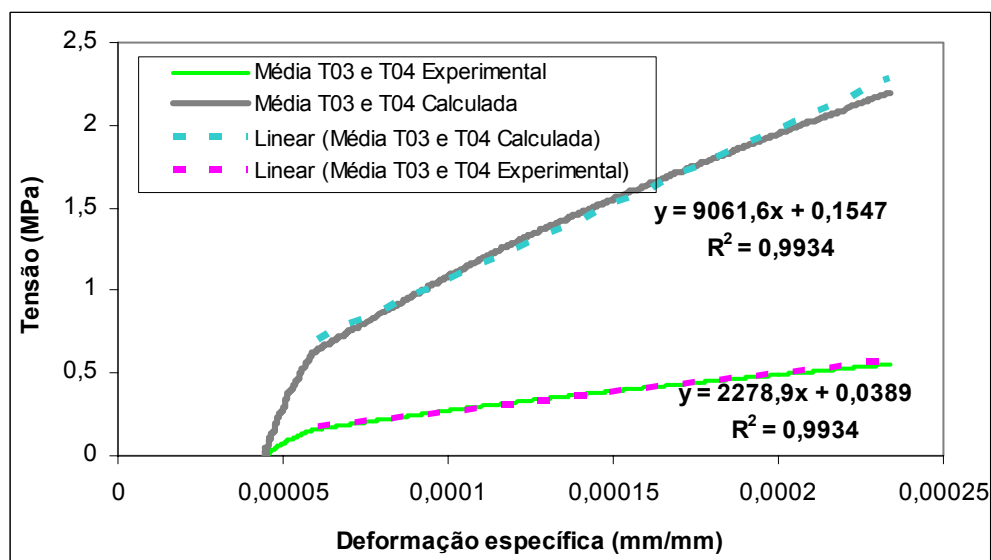


Figura B26 – Gráfico tensão x média das deformações específicas referentes aos transdutores T03-T04

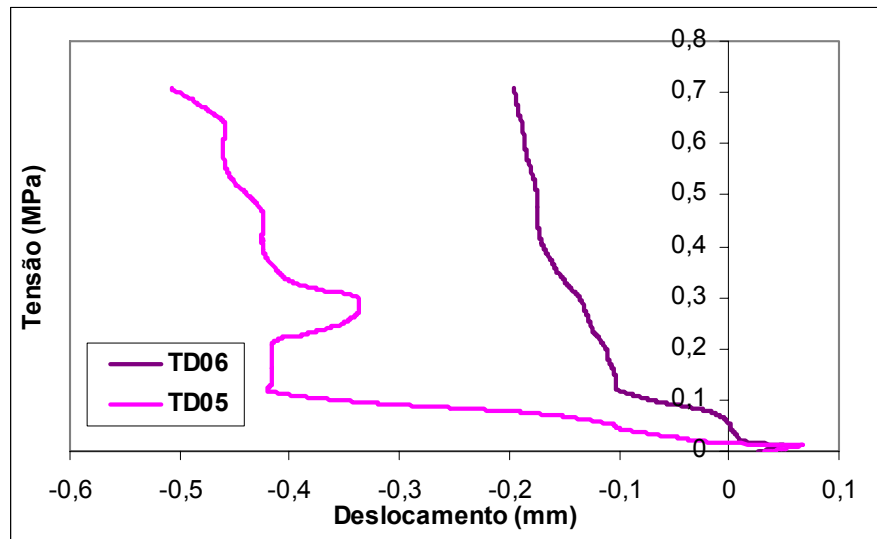


Figura B27 – Gráfico tensão x deslocamentos horizontais das laterais de argamassa armada

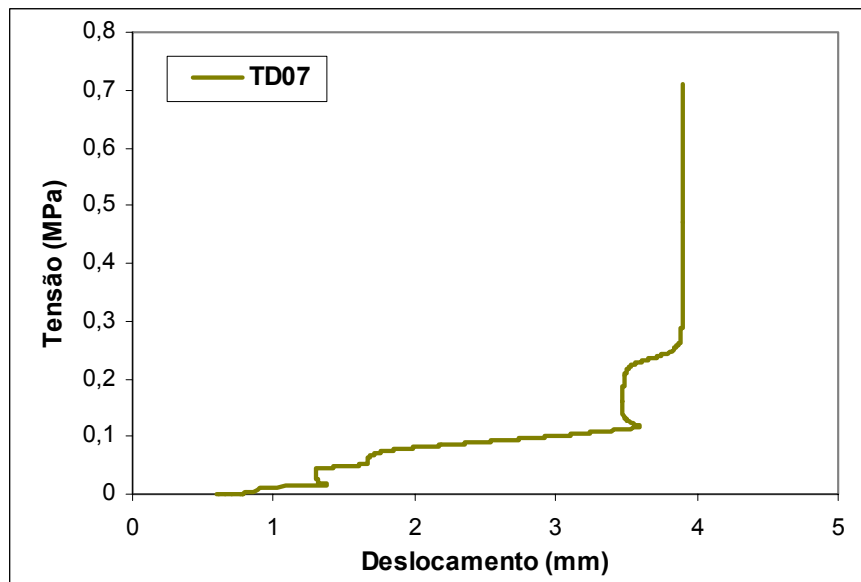


Figura B28 – Gráfico tensão x deslocamento horizontal (flecha)