

PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE PAINEL DE GRG PARA VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA

DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF PRECAST WALL PANELS MADE WITH GRG

CLAUDIA T.A. OLIVEIRA

SILVIA M. S. SELMO

VAHAN AGOPYAN

Este trabalho relata o desenvolvimento de um painel de gesso reforçado com fibras de vidro (GRG - glass reinforced gypsum), cujos insumos básicos, produzidos pela indústria nacional, foram gesso de construção (hemidrato à natural) e fibra de vidro tipo E. O compósito foi selecionado com base em ensaios de flexão e critérios práticos de trabalhabilidade, resultando em uma mistura com fibras de comprimento de 13 mm e teor de 2,25% (em massa), com resistência à tração na flexão de 10,5 MPa. Os painéis foram produzidos pelo método da pré-mistura, de baixo custo e de fácil operação, com mistura feita em betoneira. No estudo do painel foram avaliadas diversas seções transversais, através de ensaios de suporte de carga suspensa e de flexão, tendo-se selecionado um painel com resistência à tração na flexão de 6,4 MPa. São analisados os resultados dos principais testes efetuados em paredes construídas em campo com painéis de GRG, cujo desempenho foi avaliado por: resistência a impactos de corpo mole, interação com portas - fechamento brusco, resistência a carga suspensa, comportamento frente à deformação de lajes e frente à umidade, isolamento de som aéreo e aderência de revestimento cerâmico.

Palavras-chaves: gesso, painel, compósito, reforço de fibra de vidro, avaliação de desempenho.

This paper deals with the design of a partition panel made with composite material being the matrix gypsum (à hemihydrate) reinforced with ordinary E-glass chopped fibres. According to this research it was possible to select a composite with a fibre content of 2,25% by weight of hemihydrate and to use 13 mm long fibre, based on flexural tests and workability criteria. This composite presented 10,5 MPa of flexural strength. The components were produced by volumetric method considered as a low cost method which requires non-skilled workers. Various geometric designs were proposed and panels performance evaluation were made on the basis of the flexural and pull-out tests. The final panel design presented a 6,4 MPa of flexural strength. This paper also presents the main results of mechanical and physical tests of GRG precast panel walls. The performance evaluation of walls was achieved by means of: resistance to soft body impact, operation of doors, suspension load bearing, resistance to slab deformation, dampness resistance, sound insulation, tile coating adhesion.

Key-words: plaster, wall board, composite material, glass fibre reinforcement, performance evaluation.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Vantagens do GRG

O GRG (glass reinforced gypsum) constitui-se em um material fibroso que, embora já consagrado em nível mundial, ainda não está difundido no Brasil. Atualmente, esse é um material empregado, em substituição a alguns materiais tradicionais de construção, para o desenvolvimento de componentes pré-moldados usados em processos construtivos racionalizados.

Algumas patentes internacionais já estão no mercado há mais de uma década, tais como os produtos desenvolvidos pelos seguintes Institutos e Empresas: CERACEM, 1994; INSTITUTO EDUARDO TORROJA, 1987; STREAMLINE, 1991. Embora o gesso seja um material não resistente à ação da água, já existem patentes de GRG apropriado ao uso externo e em áreas molháveis (BIJEN, 1992, CERACEM, 1994).

O gesso apresenta certas propriedades que o tornam adequado ao uso em pré-moldados: pega e endurecimento rápidos, dispensa de cura úmida ou a vapor, retração por secagem negligenciável, baixa massa específica e resistência ao fogo satisfatória. A produção do gesso de construção apresenta baixo consumo energético quando comparada à produção do cimento Portland e à da cal hidratada. Além disso, existe a opção do beneficiamento e emprego de sulfatos residuais produzidos em áreas próximas aos grandes centros consumidores (região Sudeste do Brasil).

Outra vantagem do uso do gesso é que a pasta deste aglomerante constitui-se, geralmente, em meio de pH na faixa neutra e não agressivo ao vidro, ao contrário do que ocorre com as matrizes alcalinas à base de cimento Portland, que devem ser reforçadas com fibras de vidro resistente a álcalis, sensivelmente mais caras do que as de vidro tipo E.

O reforço de matrizes frágeis (pasta de gesso) com fibras dúteis (fibras de vidro) resulta em um compósito com maior capacidade de deformação e maior resistência do que a matriz. Tais propriedades dos materiais fibrosos possibilitam a produção de componentes com pequena espessura e grande área superficial, como por exemplo painéis e placas, que resultam em peças de resistência mecânica compatível com as exigências de montagem e uso, principalmente com relação à redução de perdas no transporte e montagem, e quanto à capacidade de cargas suspensas e distribuição de tensões nas paredes em serviço.

1.2 Diretrizes da pesquisa

Associando-se as vantagens do GRG à necessidade de racionalização da atividade de construção de edifícios, foi idealizado um projeto de pesquisa que reuniu o Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica e empresas da iniciativa privada, para estudar a viabilidade técnica e econômica, do emprego de painéis de vedação vertical interna, produzidos com gesso de construção e fibras de

vidro tipo E.

O objetivo da pesquisa foi o desenvolvimento de um método construtivo de paredes compostas pelos painéis de GRG, segundo os critérios de desempenho estrutural e de conforto ambiental normalizados para esses elementos. Além disso, considerou-se como premissa básica da pesquisa que a parede composta pelos painéis de GRG apresentaria características semelhantes às das paredes convencionais, principalmente quanto aos seguintes requisitos:

- capacidade de suporte de cargas suspensas, para sustentação de prateleiras em qualquer ponto da parede, através de parafusos e buchas convencionais do mercado nacional;
- isolamento de som aéreo compatível com o das alvenarias, e ausência de som cavo, propriedades, via de regra, insatisfatórias nas divisórias leves clássicas;
- resistência a locais com risco de umidade mediante a possibilidade de receber impermeabilização convencional nas áreas molháveis;
- capacidade de aderência de revestimentos cerâmicos.

Para a aprovação do método construtivo e uma vez definida a geometria do painel, foram compostos diversos tipos de parede, cujo desempenho foi avaliado através dos seguintes ensaios: impactos de corpo duro e corpo mole, suporte de carga suspensa, carga horizontal concentrada, comportamento frente à deformação de lajes de concreto armado, interação com outros sistemas prediais (portas, instalações embutidas), isolamento de som aéreo, permeabilidade ao vapor de água, resistência de aderência de revestimento cerâmico. Informações detalhadas constam no trabalho de OLIVEIRA (1995).

Este artigo apresenta as etapas iniciais do trabalho, abrangendo o estudo do compósito e o desenvolvimento dos painéis de GRG, contendo os principais resultados dos ensaios e as diretrizes que nortearam a definição do componente, bem como a avaliação de desempenho das paredes construídas com os painéis de gesso reforçado com fibra de vidro.

2 MATERIAIS

Um dos materiais básicos usados na produção dos painéis foi o gesso de construção (hemidrato $\hat{a}$), produzido na região de Araripina/PE. Na Tabela 1 constam as suas propriedades físicas e mecânicas, e na Tabela 2 a análise química e a sua composição mineralógica provável.

TABELA 1
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO GESSO

Determinação			Método de ensaio	Valores
Finura	#600		ASTM	0,7
% retida acumulada (em massa)	#150		C472-90	28,1
Finura	#840			0,0
% retida acumulada (em massa)	#420		NBR	1,8
	#210		12127/91	11,2
	#105			84,2
Módulo de finura			NBR 12127/91	1,99
Massa unitária (kg/m³)			NBR 12127/91	568
Relação água/gesso (a/g) para consistência normal			NBR 12128/91	0,64
Início de pega			NBR 12128/91	12min20s
Fim de pega			NBR 12128/91	20min30s
Massa específica (kg/m³)			NBR 6474/84	2660
Dureza (MPa)			NBR 12129/91	16,3
Resistência à compressão (MPa)			NBR 12129/91	11,3
Resistência à tração na flexão (MPa)			ISO 3051/74	5,3

TABELA 2
ANÁLISE QUÍMICA DO GESSO

Determinação	Teor (%)
Água combinada	5,80
Resíduo insolúvel em HCl (RI + SiO ₂)	0,31
Óxido de alumínio e óxido de ferro (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	0,29
Óxido de cálcio (CaO)	38,5
Óxido de magnésio (MgO)	0,15
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	54,7
Anidrido carbônico (CO ₂)	0,23
Água livre	0,65
Composição química provável	Teor (%)
Hemidrato (CaSO ₄ .1/2H ₂ O)	97,46
Anidrita (CaSO ₄)	-
Gipsita (CaSO ₄ .2H ₂ O)	0,94
Carbonato de cálcio (CaCO ₃)	0,27
Carbonato de magnésio (MgCO ₃)	0,25
Impurezas	1,08

Fonte: Relatório IPT nº 22406/93

As fibras de vidro tipo E empregadas nesta pesquisa são produzidas na indústria nacional, em feixes de aproximadamente 200 filamentos com diâmetro individual de 15 μ m sendo os comprimentos ensaiados de 13 mm e 25 mm. As fibras receberam ao final da fabricação um revestimento (coating) especial, para favorecer a sua dispersão nas pastas de gesso. Na Tabela 3 constam as suas propriedades físicas e mecânicas, citadas pela literatura e admitidas pelo produtor.

TABELA 3
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS FIBRAS DE VIDRO TIPO E

Propriedade	Valor
Diâmetro (mm)	8-10
Comprimento (mm)	10-50
Massa específica (kg/m ³)	2540
Módulo de elasticidade (GPa)	72
Resistência à tração (MPa)	3500
Alongamento na ruptura (%)	4,8

Fonte: HANNANT (1978)

As fibras de vidro produzidas no mundo inteiro apresentam propriedades químicas homogêneas e mesmo padrão da qualidade de produção, portanto, julgou-se desnecessária a análise de sua composição bem como de impurezas pela baixa probabilidade de interferirem prejudicialmente nas propriedades do GRG. Assim, a caracterização das fibras restringiu-se à determinação do teor de umidade, visto que a dosagem foi feita em massa seca de fibra com relação à massa de gesso. O teor de umidade das fibras de comprimento 13 mm foi de 9%, enquanto que para as fibras de 25 mm, o teor de umidade foi de 10%.

3 DEFINIÇÃO DO COMPÓSITO

Em face à inexistência de modelos para o dimensionamento de painéis de vedação vertical interna, adotou-se a premissa de fabricação do componente com o compósito de GRG de máxima resistência mecânica, pelo ensaio de resistência à tração na flexão. A escolha de tal ensaio decorreu dos seguintes motivos:

- a resistência à flexão é uma característica que se relaciona diretamente com outras importantes exigências de desempenho dos painéis, tais como: resistência inicial para a desforma e a resistência a impactos durante o transporte e montagem em obra, cuja análise seria mais complexa e de maior variabilidade;

- o ensaio de flexão é de fácil execução, por realizar-se em corpos-de-prova (CPs) prismáticos 40x40x160 mm, o que viabilizou o estudo simultâneo de 37 misturas e o ensaio de 111 CPs, visto que para cada mistura foram moldados 3 exemplares.

Assim, efetuou-se um estudo de dosagem das misturas de GRG com fibras de comprimento de 13 mm e 25 mm, e teores variando entre 0,5% e 2,5% (massa seca de fibras/massa de gesso).

A relação água/gesso (a/g - massa de água/massa de gesso) variou entre 0,45 e 0,85, sendo que para composições de GRG com a/g inferiores a 0,60, foi usado superfluidificante comercial à base de naftaleno sulfonado, em teor de 3% em relação à massa de gesso, pela necessidade de se manter um nível mínimo de trabalhabilidade para a moldagem.

Além da máxima resistência à tração na flexão, para a escolha da melhor composição de GRG, foi adotado também um critério prático de análise comparativa da trabalhabilidade das misturas. A trabalhabilidade do GRG é uma propriedade muito complexa de ser avaliada e, basicamente, é definida pelas próprias variáveis em estudo. Além disso, os métodos existentes para medidas de trabalhabilidade não são apropriados a esse tipo de compósito. Mesmo os métodos desenvolvidos para o concreto reforçado com fibras, não oferecem resultados satisfatórios para o GRG (AGOPYAN, 1982). Sendo assim, a trabalhabilidade foi definida como a maior ou menor facilidade observada pelo operador para homogeneização do GRG durante as operações de mistura, moldagem e adensamento, o que serviu também como parâmetro de comparação para a escolha e limitação do máximo teor de fibras incorporado pelas pastas de gesso.

Na Tabela 4 apresenta-se a composição das 37 misturas de GRG estudadas, e a avaliação prática da trabalhabilidade de cada uma dessas misturas.

O preparo das misturas de GRG foi feito em argamassadeira planetária (especificada pela NBR 7215/91), obedecendo à seguinte ordem de adição:

- colocação da quantidade total da água prevista na cuba da argamassadeira (de acordo com a relação a/g estabelecida) juntamente com o teor de aditivo (quando especificado);
- colocação da massa de gesso necessária à moldagem simultânea de 3 corpos-de-prova;
- mistura da pasta em velocidade baixa, durante 30 s;
- adição das fibras, com a pá em movimento, por mais 60 s, em velocidade baixa.

TABELA 4

COMPOSIÇÃO E TRABALHABILIDADE DE 37 MISTURAS DE GRG ESTUDADAS NA PESQUISA

Relação a/g (kg/kg)	Nível visual de trabalhab.	Compr. das fibras de vidro (mm)	% Fibras de vidro (massa seca fibra/massa gesso)								
			pasta	0,50	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
0,45 ⁽¹⁾	baixa plasticidade	sem fibras	X								
0,50 ⁽¹⁾	baixa plasticidade	25					X	X	X		
	plasticidade	13							X	X	X
0,55 ⁽¹⁾	plasticidade média	sem fibras	X								
0,65	boa plasticidade	sem fibras	X								
	plasticidade	25		X	X	X	X	X	X		
		13			X	X	X	X	X	X	X
0,75	mistura fluida	sem fibras	X								
		25					X	X	X		
		13			X	X	X	X	X	X	X
0,85	mistura muito fluida	sem fibras	X								
		25					X	X	X		
		13									

Nota: (1) Adição de 3% em massa de superfluidificante comercial, em relação à massa de gesso.

Concluída a mistura, a moldagem foi feita em fôrmas de aço, em uma única camada, com preenchimento completo dos moldes, e submetidos a adensamento mecânico durante 30 s, em mesa vibratória com frequência de vibração de 3600 rpm.

Os corpos-de-prova receberam o seguinte tratamento após o adensamento:

- regularização da superfície com espátula;
- desforma após 2 h, contadas a partir do início da mistura, período no qual os CPs permaneceram cobertos com papel úmido;
- secagem dos corpos-de-prova ao ar ambiente durante as primeiras 24 h após a desforma, e cura subsequente em estufa ventilada com temperatura entre 35 °C e 45° C, até atingir a constância de massa, o que em geral ocorria dentro de um prazo máximo de 6 dias.

A resistência à tração na flexão das misturas foi avaliada em CPs prismáticos, no estado seco, ensaiados segundo método ISO3051/74, com aplicação de carga central e vão livre de 100 mm. A Figura 1 reúne os resultados da resistência à tração na flexão das 37 composições de GRG.

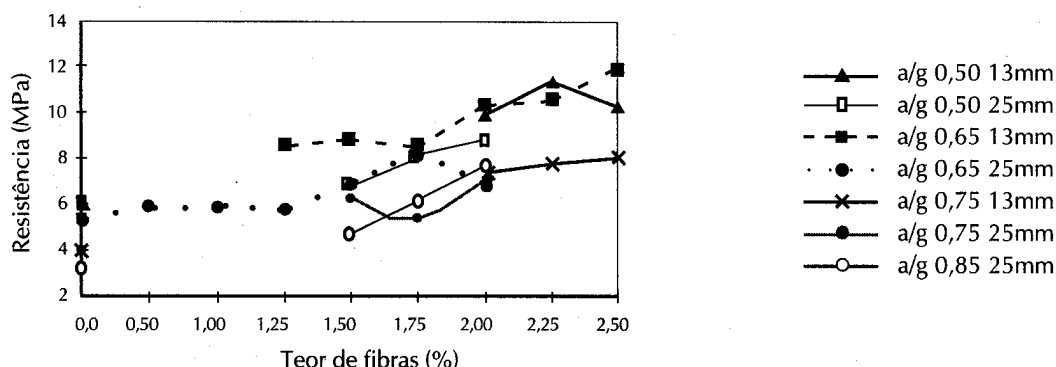


Figura 1- Resistência à tração na flexão de CPs de 40x40x160 mm, moldados com composições de GRG (gesso natural e fibras de vidro com 13 e 25 mm de comprimento)

A mistura selecionada, de máxima resistência à tração na flexão e consistência adequada para a moldagem, foi a mistura com teor de 2,25% de fibras com 13 mm de comprimento e relação a/g de 0,65, denominada composição A.

Para as fibras de 25 mm de comprimento, a mistura de máxima resistência, com o mesmo nível de trabalhabilidade foi a composição com teor de 1,75% de fibras e relação a/g de 0,65, denominada composição B. Embora fosse uma mistura mais econômica, descartou-se, inicialmente, o uso deste compósito por não apresentar a resistência máxima à tração na flexão, segundo premissa da metodologia desta pesquisa, e também por não se dispor, na época, de um misturador de eficiência assegurada para dispersar as fibras mais longas, de modo adequado e necessário para a moldagem dos painéis. Contudo, esta composição também foi viável para a produção de painéis, o que ficou demonstrado em estudos subsequentes sobre a otimização do componente.

A título de caracterização complementar foram realizados os seguintes ensaios para as composições A e B, cujos resultados constam na Tabela 5:

- resistência à tração na flexão após 2 h da moldagem, que determinam o nível de resistência do compósito no estado úmido, importante para as operações de desforma e transporte dos componentes, enquanto o material ainda apresenta um teor elevado de umidade;
- dureza superficial, ensaio realizado conforme a NBR 12129/91;
- absorção de água, porosidade aparente e massa específica, ensaios realizados com base nas recomendações da RILEM (1984).

TABELA 5

RESULTADOS DOS ENSAIOS COMPLEMENTARES FEITOS PARA AS COMPOSIÇÕES A, B E PARA A MATRIZ (PASTA DE GESSO PURO)

Mistura	Relação a/g (kg/kg)	Teor (%) e compr.(mm) das fibras	Resistência à tração na flexão (MPa)		Dureza superficial (MPa)	Absorção de água (%)	Porosidade aparente (%)	Massa específica (kg/m³)
			estado seco	estado úmido ⁽¹⁾				
Matriz	0,65	-	5,3	-	20,5	-	-	-
Compósito A	0,65	2,25% 13mm	10,5	3,8	23,6	37,06	45,22	1086
Compósito B	0,65	1,75% 25 mm	8,1	3,3	22,9	38,01	46,29	1038

Nota: (1) Após 2 horas da moldagem.

4 DEFINIÇÃO DA SEÇÃO GEOMÉTRICA DO PAINEL

4.1 Condições do estudo

Face à inexistência de procedimento de cálculo consagrado para dimensionamento de painéis de GRG e também de normas técnicas de ensaio e especificação destes componentes, não há como se estabelecer valores de referência para um pré-dimensionamento. Além disso, as especificações da normalização internacional vigente sobre pré-moldados de gesso para vedação vertical, referem-se principalmente a:

- placas de gesso acartonado como, por exemplo, a NF P 72302/1981 (Plaques de parement en plâtre), DIN 18180/1989 (Gypsum plasterboard) e ASTM C36 -88 (Standard specification for gypsum wallboard);
- placas de gesso com ou sem agregados ou com aditivo incorporador de ar: DIN 18168 (Wandbauplatten aus gips).

Cabe ainda ressaltar que a norma norte-americana sobre ensaio de painéis de gesso acartonado (ASTM C473 - 87), descreve claramente que não há registros sobre o grau de correlação entre os resultados obtidos por meio dos métodos de ensaio e o desempenho do componente quando submetido às condições de uso.

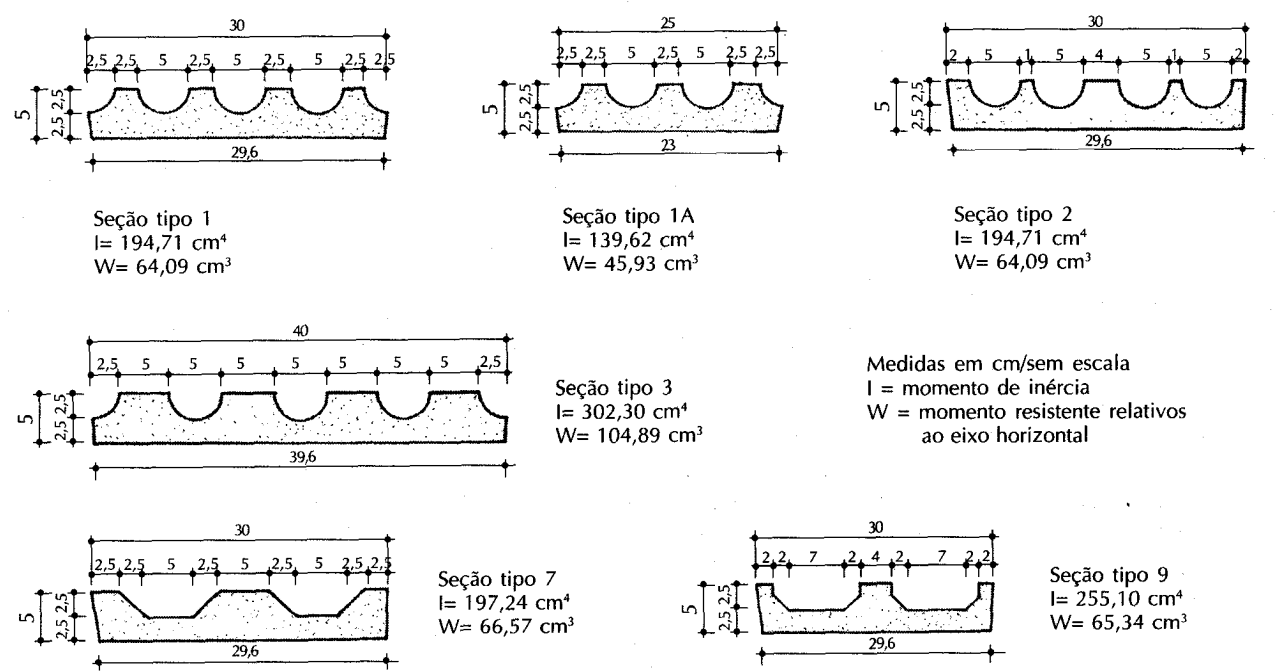


Figura 2 - Seções do painel de GRG inicialmente selecionadas para o ensaio de resistência à carga suspensa e à flexão estática, sendo de 2,80 m o comprimento das peças

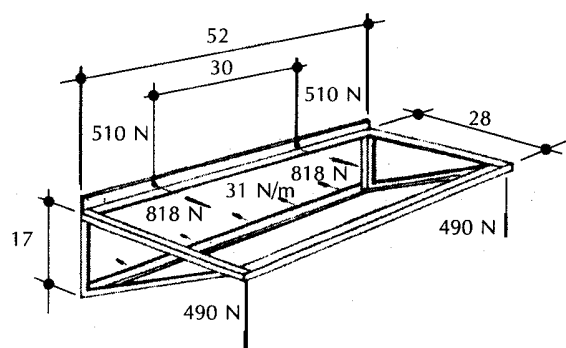
Portanto, optou-se pela escolha da seção do painel, a partir do projeto de algumas seções empíricas (Figura 2), analisadas conjuntamente sob três critérios básicos, ou seja:

- maior resistência à tração na flexão simples do componente, por ser esta uma das solicitações mais frequentes à qual os painéis estarão submetidos, desde as operações de desforma até a sua utilização final;

- a seção de maior interesse prático, no que concerne ao projeto arquitetônico, pela facilidade de modulação e execução de detalhes construtivos, e praticidade de produção dos painéis (fôrmas mais simples para a moldagem);

- espessura mínima de parede para permitir suporte de carga suspensa em qualquer ponto da seção.

Para a verificação de um dos principais requisitos da pesquisa, ou seja, a capacidade de suporte de cargas suspensas, foi realizado o ensaio comparativo de arrancamento de parafusos por tração, fixados com buchas convencionais, na região de menor espessura dos painéis. Os resultados do ensaio de arrancamento foram analisados de forma comparativa ao ensaio de carga suspensa (NBR 11678/90), no qual a reação de tração de cada um dos parafusos equivale a 818 N (ver Figura 3). Para tanto, foi registrada a carga do primeiro deslizamento e depois a de arrancamento dos parafusos, sendo o deslizamento detectado visualmente durante a execução dos ensaios. Considerou-se que essas cargas deveriam ser iguais ou superiores à carga de reação de cada parafuso (818 N), no ensaio normalizado de carga suspensa.



Medidas em cm
Sem escala

obs: reações no painel; peso do suporte=39N

Figura 3 - Arranjo do ensaio normalizado de carga suspensa (NBR 11678/90), e a reação de tração em cada um dos dois parafusos que sustenta a prateleira (818 N)

4.2 Produção dos painéis

Os painéis foram produzidos com a composição A, ou seja, o GRG selecionado conforme descrição constante no item 3.

A mistura foi preparada em betoneira convencional de eixo inclinado, com capacidade nominal de 320 L, obedecendo à seguinte ordem de colocação dos materiais na cuba: lançamento da água (a/g 0,65) e do gesso com homogeneização da pasta por 60 s, seguida da adição das fibras e mistura por mais 90 s.

Para a produção de um painel de 2,80 m de comprimento (Figura 7), utilizou-se um volume total de pasta de aproximadamente 55 L, enquanto que para a produção de 3 CPs prismáticos de 40x40x160 mm, utilizou-se cerca de 0,8 L de pasta. Visto existir influência do fator de escala, houve a necessidade de adequação dos tempos de mistura e adensamento do compósito. O estudo desses tempos foi feito de forma simultânea, em uma etapa complementar do Projeto (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 1993), de modo a conseguir-se uma pasta homogênea, com boa dispersão das fibras e, ao mesmo tempo, com fluidez suficiente para ser lançada nas fôrmas e adensada. Assim, o tempo total de mistura em betoneira foi definido em 2,5 minutos. O tempo de adensamento foi determinado com base nos resultados do ensaio de tração na flexão dos painéis em verdadeira grandeza (6 painéis para cada condição de estudo). Embora o tempo de adensamento tenha variado entre 1 e 3 min, com intervalos de 30 s, a análise estatística mostrou que, para um grau de confiabilidade de 95%, o tempo de vibração não alterou a resistência mecânica dos painéis. Dessa forma optou-se pelo adensamento durante 3 min, em razão da segurança, tendo em vista que para esse período de vibração não se observou segregação da pasta.

O preenchimento da fôrma foi feito pelo seu terço central, com a operação de lançamento feita com baldes, de forma alternada, por 2 operários. Para garantir o adensamento da mistura, os painéis recém-moldados foram submetidos a vibração mecânica durante 3 min, em mesa vibratória convencional, usada para pré-moldados de concreto (3500 rpm, 60 Hz) com tampo de dimensões 1,01 x 1,94 m.

A fôrma usada foi confeccionada em madeira revestida com laminado plástico, sendo a formatação

A desforma ocorreu entre 40 min e 1h15min após a moldagem das peças, seguida de secagem em estufa montada sob lona plástica de polietileno, com lâmpadas de 250 W de luz infravermelha e ventiladores domésticos.

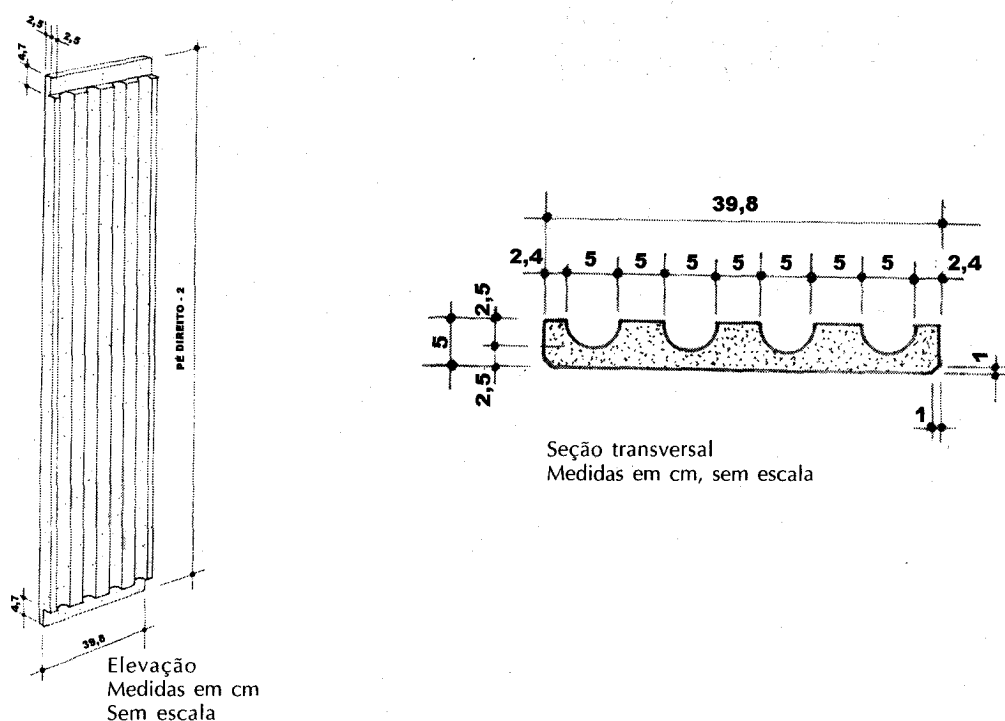


Figura 7 - Elevação e seção final do painel utilizado para o subsequente desenvolvimento do método construtivo de paredes de GRG, em campo

4.3 Resultados dos ensaios

No teste comparativo de arrancamento por tração, foram ensaiados 6 pontos em cada um dos painéis, tomando-se a precaução de fazer os ensaios fora do terço central do componente, de modo a não causar desvios no ensaio de flexão, feito posteriormente. Através do dispositivo de ensaio ilustrado na Figura 4, gerou-se uma reação de tração no parafuso cravado no painel, mediante o carregamento progressivo feito com pequenas placas de aço (0,5kg e 1 kg), posicionadas em um suporte, na extremidade livre do dispositivo em referência. A taxa média de aplicação de carga foi 9,8 N a cada 15 s; assim, para

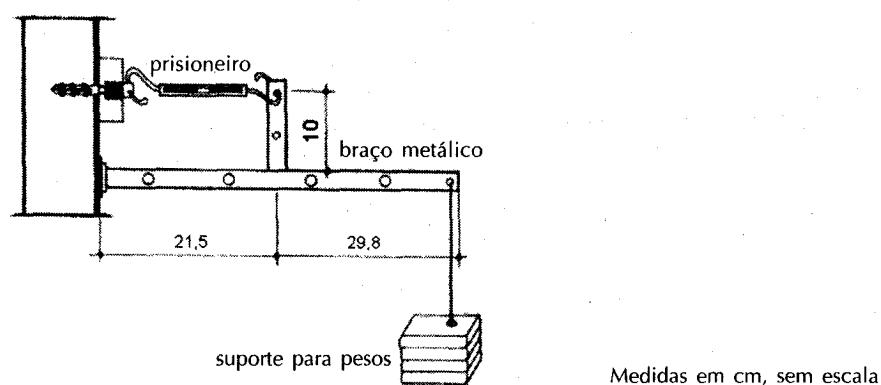


Figura 4 - Dispositivo empregado no ensaio de arrancamento de parafusos de rosca soberba, fixados com buchas de nylon comuns

cada estágio de carregamento, a reação resultante no parafuso foi de 107 N.

Na Figura 5 estão representadas graficamente as cargas médias do primeiro deslizamento e do arrancamento dos parafusos. Na Tabela 6 constam as seções dos painéis, o tipo de bucha e de parafuso, bem como o coeficiente de variação destas cargas em cada um dos painéis.

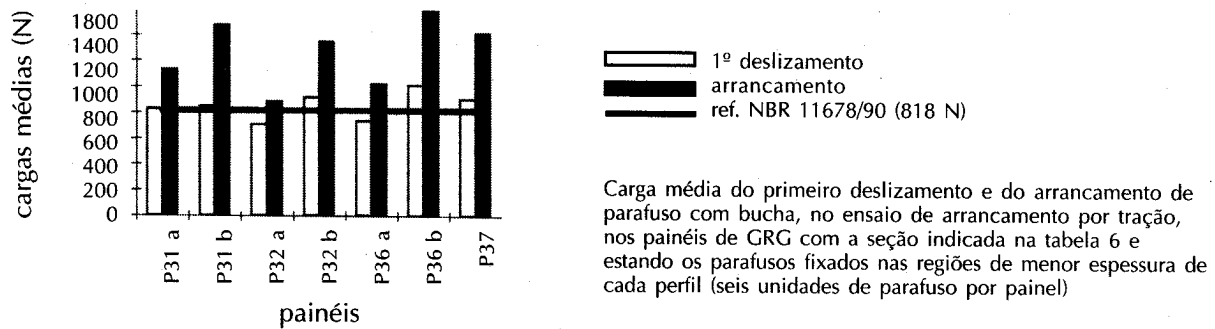


Figura 5 - Ensaio comparativo de arrancamento por tração

TABELA 6
CONDIÇÕES E RESULTADOS DO ENSAIO COMPARATIVO DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSOS POR TRAÇÃO.
SEIS UNIDADES DE PARAFUSO POR PAINEL

PAINEL	P31a	P31b	P32a	P32b	P36a	P36b	P37
Seção transversal							
(Medidas em cm)							
Bucha Fischer	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6
Parafuso f e compr.(mm)	3,9 31	3,9 42	3,9 31	3,9 42	3,9 31	3,9 42	3,9 42
Coef.var %							
carga1º deslizam.	21	10	14	19	9	14	12
Coef. var. %							
carga arrancam.	18	10	18	13	10	15	18

Ainda, como complemento do ensaio de arrancamento de parafusos, 2 painéis com a seção nº2 (ver Figura 2) foram justapostos lado a lado, fixados em um pórtico e submetidos ao ensaio de suporte de carga suspensa (NBR 11678/90). O dispositivo foi fixado por buchas Fischer S-6, com parafusos de rosca soberba ($\varnothing$ 3,9 x 42) mm, na região de menor espessura da seção, permanecendo assim por 24 horas, conforme condições estabelecidas pela norma.

A partir dos resultados do ensaio comparativo de arrancamento por tração, observa-se que, com exceção dos testes feitos nos painéis P32a e P36a 3, os demais apresentaram resultados satisfatórios tanto para a carga do primeiro deslizamento, quanto para a carga de arrancamento do parafuso. As diferenças entre as resistências ao arrancamento, para painéis produzidos com o mesmo material e sob as mesmas condições, podem ser atribuídas às condições artesanais de moldagem, desforma e secagem.

O ensaio de flexão foi executado em um exemplar de cada uma das seções em estudo, relacionadas na Tabela 7, onde também consta o vão livre do ensaio de cada painel, e os valores individuais de carga de ruptura, resistência à tração na flexão, flecha máxima e flecha residual, medidas no meio do vão. Na figura 6 estão ilustradas as curvas de carga x flecha obtidas neste ensaio.

TABELA 7
CONDIÇÕES E RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO DE PAINÉIS DE GRG

Painel Nº	Seção (Fig. 2)	Vão livre (m)	Carga de ruptura (N)	Resistência (MPa)	Flecha (mm)	
					máxima	residual
31	seção 2	211,25	1041	8,6	31,0	14,4
32	seção 3	205,50	1315	6,4	18,9	18,3
35	seção 3	213,20	1251	6,4	24,0	10,9
36	seção 7	214,75	850	6,8	24,0	22,7
40	seção 1A	212,00	722	8,3	34,2	14,0
41	seção 9	206,80	813	6,4	11,2	10,8
42	seção 1	211,25	722	6,2	15,6	14,4

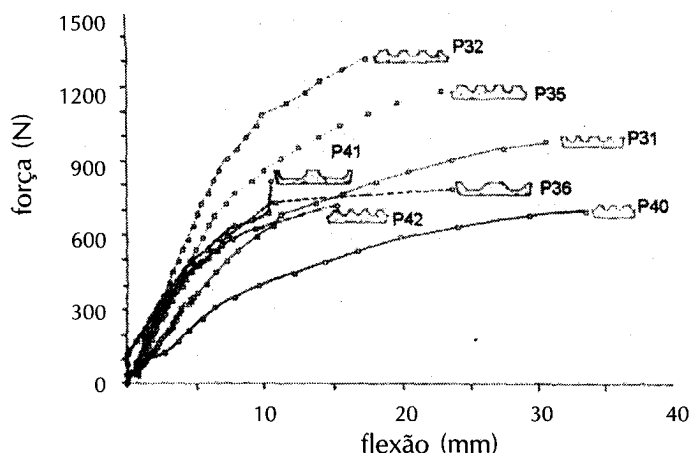


Figura 6 - Curvas de carga x flecha medida no ponto médio do vão livre dos painéis de GRG, no ensaio de flexão simples, com aplicação de carga central

Durante o ensaio de flexão observou-se deformações significativas nos painéis, o que pode ser comprovado por meio dos valores das flechas máximas. É oportuno ainda ressaltar que, uma vez alcançado o limite de resistência, os painéis não se quebraram de modo frágil, visto que ainda houve registros de flechas residuais. Isto comprova que a adição de fibras ampliou a capacidade de deformação do compósito e impediu o colapso dos componentes, sendo que a distribuição de fibras na seção de fratura garantiu a sustentação das duas metades dos painéis.

Observa-se também que os painéis P32 e P35, cuja seção transversal apresenta maior inércia (Figura 2, seção 3), atingiram carga de ruptura superior a 1200N.

4.4 Definição da seção do painel

A título de comparação vale comentar as resistências de painéis existentes no mercado como é o caso do painel espanhol de GRG (INSTITUTO EDUARDO TORROJA, 1987) com seção vazada por furos cilíndricos, que apresenta carga mínima de ruptura na flexão de 882 N para componentes com espessura de 70 mm, e 1176 N para componentes com espessura de 90 mm. Estas cargas de ruptura resultam em uma tensão de aproximadamente 1 MPa, para painéis de ambas as espessuras. Ainda, com relação a componentes de vedação de GRG comercialmente disponíveis, o painel Streamline (STREAMLINE, 1991) com espessura de 63 mm e seção vazada por furos prismáticos, apresenta resistência à flexão de 2 MPa.

Com base na discussão precedente sobre o ensaio de flexão dos painéis, do ponto de vista de resistência mecânica, a seção nº3 foi considerada uma das mais favoráveis para o prosseguimento da pesquisa, visto que os 2 painéis moldados com esta seção (P32 e P35) atingiram as 2 maiores cargas de ruptura e nível de resistência superior ao apresentado pelos painéis espanhóis (cerca de 1 MPa) e pelo painel Streamline (2 MPa). Além disso, toda a experiência subsequente de campo com o transporte, operações de corte, montagem e ensaios mecânicos em paredes em escala real, inclusive de vinculação com estruturas de concreto armado, comprovou que a resistência apresentada pelos painéis de GRG foi plenamente satisfatória.

Quanto à modulação dos componentes no projeto arquitetônico e execução de detalhes construtivos, não haveria sérias limitações com relação ao uso de qualquer uma das seções, pois, ao longo do desenvolvimento desta etapa da pesquisa, foram feitas inúmeras simulações e discussões acerca de ante-projetos para a construção de paredes de GRG.

Por tudo o que foi exposto e discutido, considerou-se satisfatória a resistência da seção nº 3, porém, em face às dificuldades de formatação das bordas externas dos painéis moldados com esta seção, efetuou-se uma modificação no desenho do perfil com base na seção nº 2, de modo a obter-se uma seção com a mesma inércia do que a seção nº3. Disso resultou um painel ilustrado na Figura 7, e que foi empregado para o desenvolvimento do método construtivo, feito na seqüência o Projeto.

5 COMPONENTE E MÉTODO CONSTRUTIVO

O painel desenvolvido nessa pesquisa é de geometria esbelta, com altura variando entre 2,23 m e 2,70 m, com a seção transversal ilustrada na Figura 7.

As paredes foram projetadas com espessura de 130 mm, pela junção dos painéis em forma de sanduíche, com a face lisa voltada para fora, conforme ilustra a Figura 8. A espessura das paredes é modulável, podendo adequar-se à largura variável de vigas, por exemplo.

O método construtivo das paredes de GRG tem outro aspecto inovador relativo à reduzida diversidade de materiais empregados na sua construção. Todos os componentes de estruturação interna da parede,

(guias de marcação, guias de reforço e guias verticais), são produzidos com o próprio GRG. A fixação destas guias nos componentes estruturais (lajes de piso e teto, vigas e pilares) é feita através de pasta de gesso com solução adesiva (gesso, água e cola à base de PVA). As guias de reforço são fixadas na face interna dos painéis por meio de presilhas de PVC e parafusos galvanizados de rosca soberba. Os painéis por sua vez, são fixados nas guias de marcação usando-se também parafusos galvanizados de rosca soberba. O preenchimento das juntas verticais entre painéis e pilares ou paredes, e das juntas horizontais junto às lajes e vigas é feito com a pasta e gesso e solução adesiva. Sendo a formulação da “pasta adesiva” (gesso, água e cola à base de PVA) feita sem o uso de aditivos especiais retentores de água, faz-se necessário efetuar a aplicação prévia de uma ponte de aderência, isto é, o pincelamento de uma solução de água e cola à base de PVA, antes da aplicação da pasta de gesso sobre a superfície dos painéis, guias ou da estrutura de concreto. Está prevista ainda a aplicação de telas (tecido de algodão) de reforço nas quinas das paredes, juntas verticais com estruturas e paredes externas e juntas horizontais com laje de teto. Nas juntas onde estão previstas movimentações estruturais ou no centro das paredes longas (comprimento superior a 6 m), pode-se usar asfalto elastomérico como junta de movimentação. Trata-se de um material aplicado a frio com pincel, e que aceita bom acabamento de juntas.

As peças complementares para composição dos detalhes tais como vedação dos shafts, bandeiras, bonecas e arremates de portas e janelas, fechamento de quinas de paredes, são produzidas também com o mesmo compósito e devem ser dimensionadas através de um estudo preliminar de modulação arquitetônica. Cabe ressaltar que a elaboração de um ante-projeto arquitetônico é muito importante para que todos os componentes sejam confeccionados segundo um projeto racionalizado, de modo que o método construtivo de paredes de GRG possa ser eficaz e competitivo. Todavia, todos esses componentes complementares podem ser obtidos através do simples corte dos painéis, porém, desde que sejam previamente estudados e projetados.

Os cortes necessários à instalação de caixas de passagem ou de interruptores e tomadas podem ser formatados nos painéis durante a sua moldagem, ou eventualmente podem ser feitos in loco, ou seja, com os painéis já fixados em posição vertical por meio de serra elétrica de disco ou do tipo tico-tico.

A impermeabilização dos rodapés de cozinhas e áreas de serviço, e também da face interna da parede de banheiros pode ser feita com uma membrana flexível à base de asfalto elastomérico estruturada com uma tela de reforço, o que garante a integridade dos painéis em condições normais de utilização das áreas molhadas, pois o GRG não deve permanecer em contato direto com água. Além disso, o uso de uma membrana impermeável nas paredes internas do banheiro, minimiza o risco de desenvolvimento de bolor em armários adjacentes à face externa de tais paredes.

Os painéis podem receber aplicação direta de pintura após lixamento superficial, como é usual em paredes de alvenaria convencional revestidas com pasta de gesso.

É possível também o assentamento de revestimento cerâmico diretamente sobre os painéis ou sobre a impermeabilização asfáltica; para tanto, pode-se empregar cola à base de PVA ou argamassa adesiva à base de cimento Portland.

6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS PAREDES COM PAINÉIS DE GRG

Os requisitos de desempenho verificados para as paredes foram os relacionados com a segurança estrutural, conforto acústico, capacidade de aderência de revestimentos cerâmicos, demonstração da eficiência do sistema de impermeabilização e a funcionalidade construtiva, no que se refere à aptidão do recebimento de instalações prediais.

Doze paredes, de comprimento variando entre 0,41 e 5,90 m, e altura entre 2,25 e 2,72 m, foram construídas em um apartamento modelo de um prédio em estrutura de concreto, reproduzindo-se todos os detalhes do projeto original. Nestas paredes foram realizados os ensaios físicos e os mecânicos decorrentes das solicitações estruturais mais críticas, apresentados a seguir.

6.1 Resistência a impacto de corpo mole

O ensaio de impacto de corpo mole de grandes dimensões (peso=392,4 N) foi selecionado por ser um ensaio de grande intensidade de solicitação entre os ensaios normalizados, através do qual pode-se avaliar, de forma representativa, o trabalho associado da parede com todos os seus componentes: painéis, juntas verticais, juntas horizontais, vínculos internos e externos. O método de ensaio adotado foi o proposto pelo INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT (1981) para o estado limite de utilização, ou seja, 1 impacto de 60 J, seguido de 3 impactos de 120 J. Exigiu-se como critério básico de desempenho a não fissuração das paredes e de suas juntas após o ciclo de impactos recomendado.

Segundo o método de ensaio adotado, os deslocamentos instantâneo e residual das paredes também foram monitorados, de modo a obedecerem aos limites máximos de amplitude estabelecidos em função da altura das paredes.

Todas as 12 paredes testadas foram aprovadas integralmente no ensaio de impacto, não apresentando nenhuma fissura para o limite de utilização, sendo que as amplitudes médias dos deslocamentos

instantâneos variaram entre 30 e 40 % do limite máximo 4, e que os deslocamentos residuais foram nulos para todas as paredes 5. Vale ressaltar que a pasta de gesso com solução adesiva mostrou comportamento satisfatório no rejuntamento dos painéis e na fixação das guias de GRG nas lajes de piso e teto, com boa aderência e sem fissuras decorrentes de retração ou da ação dos impactos.

O ciclo previsto para o limite de utilização foi aplicado às paredes para efeito de aprovação do método construtivo. Cabe ressaltar, portanto, que em uma etapa prévia de estudo das paredes, alguns painéis demonstraram boa resistência tanto com relação à intensidade como com relação à repetitibilidade dos impactos, tendo recebido até 28 impactos com energias crescentes de 60 a 240 J, sem entrar em colapso.

6.2 Interação com portas - fechamento brusco

A avaliação do desempenho das paredes de GRG frente ao fechamento brusco de portas, foi efetuada conforme a NBR 8052/82 em 3 portas instaladas no apartamento modelo com larguras de 0,60, 0,70 e 0,80 m. O ensaio constitui-se em 10 fechamentos bruscos com uma força de 147 N. As paredes adjacentes às portas com geometria variada apresentaram comportamento satisfatório, sem fissurar.

6.3 Resistência a carga suspensa

Este ensaio foi realizado segundo a NBR 11768/90 por um período de 79 horas, embora o tempo exigido pela norma seja de 24 horas. O ensaio consiste na fixação na parede de uma prateleira de aço, por meio de 2 parafusos galvanizados de rosca soberba com buchas de náilon (tamanho S8). No dispositivo de ensaio é aplicada uma carga de 981N, que corresponde a uma reação de, aproximadamente, 818 N em cada um dos parafusos de sustentação da prateleira. O resultado do ensaio foi considerado satisfatório visto que o dispositivo de ensaio foi instalado na região de menor espessura dos painéis (esp = 25 mm), e não apresentou nenhum deslizamento ao longo do tempo de observação. Após este teste, outros de caráter expedito foram realizados com sucesso, tal como a instalação e o carregamento de redes de descanso, fixadas com ganchos convencionais de mercado.

6.4 Comportamento frente à deformação de lajes

A parede ensaiada foi avaliada quanto à sua capacidade de suportar a deformação de 2 lajes de concreto armado (de piso e de teto), com área de 52 m². A parede tinha dimensões 5,90x2,68x0,13 m, 29 juntas entre painéis, e foi construída no centro do vão das lajes citadas. As lajes de piso e de teto foram carregadas de forma simultânea até que a laje de piso atingisse uma flecha máxima de 6,5 mm (cerca de 5,4 kg/m² incluindo carga permanente e sobrecarga). Após 18 horas de manutenção da carga para a deformação prevista, o ensaio foi concluído e o comportamento da parede foi considerado satisfatório, porque a parede de GRG apresentou comportamento típico de uma “viga fletida”, com uma fissura vertical de flexão no centro dos 2 lados da parede, fissuras de compressão no seu topo pela deformação da laje de teto e fissuras de tração na base devidas à livre deformação da laje de piso, que não tinha qualquer apoio no centro do seu vão. Através deste ensaio pode-se comprovar a capacidade das paredes de GRG em resistir aos esforços introduzidos pela estrutura portante dos edifícios, situação esta que é corrente para lajes de concreto armado flexíveis. A fissura central da parede, em projetos com estruturas muito deformáveis, pode ser prevenida pelo uso de uma junta de movimentação preenchida, por exemplo, com asfalto elastomérico, que aceita acabamento de pintura.

6.5 Isolação de som aéreo

Pelo teste em uma parede com 11,2 m², constituída por 20 painéis (10 de cada lado), obteve-se um índice de redução sonora ponderado de 41 dB (ISO 717) e 41 CSTA (ASTM E 413), valores comparáveis aos de uma alvenaria convencional revestida de argamassa. O ensaio foi realizado pelo INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, conforme laudo n° 809.252.

6.6 Comportamento frente à ação de umidade

O sistema de proteção adotado foi o de impermeabilização por meio de uma membrana flexível, à base de asfalto modificado⁶. Este é um produto de fácil aplicação e de preço mais acessível do que outros à base de neoprene, por exemplo. Dada a natureza elástica do produto, a mínima movimentação cíclica das paredes internas, as condições amenas de envelhecimento e a comprovada capacidade de estanqueidade à água do produto, os testes foram executados apenas para determinar a permeabilidade ao vapor de água, que será descrita a seguir, e a capacidade de aderência de revestimentos cerâmicos, conforme discussão no item 6.7.

Para o teste de permeabilidade do produto foi adotada a norma DIN 52615/87, para condições ambientes de temperatura de 23°C, e de umidade relativa de 50/95%. Os corpos-de-prova consistiram de discos de GRG com área de 43,374 mm² e espessura 25 mm, revestidos em uma das faces com 2 ou 3 demãos de asfalto elastomérico, cujo desempenho foi comparado ao de corpos-de-prova de controle

(discos de GRG sem revestimento). O fluxo superficial de vapor de água (WDD) foi medido em 6 corpos-de-prova para as 3 condições citadas, durante 28 dias. Constatou-se que os resultados médios para 2 ou 3 demãos foram inferiores a 1 g/m².dia, enquanto que para os discos de controle o fluxo superficial de vapor de água foi de 224 g/m².dia. Em vista destes resultados considerou-se satisfatório o desempenho da membrana asfáltica com relação à permeabilidade ao vapor de água. Mas, por motivo de segurança de estanqueidade contra falhas de aplicação, recomendou-se o uso de membranas asfálticas elastoméricas constituídas por primer e 3 demãos do produto.

6.7 Aderência de revestimento cerâmico

Neste ensaio foram testadas várias opções para o assentamento de um único tipo de azulejo, utilizando-se argamassa adesiva à base de cimento Portland e cola PVA e 3 condições da base, a saber: com fundo preparador de base acrílica, com verniz acrílico para concreto aparente e sem tratamento superficial, procedendo-se apenas à limpeza da parede. A capacidade de aderência foi avaliada através da medida da resistência de aderência à tração de 6 corpos-de-prova de 50x50 mm, cortados dos azulejos e, ensaiados entre 30 e 33 dias decorridos do seu assentamento. As técnicas de assentamento consideradas satisfatórias foram aquelas que permitiram o registro de resistência de aderência média maior do que 0,3 MPa, sendo este um valor fixado pela NBR 8214/83. Por esse critério, a única técnica que não resultou satisfatória foi a de assentamento dos azulejos diretamente sobre os painéis com argamassa adesiva. Observou-se que a resistência média de aderência foi maior com o emprego de cola PVA, especial para esse fim, podendo-se até dispensar, neste caso, o uso do primer, visto que o resultado médio foi de 0,32 MPa. A utilização do fundo preparador acrílico com a cola PVA especial para assentamento de azulejos, propiciou as maiores resistências de aderência, com valor médio de 0,45 MPa.

Para os testes de aderência sobre a membrana asfáltica efetuou-se o lixamento da parede para remoção de resíduos de desmoldante e de poeira, a aplicação de uma pintura primária à base de solução asfáltica elastomérica (primer), seguida da aspersão de areia peneirada e aplicação de chapisco (1:3) com solução adesiva de PVA. Após este preparo da base, procedeu-se então à aplicação final da membrana elastomérica em 2 ou 3 demãos. Os corpos-de-prova de azulejo 50x50 mm, também foram assentados com argamassa adesiva e com cola PVA especial. Considerando-se o mesmo critério de 0,3 MPa para a resistência média de aderência, observou-se que a argamassa adesiva sobre 3 demãos de membrana asfáltica, foi a opção mais adequada e o único tratamento que atendeu o critério adotado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Sobre os painéis

Em se tratando de emprego de novos componentes de construção civil, é preciso analisar conjuntamente as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos materiais e componentes, bem como o custo de produção e montagem em obra. Neste trabalho ficou evidenciada a viabilidade técnica do uso de painéis de GRG, em função das suas propriedades mecânicas. Conforme comentários anteriores, este trabalho inseriu-se em um amplo projeto de pesquisa, onde foram avaliadas outras propriedades do componente e de paredes em verdadeira grandeza, as quais atenderam aos critérios nacionais e internacionais adotados na pesquisa. Informações mais detalhadas constam na dissertação de mestrado de OLIVEIRA (1995), ou ainda em forma resumida na publicação de OLIVEIRA et al (1993).

O processo utilizado para a produção dos componentes é simples e propicia o uso de equipamentos convencionais e de baixo custo.

As demais vantagens do emprego do painel de GRG, desenvolvido neste estudo, estão associadas às propriedades dos materiais comentadas na introdução e também ao fato do componente fazer parte de um método construtivo racionalizado para construção de paredes, com os seguintes reflexos positivos no custo global do processo construtivo, quais sejam: eventual redução do custo de fundações, pela redução do peso próprio das paredes; postergação do desembolso financeiro em função de uma esperada produtividade na montagem; redução do custo de mão-de-obra para instalações embutidas; diminuição do volume de entulho de obra.

O painel escolhido ao final deste trabalho foi adotado para o desenvolvimento de um método construtivo de paredes internas de vedação, cujo desempenho equivale ao da alvenaria convencional e satisfaz às principais exigências dos usuários, no que diz respeito à função de vedação interna vertical. Ainda mais, os resultados obtidos nesta pesquisa indicam ser possível a racionalização do painel proposto, bem como constituir-se em subsídio ao desenvolvimento e à avaliação de novos componentes de GRG.

7.2 Sobre o desenvolvimento das paredes

Pelo caráter versátil dos painéis foi possível o desenvolvimento desse método alternativo e inovador para a construção de paredes de vedação interna. Cabe ressaltar que o aproveitamento do pleno potencial desse método construtivo deve, necessariamente, contar com a racionalização do projeto como um

tudo, principalmente no que diz respeito às atividades construtivas que têm relação direta com o subsistema de vedação.

Uma das grandes vantagens do método construtivo de paredes de GRG é a utilização de um compósito que, em função da adição de fibras, apresenta maior ductilidade e tenacidade do que a matriz. Desta maneira consegue-se ampliar a capacidade de deformação e resistência do material em serviço, como foi comprovado pelo teste de carregamento das lajes. O comportamento mecânico satisfatório das paredes nos ensaios de corpo mole foi resultado, principalmente, da união interna dos 2 lados da parede, feita através de guias intermediárias de reforço. Esse tipo de vinculação flexível favorece a dissipação de energia proveniente dos impactos, pela movimentação dos componentes adjacentes ao ponto de impacto, favorecendo o desempenho das juntas e, em última análise, aumentando a resistência global da parede. Os ensaios dinâmicos também atestaram serem adequadas as soluções definidas para as juntas e vinculações das paredes.

Os resultados positivos desta pesquisa são decorrentes de um estudo interdependente das propriedades dos materiais, da geometria dos painéis, do tipo de junta e da vinculação interna e externa dos componentes. A análise conjunta dessas variáveis propiciou a construção de paredes de GRG com o desempenho equivalente ao de uma parede convencional no que diz respeito aos requisitos de segurança estrutural, isolamento de som aéreo, capacidade de aderência de revestimentos cerâmicos, o que viabiliza tecnicamente o seu emprego em substituição à alvenaria tradicional.

7.2 Sobre a transferência para o setor produtivo

O método construtivo de paredes de GRG é passível de transferência imediata ao setor produtivo, visto que o seu desempenho atendeu aos critérios adotados, satisfazendo às principais exigências dos usuários, no que diz respeito à função de vedação de paredes internas.

Concluído o estudo de desempenho global das paredes com o painel da Figura 7, o Projeto prosseguiu com a racionalização do componente para uma espessura de 45 mm e a alteração do tipo e teor de fibras até então usados. Procedeu-se novamente aos ensaios de desempenho, com exceção do teste de isolamento acústico. A versão racionalizada dos painéis mostrou-se tecnicamente viável em face da experiência satisfatória tida com dois apartamentos em Goiânia, em uso há mais de dois anos, nos quais foram construídas 184 m² de paredes internas de GRG.

Assim, a EPUSP e seus parceiros dispõem desta tecnologia para repasse imediato a fabricantes de gesso, de pré-moldados, ou diretamente a construtores que tenham interesse em investir na sua própria usina de produção, com custo estimado em US\$270.000, para 650 painéis/dia.

8 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de Mestrado concedida à co-autora deste trabalho, ao Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP pelo apoio e suporte técnico, e à Encol S.A./DITEC e Owens Corning Fiberglas A. S. Ltda. pelo patrocínio da pesquisa.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V. *The preparation of glass reinforced gypsum by premixing and its properties under humid conditions*. London, 1982. (Thesis for the degree of Doctor of Philosophy - King's College, University of London).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C36-88 *Standard specification for gypsum wallboard*.
- _____. ASTM C472-90 - *Standard methods for physical testing of gypsum plaster and gypsum concrete*.
- _____. ASTM C 473-87a. - *Standard test methods for physical testing of gypsum board products and gypsum lath*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 6293/1984 - *Materiais betuminosos - Determinação da ductibilidade - Método de ensaio*.
- _____. NBR 7215/1991 - *Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio*.
- _____. NBR 8054/1983 - *Porta de madeira de edificação: Verificação do comportamento da folha submetida a manobras anormais - Método de ensaio*.
- _____. NBR 8214/83 - *Assentamento de azulejos*.
- _____. NBR 11678/1990 - *Divisórias leves internas mduladas - Verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas - Método de ensaio*.
- _____. NBR 11675/1990 - *Divisórias leves internas moduladas - Verificação da resistência a impactos - Método de ensaio*.
- _____. NBR 11678/1990 - *Divisórias leves internas moduladas - Verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas - Método de ensaio*.
- _____. NBR 12127/1991 - *Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó - Método de ensaio*.
- _____. NBR 12128/1991 - *Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta - Método de ensaio*.
- _____. NBR 12129/1991 - *Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas - Método de ensaio*.
- _____. NBR 13207/1994 - *Gesso para construção civil - Especificação*.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. AFNOR NF P 72302/81 - *Plaques de parement en plâtre - Définition, specifications et essais*.

BIJEN, J., PLAS, C. van der. *Polymer modified glass fibre reinforced gypsum*. In: *Materials and Structures*, n. 25, p. 107-114, 1992.

CERACEM INC - *CERACEM construction systems*. s. l. p., 1994. (technical manual)

DEUTSCHE INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 52615 Nov. 1987 - *Determination of water vapour (moisture) permeability of construction and insulating materials*.

_____. DIN 18180 Sep. 1989 - *Gypsum plasterboard - types, requirements and testing*.

_____. DIN 18168 Jun. 1978 - *Wandbauplatten aus gips - Eigenschaften, anforderungen, prüfung*.

HANNANT, D. J. *Fibre cements and fibre concrete*. New York, John Wiley, 1978.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO S.A. *Formulação de critérios para avaliação de desempenho de habitações*. São Paulo, 1981. (Relatório interno n.16.277).

INSTITUTO EDUARDO TORROJA. *Sistemas de placas de yeso TAINSA de 7 y 9 cm de espesor para tabiquería*. Madrid, 1987. (Documento de Idoneidad Técnica n. 176 - Materiales y Procedimientos no Tradicionales de Construcción)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3051 - 1974 (E) - *Gypsum plasters - Determination of mechanical properties*.

KUWATA, A. *Gypsum slag building materials for exterior wall*. In: *INNOVATING TECHNOLOGIES IN BUILDING . Proceedings*. Paris, 1983. p. 119-122.

OLIVEIRA, C. T. A. *Desenvolvimento de um painel de gesso reforçado com fibras de vidro para vedação vertical*. São Paulo, 1995. Dissertação (Escola Politécnica, Universidade de São Paulo).

OLIVEIRA, C. T. A., AZEVEDO, L. F., ZORZI, L. C., SELMO, S. M. S., AGOPYAN, V. *Desenvolvimento de painéis de vedação vertical de gesso reforçado com fibras de vidro*. In: III SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL. *Anais. São Paulo*, 1993. p.416-25.

RILEM. Technical Committee 49TRF. Testing methods for fibre reinforced cement-based composites. *Materials and Structures*, v. 17, n. 102, Nov./Dec. 1984. (DRAFT RECOMMENDATION/80).

SINGH, M., GARG, M. *Gypsum-based fibre-reinforced composites an alternative to timber*. *Construction and Building Materials*, v. 8, n. 3, p. 155-160, 1994.

STREAM LINE BUILDING PRODUCTS LTD. *Streamline superior internal walling*. U.K., Jul. 1991. (Technical Manual)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. ESCOLA POLITÉCNICA. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL. *Desenvolvimento de painéis de vedação vertical de gesso reforçado com fibras de vidro: Projeto EP/FIBER/EN-10; relatório da etapa 3: desenvolvimento do painel e do método construtivo das paredes com painéis de 1 face acabada e espessura de 50 mm*. São Paulo: EPUSP, 1993. 136 p. (Relatório EPUSP/CPqDCC Rt n. 10.085)

10 NOTAS

- 1 Sulfatos residuais são sulfatos de cálcio (dihidrato, hemidrato e anidrita) resultantes de processos químicos industriais, ou seja, são subprodutos da indústria de fertilizantes, de ácidos orgânicos e inorgânicos, de purificação de gases de combustão de óleos contendo enxofre.
- 2 A temperatura preconizada pela ASTM C472-90 é de 43 ± 2 °C.
- 3 Os ensaios P32a, P32b, P36a e P36b, representam 2 ensaios realizados em cada um dos painéis, porém em regiões distintas, ou seja, nos 2 terços extremos de cada painel, denominadas regiões a e b.
- 4 O limite máximo de deslocamento instantâneo, medido após o 1º impacto de 120 J, é fixado em função da altura H das paredes ($d_h = H/165$), e variou entre 18 e 22 mm.
- 5 O limite máximo para deslocamento residual, medido após 5 min do 3º impacto de 120 J, também é fixado em função da altura H das paredes ($d_{hr} = H/625$).
- 6 Produto resultante da adição de elastômeros e outros polímeros em asfalto, contendo solventes orgânicos e que pode ser aplicado a frio. Suas propriedades elásticas conferem flexibilidade em temperatura baixa e resistência ao escorrimento em temperatura elevada. A sua dutibilidade (NBR 6293) é de 40 cm, e a resistência à fadiga no ensaio de dobramento é de 36.000 ciclos.

VAHAN AGOPYAN

Eng. Civil, PhD, Prof. Titular do PCC/USP

PCC/USP, Caixa Postal 61548, São Paulo/SP, CEP 05424-970

E-mail: agopyan@pcc.usp.br

CLAUDIA T.A. OLIVEIRA

Eng. Civil, MEng., Doutoranda no Depto. Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo PCC/USP

E-mail: ctolivei@spider.usp.br

SILVIA M. S. SELMO

Eng Civil, MEng., Profa. Assistente do PCC/USP

E-mail: smssselmo@pcc.usp.br