

Simulação numérica de painéis pré-fabricados em materiais compostos utilizados como elementos de vedação em edificações

LUISA OCHOA ROMANI CUNHA CHAVES¹, JESIEL CUNHA²

RESUMO

O desenvolvimento de técnicas mais racionais e de materiais mais eficientes é um aspecto importante na construção civil. Neste sentido, os materiais compostos se mostram uma solução interessante como elemento de vedação, pois foram desenvolvidos como materiais que tem uma ótima relação entre peso e resistência. Assim, aliviam o carregamento da estrutura, proporcionam um ganho da área útil da edificação e racionalizam a mão-de-obra. Uma modalidade de materiais compostos atualmente muito utilizada são os painéis pré-fabricados. Este trabalho tem o objetivo de analisar o comportamento de painéis pré-fabricados através de simulação numérica, utilizando o método dos elementos finitos. O desempenho estrutural dos painéis será avaliado quando se varia a geometria. Os ensaios de corpo mole e de corpo duro realizados nesses painéis mostram que determinadas tecnologias não conseguiram atingir o padrão de qualidade necessário para a vedação, com base na rigidez apresentada.

Palavras-chave: materiais compostos, painéis de vedação, painéis pré-fabricados, simulação numérica

RÉSUMÉ

Le développement de techniques plus rationnelles et plus efficaces de production des matériaux est un aspect important dans la construction civile. En ce sens, les matériaux composites se montrent une solution intéressante pour la fabrication des cloisons, car ils ont été élaborés comme des matériaux offrant un très bon compromis entre le poids et la résistance. De plus, ils atténuent le chargement de la structure, fournissant un gain de surface utile dans le bâtiment et rationalisent la main d'œuvre. Actuellement, plusieurs panneaux préfabriqués sont à base de matériaux composites. Ce travail vise examiner le comportement de panneaux préfabriqués soumis à des tests de ténacité en utilisant des simulations numériques par la méthode des éléments finis. Les tests effectués sur ces panneaux, montrent que certaines technologies ne répondent pas aux normes de qualité requises pour la cloison, en considérant la rigidité des plaques.

Mots-clés: matériaux composites, panneaux composés, cloisons, simulation numérique

¹ Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia – Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia – MG, CEP: 38400-092, luisaochoa_engcivil@yahoo.com.br

² Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia – Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia – MG, CEP: 38400-092, jecunha@ufu.br

1 INTRODUÇÃO

O cenário atual da engenharia civil encontra-se num complexo sistema de planejamento e controle de custos, em que a escolha do material influencia a tecnologia de execução, a mão-de-obra e a qualidade a serem empregadas. A utilização de tecnologias avançadas é vista erroneamente como geradora de altos gastos, o que não corresponde necessariamente à realidade. Dessa forma, é imprescindível mostrar os benefícios que trazem as novas tecnologias.

Dentro deste cenário, encontram-se os painéis pré-moldados de vedação. Estes painéis tem a principal função de estabelecer a separação entre ambientes e atuam também como barreira a determinadas ações, como vento e chuva (NASCIMENTO, 200?). Os elementos de vedação podem ser em alvenaria ou em painéis pré-fabricados.

Os elementos de vedação devem ser resistentes à umidade, aos movimentos térmicos e à pressão do vento. Eles devem propiciar isolamento térmico, acústico e à infiltração de água pluvial. Embora não tenham função estrutural importante, os painéis de vedação necessitam ter resistência e rigidez mínimas às ações à que estão submetidos: vento, variações de temperatura, carga direta (contato de pessoas, equipamentos, impactos etc.).

No contexto da chamada

construção seca, a utilização de novos tipos de painéis pré-moldados tem crescido rapidamente. Hoje existem no mercado diversas opções de painéis para serem utilizados como elementos de vedação. Busca-se com os pré-moldados a racionalização e a modernização do processo construtivo, com redução dos custos de produção e do desperdício.

Em relação aos sistemas tradicionais de vedação, as vantagens da utilização de painéis pré-moldados são: maior organização e limpeza no canteiro; redução do número de atividades no canteiro; melhor controle e menor desperdício de materiais; redução de prazo e de custo; facilidade de utilização e de manutenção de instalações embutidas; facilidade de introdução de isolamentos; limitação ou diminuição de atividades existentes no processo tradicional, tal como revestimentos; precisão dimensional e superfícies lisas (SILVA, 2004).

As dificuldades da utilização de painéis pré-fabricados no Brasil estão relacionadas à falhas no processo tecnológico de fabricação e de instalação, resultando em problemas de interface e deficiências de desempenho. Alguns aspectos importantes devem ser melhorados, como o planejamento da modulação, o detalhamento do projeto, sobretudo das juntas e elementos de fixação, e principalmente o

desenvolvimento de soluções para as interfaces com os demais sub-sistemas (SILVA, 2004).

Frequentemente os novos painéis criados caracterizam-se por incorporar diferentes materiais em uma mesma estrutura, caracterizando-se como *materiais compostos*. A terminologia *materiais compostos* vem do fato de que estes materiais resultam da associação de dois ou mais materiais de natureza diferente, com o objetivo de tornar o conjunto mais eficiente. Criados inicialmente para os setores da engenharia aeronáutica, espacial e naval, os materiais compostos modernos se destacam em aplicações onde altas relações resistência e rigidez / peso específico são requeridas.

Um material composto é constituído no caso geral por uma ou várias fases descontínuas distribuídas em uma fase contínua. A fase descontínua, chamada de reforço, se apresenta geralmente em forma de fibras ou formas derivadas (mechas, tecidos etc.), enquanto que a fase contínua, chamada matriz, pode ser de natureza orgânica, metálica, cerâmica, cimentícia ou de madeira. A matriz tem a função de garantir a coesão e a orientação das fibras, além de transmitir as solicitações às quais as peças estão submetidas. Os reforços garantem basicamente a rigidez e a resistência mecânica da peça (KIM, 1995).

Em relação aos materiais tradicionais da construção civil (aço, madeira e concreto), os materiais compostos se destacam pela excelente relação rigidez/peso e resistência/peso, reduzindo os custos de transporte e de montagem; pela resistência à corrosão e inércia química; pela estabilidade dimensional com a temperatura, além da estética e os baixos custos de manutenção (BURGOYNE, 1999).

As análises do comportamento mecânico de painéis através das formulações específicas de materiais compostos são mais precisas, pois eles são modelados como estratificados formados por camadas empilhadas. Cada camada pode ser considerada no caso mais geral, do ponto de vista elástico, como ortotrópica (Figura 1).

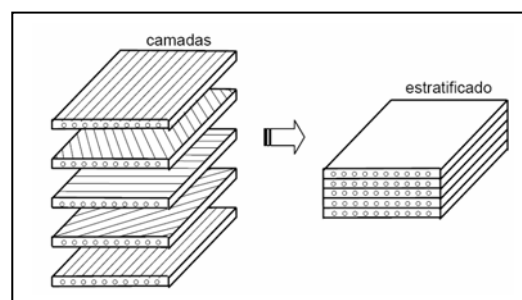


Figura 1 - Esquema de modelagem dos painéis segundo a metodologia utilizada em materiais compostos.

O objetivo deste trabalho é utilizar este tipo de abordagem nas simulações numéricas dos painéis pré-moldados, onde serão adotados modelos representativos do

mercado atual, selecionando-se diferentes materiais tanto na composição do núcleo quanto na composição dos reforços. Dessa forma, fez-se uma revisão bibliográfica visando o levantamento dos materiais e suas propriedades, como também a análise das dimensões comerciais dos painéis. A partir desses modelos, será avaliado o comportamento dos diversos painéis em relação ao comportamento estrutural (rigidez), variando-se a geometria dos mesmos.

2 PAINÉIS DE VEDAÇÃO

Os painéis pré-moldados existentes no mercado foram selecionados e separados em categorias de acordo com a composição da matriz, em particular quando o painel é caracterizado como um material composto, ou seja, formado por vários materiais.

Os painéis podem ser subdivididos em três grandes grupos: matriz cimentícia, matriz polimérica e matriz de madeira.

No grupo da matriz polimérica encontram-se polímeros como poliestireno, poliuretano e polietileno. Os polímeros são compostos formados por longas cadeias moleculares, possuindo baixa densidade, baixa resistência à temperatura e baixas condutividades elétrica e térmica.

Já o grupo da matriz cimentícia é formado por um núcleo de mistura

homogênea de cimento hidráulico, areia fina, aditivos e o reforço. Este reforço dependerá da tecnologia de produção adotada, pois pode ser incorporado ao núcleo ou existir como camadas externas.

Outro grande grupo é o da matriz de madeira, onde são encontrados painéis compostos tradicionalmente resultantes da associação da madeira em fibras, lascas e lâminas.

2.1 Painéis de matriz polimérica

Dentre os painéis de matriz polimérica, pode-se destacar:

2.1.1 Painel ACM (*Aluminium Composite Material*)

O ACM é um painel composto por duas chapas de alumínio e um núcleo de polietileno (polímero semicristalino, termoplástico), de baixa densidade e tem como uma das aplicações a vedação de fachadas externas. As propriedades mecânicas apontadas na Tabela 1 mostram ser um material flexível, resistente a impactos e à ruptura, além de ser resistente às intempéries e a exposição a fogo. As dimensões comerciais encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do ACM.

Fonte: ALCAN, 2007.

Resistência à tração	158 N/mm ²
Resistência à flexão	130 N/mm ²
Módulo de elasticidade	70.000 N/mm ²

Tabela 2 - Dimensões do ACM. Fonte: ALCAN,

2007.

Espessura das faces de Alumínio (mm)	0,5
Espessura total (mm)	3; 4 e 6
Largura (mm)	1.000 a 1.570
Peso (kg/m ²)	4,5; 5,5 e 7,3
Comprimento (mm)	2.000 até 8.000

A instalação dos painéis de alumínio composto depende da aplicação a que se destina, considerando a relação existente entre superfície a ser aplicada, dimensão e espessura do painel. Pode-se destacar os métodos de junta seca, sistema ventilado e convencional (METALICA ARQUITETURA, 2007).

2.1.2 Painel ALUCORE

Alucore é um painel sanduíche de alumínio composto por núcleo *honeycomb* (colméia), de peso reduzido. A dimensão do núcleo está diretamente relacionada com o aumento da rigidez da placa. Na Tabela 3, encontra-se o intervalo das propriedades da placa de Alucore.

Tabela 3 - Características e propriedades do

ALUCORE. Fonte: ALCAN, 2007.

Espessura do núcleo (mm)	4.5 a 23
Espessura total (mm)	6 a 25
Peso (kg/m ²)	4.9 a 7.8
Rigidez (kNm ² /m)	0,71 a 22,17
Módulo de resistência (cm ³ /m)	2,6 a 24
Módulo de elasticidade (N/mm ²)	70.000
Inércia (cm ⁴ /m)	1,01 a 31,67

2.1.3 Painéis de Poliuretano

Os painéis de poliuretano são formados por duas chapas metálicas e um núcleo isolante termoacústico de espuma rígida de poliuretano. As chapas podem ser de aço galvanizado, chapas galvanizadas com pintura de fundo, chapas de aço inoxidável, chapas de alumínio liso (TERMOPAINEL, 2007) e chapas de plástico reforçadas com fibra de vidro (EIFEL, 2007) e ainda melamina fenólica (TEP, 2007). A utilização dos painéis visa o isolamento térmico e acústico (SENTEC, 2007).

As dimensões comerciais encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Dimensões do painel de poliuretano.

Fonte: ALCAN, 2007.

Espessura isolante (mm)	50 a 150
Largura útil (mm)	1150
Peso (kg/m ²)	10,91 a 14,96
Vão máximo (mm)	3460 a 6980

2.1.4 Painéis de Poliestireno

Os painéis de poliestireno podem ser encontrados como painéis pré-moldados compostos de chapas de aço galvanizado, pré-painéis de concreto armado (BERTINI, 2002) e em painéis TERMO-WALL (CONSTRUPOR, 2007).

O sistema de fixação das placas de aço galvanizado é feito por juntas macho e fêmea, com a sobreposição de chapas, o que garante estanqueidade, isolamento térmico e maior rigidez contra impactos (ISOESTE, 2007). As dimensões dos painéis estão dispostas na tabela 5.

Tabela 5 - Dimensões do painel de poliestireno. Fonte: ALCAN, 2007.

Espessura isolante (mm)	50 a 250
Largura útil (mm)	1150
Peso (kg/m ²)	9,77 a 12,72
Vão máximo (mm)	2810 a 7520

O sistema de execução dos pré-painéis utiliza tela ou barras de aço de diâmetro pequeno, soldadas. Posteriormente na obra se faz o preenchimento das laterais com argamassa projetada ou tradicionalmente por embossamento. Alguns exemplos das placas são mostrados na tabela 6.

Tabela 6 - Dimensões dos pré-painéis de poliestireno. Fonte: ALCAN, 2007.

Espessura total (mm)	76,2 a 101,6
Largura (mm)	1.220
Altura (mm)	2.440 a 7.315
Espessura do concreto (mm)	25,4
Espessura do EPS (mm)	50,8 a 76,2

Os painéis TERMO-WALL são compostos por duas chapas lisas cimentícias CCFS (cimento, celulose e fio sintético) e um núcleo de poliestireno expandido de espessura e densidade variável. A finalidade da modulação deste painel é a utilização mínima da mão-de-obra na instalação e ao mesmo tempo atender aos requisitos de vedação, isolamento térmico e acústico. Dentre as principais vantagens destacam-se a rápida montagem e desmontagem, a economia de materiais e a aplicação de qualquer tipo de acabamento (CONSTRUPOR, 2007). As dimensões estão dispostas na Tabela 7.

Tabela 7 - Dimensões dos painéis TERMO-WALL. Fonte: ALCAN, 2007.

Espessura total (mm)	Variável
Largura (mm)	1.200
Comprimento (mm)	2.500

2.1.5 Painéis de lã mineral

Os painéis PAVI, fabricados pela empresa Pavi Pré-fabricação Tecnologia e Serviços, são constituídos por uma matriz de fibra de lã de vidro e duas faces de

concreto reforçado com fibras de vidro com 5 cm de espessura. Os painéis pesam entre 50 a 70 kg/m², cerca de 6 a 10 vezes menos que os painéis pré-moldados maciços, que pesam entre 338 a 375 kg/m² (ABCP, 2007).

As dimensões são limitadas somente pela capacidade de carga dos equipamentos de montagem. Assim, a altura máxima é de 3,15 m e a largura atinge cerca de 7 m (CBCA, 2007). O sistema de fixação é feito por acessórios metálicos de aço inoxidável ou galvanizado a fogo, parafusados na estrutura.

1.6 Painéis de gesso acartonado

As chapas de gesso acartonado (*drywall*) são compostas por gesso e aditivos entre cartões, feita industrialmente por laminação contínua, seguindo as normas NBR 14715:2001, NBR 14716:2001 e NBR 14717:2001 (DRYWALL, 2007).

A aplicação da chapa determina a composição do núcleo, ou seja, os aditivos a serem empregados. As chapas Standard (ST) são utilizadas em revestimentos internos de área seca. As chapas Resistentes à Umidade (RU) são utilizadas em áreas úmidas como banheiros, cozinhas e áreas de serviço, por conterem elementos hidrofugantes em sua composição

(DRYWALL, 2007). Além das chapas de gesso apresentarem naturalmente alta resistência ao fogo, as chapas Resistentes ao Fogo (RF) contêm retardantes de chama em sua fórmula (DRYWALL, 2007), sendo indicadas para uso em áreas especiais (saídas de emergência, escadas enclausuradas etc.).

O espaçamento entre os painéis pode ser dimensionado de acordo com a finalidade da aplicação, uma vez que, podem ser embutidos desde materiais para proteção termo-acústica até as instalações hidráulicas (HOLANDA, 2003). A chapa Standard, com aplicação em áreas secas, será adotada para padronizar o modelo a ser criado para simulação numérica. As dimensões normalmente usadas são 1200 mm de largura e 1800 a 3000 mm de altura, sendo esta limitada pelo pé-direito, com 10 mm de folga. Suas propriedades são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características e propriedades dos painéis de gesso acartonado. Fonte: ALCAN, 2007.

Espessura total (mm)	9,5 a 15
Largura (mm)	600 ou 1.200
Comprimento (mm)	1.800 ou 3.600
Peso (kg/m ²)	6,5 a 14
Densidade (kg/m ³)	685 a 934
Coefficiente de condutividade térmica (kcal/h.m ² .°C)	0,16

O sistema de fixação é composto por perfis metálicos, nos quais as placas de gesso são aparafusadas.

Dentre os perfis mais importantes da estrutura encontram-se as guias (fixadas no piso e no teto, seguindo o alinhamento da parede), os montantes (fixados nas guias, servindo de suporte para as placas, reforços de batente e outros) e as cantoneiras (utilizados em cantos vivos, suporte de instalações).

Utilizam-se para guias perfis com largura nominal de 48 mm a 90 mm. Para os montantes são utilizados perfis com largura nominal de 48 mm a 90 mm e altura nominal de 35 mm. As chapas são aparafusadas aos montantes com espaçamento entre os parafusos de 25 a 30 cm e espaçamento mínimo da borda de 10 mm.

2.1.6 Painéis Gustafs Panel

As placas Gustafs Panel Systems são formadas por um núcleo de gesso e partículas de madeira, conferindo-lhe características acústicas, anti-fogo e de resistência à umidade. Além disso, as placas são revestidas com madeira maciça, dando-lhe uma resistência adicional e uma melhor junção quando aplicados em obra (EURODIVISAL, 2007).

O painel proporciona maior estabilidade do que as placas isoladas de

MDF (Medium Density Fibreboard), por ser menos suscetível às mudanças de temperatura e umidade. Um comparativo entre as características das respectivas placas é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Comparação entre as propriedades dos painéis Gustafs e das placas MDF.
Fonte: EURODIVISAL, 2007.

PROPRIEDADES	GUSTAFS	MDF
Densidade (kg/m ³)	1250	780
Peso (kg/m ²)	15,0	9,3
Umidade contida 65% RF +20°C	2%	5-8%
Umidade diferenciada 40-65% RF	2%	5-7%
Expansão linear 30-80% RF	0,08%	0,4%
Condutividade térmica (W/km)	0,24	0,14
Capacidade calor específico (J/kg dec C)	1320	1851
Índice de propagação superficial de chama	Classe AII	Classe D

2.2 Painéis de matriz cimentícia

2.2.1 Painéis de CRFS (Cimento Reforçado com Fios Sintéticos)

As placas cimentícias de CRFS (Cimento Reforçado com Fios Sintéticos) são compostas por uma mistura homogênea de cimento Portland, celulose, fios sintéticos e aditivos (CONSTRUPOR, 2007). Com isso, elimina-se a utilização do amianto, sendo este um aspecto positivo, já que a exposição às fibras minerais de amianto representa um risco à saúde (RODRIGUES, 2004).

No mercado, empresas especializadas em pré-fabricados buscam diferenciar suas placas com a adição de cores e texturas variadas, propondo assim soluções versáteis, com garantia de facilidade de utilização, durabilidade e estabilidade. Além disso, existem instalações diversificadas, em que os painéis podem ser fixados em perfis metálicos, como também diretamente de laje a laje ou nos pilares.

De acordo com a Tabela 10, pode-se observar características mecânicas e físicas que destacam vantagens como a resistência ao impacto, ótimo comportamento elástico, resistência à flexão, resistência ao fogo e impermeabilidade.

Tabela 10 - Características técnicas dos painéis de CFRS. Fonte: CONSTRUPOR, 2007.

Espessura (mm)	6 a 12
Largura (mm)	1.200
Comprimento (mm)	2.000 a 2.400
Densidade ambiente	1,70 g/cm ³
Densidade saturado	1,97 g/cm ³
Varição dimensional (saturado - seco estufa)	+ 2,0 - 2,5 mm / - 0,2 mm/m
Comportamento ao fogo (1100 °C)	Incombustível
Condutibilidade térmica	0,35 W/(m·K)
Resistência à flexão saturado	9 MPa
Resistência à flexão ambiente média	14 MPa
Módulo de elasticidade médio	7 GPa
Módulo de elast. saturado	6 GPa
Arrancamento de parafuso pela cabeça	mínimo 39 kgf / média 59 kgf

2.2.2 Painéis de GRC (Glassfibre Reinforced Cement)

Os painéis de GRC são compostos por uma mistura de cimento hidráulico e areia fina reforçada com fibras de vidro. O reforço agrega vantagens quanto à dimensão dos painéis, pois com a espessura reduzida há um alívio no carregamento da estrutura e ainda um ganho na área útil (SILVA, 2004). Por outro lado, a elevada relação entre a área superficial e a espessura faz com que a perda de água na cura seja muito rápida e assim a retração resultante, prejudicial às propriedades do painel, pode levar a uma deformação irreversível das peças (SILVA, 1998). Ainda assim, observa-se uma crescente utilização desses painéis, devido à qualidade do produto final e à racionalização do processo construtivo (SILVA, 1998), aliadas à evolução das técnicas e à capacidade de transporte e manobra das máquinas (SOPLACAS, 2007).

As características mecânicas e a porcentagem do reforço dependem da tecnologia de fabricação do painel, conforme Tabelas 11 e 12. Os painéis são incombustíveis (PREGAIA, 2007) e apresentam uma densidade que varia entre 1,9 e 2,1 t/m³ e uma condutibilidade térmica que varia de 0,5 e 1,0 W/(m °C).

Tabela 11 - Características mecânicas dos painéis GRC. Fonte: SILVA, 2004.

PROPRIEDADES	TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO	
	Projeções	Pré-mistura e Moldagem
Resistência à tração na flexão (MPa)	20 – 30	10 – 14
Resistência à tração última (MPa)	8 – 11	4 – 7
Resistência à compressão (MPa)	50 – 80	40 – 60
Resistência ao impacto (kJ/m ²)	10 – 25	10 – 15
Módulo de elasticidade (GPa)	10 – 20	10 – 20
Deformação na ruptura (%)	0,6 – 1,2	0,1 – 0,2

Tabela 12 - Formulação de misturas GRC empregadas na produção de painéis de fachada. Fonte: SILVA, 1998.

CONSTITUINTES (por m ³)	TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO	
	Projeção (5% fibras)	Pré-mistura e moldagem (3% fibras)
Cimento (kg)	723,56	723,56
Areia (kg)	723,56	723,56
Plastificantes (kg)	10,20	10,20
Polímeros (kg)	200,84	200,84
Fibras AR (kg)	100,64	60,30
Água (kg)	241,19	281,53

Relação a/c = 0,33; proporção cimento: areia= 1:1

A configuração dos primeiros painéis de GRC apresentava geometria simples, que incorporava enrijecedores e utilizava cantoneiras de fixação aparafusadas ao componente. Gradativamente esta configuração foi substituída por painéis enrijecidos por uma estrutura metálica leve, que permite peças maiores, com grande liberdade de formas e são apropriados para abrigarem tubulações e material isolante (SILVA, 2004).

Há também painéis GRC que são reforçados somente por uma camada de tela de fibra de vidro em cada face. Esta obedece rigorosamente à especificação de compatibilidade com o meio fortemente alcalino ao qual está exposta, além de atender outras necessidades, como alta resistência à tração e baixíssimo alongamento (USEPLAC, 2008). Um comparativo entre as propriedades do aço e da tela de fibra de vidro encontra-se na Tabela 13. Na Tabela 14 estão dispostas as dimensões e características dos painéis GRC.

Tabela 13 - Comparação entre as propriedades do aço e da tela de fibra de vidro anti-álcali. Fonte: OWENS CORNING, 2008.

PROPRIEDADES	Aço para concreto	Tela anti-álcali
Resistência à tração – escoamento (MPa)	500 (CA 50) 600 (CA 60)	
Resistência à tração – ruptura (MPa)	550 (CA 50) 660 (CA 60)	1.000 a 1.100
Módulo de elasticidade (GPa)	210	80

Tabela 14 - Dimensões e características dos painéis de GRC. Fonte: USEPLAC, 2008.

Espessura total (mm)	12,7
Largura (mm)	1.200
Comprimento (mm)	2.400
Peso (kg/m ²)	16,5

2.3 Painéis de matriz de madeira

As chapas de madeira podem ser classificadas em três grupos (CÉSAR,

2002). No primeiro grupo estão as chapas de partículas, como as chapas de flocos orientados (“Oriented Strand Board” - OSB), as chapas de madeira aglomerada (“Particle Board” - PB) e as de flocos não orientados (“Waferboard” - WB). O segundo grupo compõe-se de chapas de fibras isolantes (“Insulating Board - IB”), de fibras duras (“Hardboard” - HB) e de média densidade (“Medium Density Fiberboard” - MDF). No terceiro grupo estão as chapas de madeira compensada (“Plywood” - PW) e as chapas de madeira sarrafeada (“Waferboard” - BB). O desenvolvimento a seguir será constituído somente daqueles com aplicação na construção civil e voltados para a vedação externa ou interna.

Com a produção industrializada das chapas de madeira, pode-se destacar a maior estabilidade das peças, o aproveitamento maior da tora, a produção de maiores dimensões de chapas e o melhor aproveitamento de resíduos gerados na fabricação.

2.3.1 Painéis Wall

O painel Wall é composto por duas placas lisas cimentícias CCFS (cimento, celulose e fio sintético) e por um núcleo de madeira sarrafeado e contraplacado em ambas as faces por uma lâmina de madeira (ICO, 2007).

Segundo Construtor (2007), “O processo de industrialização dos painéis constitui-se da prensagem especial dos componentes a alta temperatura, o que resulta em um produto da mais alta tecnologia”. Para garantir sua qualidade, são realizados os seguintes ensaios (Falcão Bauer): resistência ao impacto de corpo mole E/74 569/03, resistência ao impacto de corpo duro E/74 569/03, ensaio de impermeabilidade E/74 569/03, carga de ruptura à flexão E/75 569/03 e carga de ruptura à flexão E/74 569/03. Os resultados são mostrados na Tabela 15. As dimensões estão dispostas na Tabela 16.

Tabela 15 - Características mecânicas e físicas do painel wall. Fonte: CONSTRUPOR, 2007.

Características (espessura 40 mm)	Valores
Densidade	800 (kg/m ³)
Comportamento ao fogo	isolamento térmico por 50 minutos
Coefficiente global de transmissão de calor (K)	2,18 (kcal/m ² h°C)
Resistência à flexão carga distribuída (para 3 apoios)	500 (kg/m ²)
Carregamento uniforme distribuído no topo	9 600 (kgf)
Índice de redução sonora R (para 2.500 Hz)	40 (dB)
Resistência à carga pontual (para 3 apoios)	150 (kgf)
Carga axial suspensa	100 (kgf)

Tabela 16 - Dimensões do painel wall. Fonte: CONSTRUPOR, 2007.

Espessura total (mm)	40
Largura (mm)	1 200
Comprimento (mm)	2 500
Peso (kg/m ²)	33,3

As aplicações do painel Wall estendem-se desde projetos modulares, paredes e divisórias, até lajes, mezaninos, forros e passarelas. Pode-se também aplicar em sanitários. O sistema de fixação pode ser aparente ou com junta seca. No primeiro, recomenda-se chapas de aço dobrado galvanizado para fechamentos de vãos com grandes extensões e no sistema de junta seca, perfis de aço zincado perfilado utilizados em divisórias simples (ETERNIT, 2007).

2.3.2 Chapas de flocos orientados – OSB (Oriented Strand Board)

OSB são painéis formados por um aglomerado de partículas longas orientadas (microlâminas) de madeira (SONAE, 2007), obtidas no sentido longitudinal da fibra (PORTALOSB, 2008). As tiras são dispostas em camadas (3 a 5, dependendo do fabricante) com orientação perpendicular entre si (CÉSAR, 2002).

Os painéis OSB apresentam uma resistência mecânica maior que as chapas aglomeradas comuns (CÉSAR, 2002), sendo utilizadas tanto em vedações externas, por serem resistentes à umidade, como em vedações internas. No mercado, os painéis OSB concorrem com as chapas compensadas, por possuírem resistência equivalente, mesmo sendo produzidos por madeiras de qualidade inferior, além de

possuírem um aproveitamento da tora de 85 a 100% (CÉSAR, 2002) e um menor custo de produção (MENDES et al, 2002).

No processo de produção são empregadas madeiras de densidades em torno de 600 a 680 kg/m³, caracterizando madeiras macias de menor resistência mecânica (CÉSAR, 2002). Porém, não se usa resíduos de serraria, devido à dimensão das partículas, o que difere o OSB dos aglomerados tradicionais (MENDES et al, 2002). A disposição perpendicular entre as camadas externas e internas melhora as propriedades mecânicas. As camadas são unidas por resina e prensadas sob altas temperaturas. Com isso, obtém-se excelentes valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade (MENDES et al, 2002). A fixação dos painéis pode ser feita em perfis metálicos ou de madeira, espaçados geralmente de 30, 40 e 60 cm entre si, com comprimento igual ao pé direito. Quando a estrutura é em madeira, a fixação é feita por pregos. Já na presença de perfis metálicos, a utilização de parafusos ou rebites é mais adequada (PORTALOSB, 2008).

Os elementos básicos que compõem a estrutura das paredes são: os montantes verticais, barra horizontal inferior, barras horizontais superiores, montantes especiais (definem portas e janelas) e vergas (suportam as cargas verticais sobre as aberturas dos vãos).

A definição da espessura do painel dependerá da distância adotada entre os montantes verticais (Tabela 17), da sua disposição na estrutura (maior comprimento do painel na vertical ou horizontal), o tipo de fixação utilizado e os esforços de cisalhamento à distorção no plano da parede, isto é, esforços de vento ou abalo sísmico. As espessuras de OSB mais usadas para fins de vedação são de 7,9 mm a 12,7 mm, com dimensões de 1220 x 2440 mm.

As propriedades físico-mecânicas encontram-se na Tabela 18.

Tabela 17 - Espessuras de painéis correspondentes aos tipos de aplicação e aos espaçamentos entre montantes. Fonte: (STEELFRAMING, 2008).

APLICAÇÃO	Espaçamento entre montantes (cm)	Espessura das chapas OSB (mm)
Horizontal	40	9
Vertical	40	9 a 12
Horizontal	60	9
Vertical	60	12
Para revestimento com reboco		
Horizontal	40	12
Vertical	40	12
Horizontal	60	12
Vertical	60	15

2.3.3 Chapas de madeira compensada

A madeira compensada é formada pela sobreposição de finas lâminas perpendiculares entre si, unidas por um adesivo que tenha resistência igual ou

Tabela 18 - Propriedades físico-mecânicas do OSB. Fonte: PORTALOSB, 2008.

Espessura (mm)	6 a 35
Densidade (kg/m ³)	650 a 600
Resistência à tração (N/mm ²)	0,39 a 0,35
Resistência à flexão longitudinal (N/mm ²)	27 a 23
Resistência à flexão transversal (N/mm ²)	16 a 14
Módulo de elasticidade longitudinal (N/mm ²)	3 700
Módulo de elasticidade transversal (N/mm ²)	1 500
Inchamento 24 h (%)	10 a 25

superior à da madeira. Esta laminação cruzada confere uma melhor distribuição da resistência e da rigidez, uma vez que estas propriedades são maiores na direção das fibras (STAMATO, 2002).

O processo de produção requer madeira de boa qualidade, cuja densidade esteja em torno de 400 a 800 kg/m³, o que contribui para elevar o custo da chapa (CÉSAR, 2002). No mercado, a dimensão padrão da chapa é 1220 x 2440 mm, com espessura de 4 a 25 mm. Pode-se empregar a chapa em vedação interna e externa, sendo que para utilizá-la externamente, recomenda-se que o adesivo seja de fenol-formol. Além disso, a madeira compensada pode ser aplicada como elemento estrutural.

2.3.4 Chapas de madeira sarrafeada

As chapas de madeira sarrafeada são constituídas de um núcleo de sarrafos colados lateralmente, formando uma chapa de madeira maciça, e de lâminas de madeira na face superior e inferior, formando a capa e a contra capa. A direção das fibras da contracapa é perpendicular ao miolo e funciona como uma camada de transição. As fibras da capa são paralelas à direção do núcleo por possuírem maior resistência (ITAPEVA, 2007).

O processo de produção requer madeira de melhor qualidade, cuja densidade esteja em torno de 400 a 800 kg/m³. No mercado a dimensão padrão da chapa é 1220 mm × 2440 mm e a espessura máxima é de 40 mm. Pode-se empregar a chapa em vedação interna e externa, assim como em fôrmas para concreto. Além disso, as chapas podem ser aplicadas como elemento estrutural (CÉSAR, 2002).

3 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O método dos elementos finitos (MEF) é uma ferramenta matemática muito utilizada nos problemas da atual engenharia, sendo um método de análise estática de problemas estruturais. É uma técnica de análise numérica que vem ganhando cada vez mais importância no meio técnico-científico (RADE, 2006).

Este método vem facilitar a resolução de problemas por se basear no seguinte fundamento: dividir um problema muito complexo em partes menores (elementos finitos), e a partir daí chegar à solução geral. O que tornava este método desvantajoso era o tamanho das matrizes geradas, e conseqüentemente a grande quantidade de cálculos a ser feita. Isto foi solucionado ao se adequar o método aos novos recursos computacionais.

O MEF tem o seguinte funcionamento: primeiro divide-se o domínio em elementos, o que é conhecido como discretização, a qual geralmente é feita com elementos de geometria conhecida. O domínio real do problema é formado através da junção dos elementos. O segundo passo é a escolha das funções de interpolação (geralmente polinômios). Após isso é feita a construção das matrizes elementares. Este passo é de enorme importância dentro do método, por isso são estudados três processos para sua realização: direto, variacional e o dos resíduos ponderados. O processo direto é o mais simples dos três e apesar de não ser conveniente sua aplicação a problemas mais complexos, é de fácil entendimento, o que permite uma melhor análise física dos resultados. Para determinar o comportamento dos elementos ele se baseia nas equações de equilíbrio de forças e compatibilidade de deslocamentos. O

processo variacional se baseia no cálculo variacional, e apesar de ter fundamentos mais complexos que o método direto, pode ser aplicado a problemas mais complexos. Porém, o processo que tem capacidade de resolver a maior parte dos problemas é o método dos resíduos ponderados.

Após a determinação das matrizes elementares começa o processo de montagem das matrizes globais, que leva em consideração a interconexão dos nós e as condições de contorno. Posteriormente a esse processo são inseridas no problema as cargas externas conhecidas. Com isto completam-se as equações matriciais a serem resolvidas.

O MEF foi utilizado como base para vários programas computacionais de análise de estruturas, tais como NASTRAN[®], ABAQUS[®], SYSTUS[®] e vários outros. O programa ANSYS[®] foi o *software* utilizado neste trabalho. A sua versatilidade permite, por exemplo, a análise da distribuição de tensões em um avião, ou fornece as tensões provocadas pela variação de temperatura nos ossos da face humana.

Para se fazer simulações no ANSYS[®], seguem-se basicamente os fundamentos do MEF. Primeiramente são definidas as características do material como, por exemplo, o módulo de elasticidade. Cria-se um domínio, que é dividido em elementos, gerando uma

malha. Após isso, são inseridos no programa os carregamentos a que o corpo está submetido, e impõem-se as condições de contorno, completando o modelo a ser analisado.

Este *software* apresenta vários tipos de elementos finitos, que são utilizados de acordo com o que se deseja analisar. Por exemplo, os elementos do tipo SHELL são usados na análise de placas, os do tipo SOLID analisam peças levando em consideração seu volume.

4 DEFINIÇÃO DO MODELO

Para fazer a análise do comportamento estrutural dos painéis pré-moldados, geraram-se modelos que serão simulados no *software* ANSYS[®]. Os modelos foram estudados a partir dos dados obtidos pela revisão bibliográfica. Fez-se a comparação entre vários parâmetros dos painéis para propor os modelos representativos. Os parâmetros definidos foram: dimensões, tipo de fixação, propriedades mecânicas, ensaio a ser considerado, carga aplicada e sua localização mais crítica.

4.1 Dados do modelo

Os painéis foram classificados em três grupos: matriz cimentícia, matriz polimérica e matriz de madeira. Foi escolhido um painel de cada grupo para

representar o tipo de vedação existente no mercado.

Foram adotados dois critérios para a seleção dos painéis: geometria e tipo de fixação do painel na estrutura de base. Fixou-se tais variáveis para que seja possível a comparação entre os painéis. Adotou-se os painéis de gesso acartonado (representa o grupo de matriz polimétrica), de GRC (representa o grupo de matriz cimentícia) e OSB (representa o grupo de matriz de madeira). Estes painéis possuem semelhanças de acordo com os critérios adotados.

Analisando o tipo de fixação, todos os painéis podem ser fixados em estruturas metálicas compostas por montantes verticais, barra horizontal inferior, barras horizontais superiores, montantes especiais (definem portas e janelas) e vergas (suportam as cargas verticais sobre as aberturas dos vãos). A distância entre os montantes verticais é 60 cm, permitida por todos os tipos de painéis. As chapas são aparafusadas aos montantes com espaçamento entre os parafusos de 30 cm e espaçamento mínimo da borda de 10 mm.

As dimensões comerciais de uma placa são de 1200 mm × 2400 mm. Levando em consideração as distâncias entre montantes, como também entre parafusos e bordas, adotou-se a seguinte geometria: 1220 mm de largura e 2420 mm de altura (Figura 2).

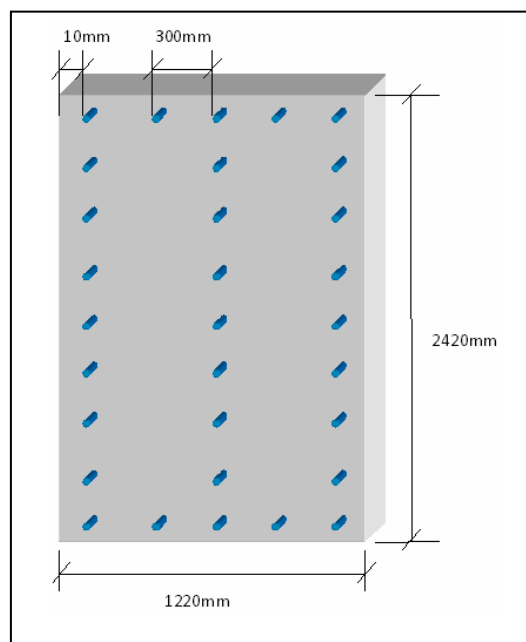


Figura 2 - Geometria e fixação do modelo a ser simulado.

A espessura total do painel foi definida pela aproximação das faixas existentes comercialmente em cada tipo de painel, sendo adotada igual a 12 mm. Entretanto, a espessura de cada matriz depende do tipo de material utilizado no reforço em cada face. Assim, o painel de gesso acartonado tem 10 mm de matriz de gesso e 1 mm de reforço de papel Kraft em cada face (Figura 3). O painel de GRC tem 11,5 mm de matriz de argamassa de cimento hidráulico e areia fina e 0,25 mm de reforço em tela de fibra de vidro (figura 4). O painel de OSB foi considerado como uma única camada (Figura 5).

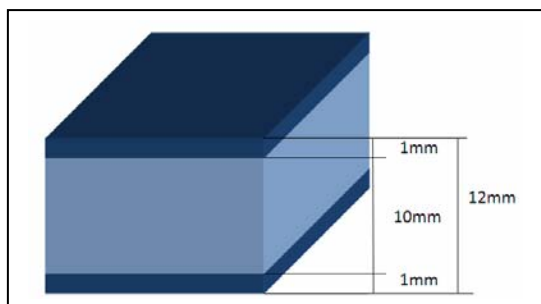


Figura 3 - Espessuras da matriz e reforço do painel de gesso acartonado.

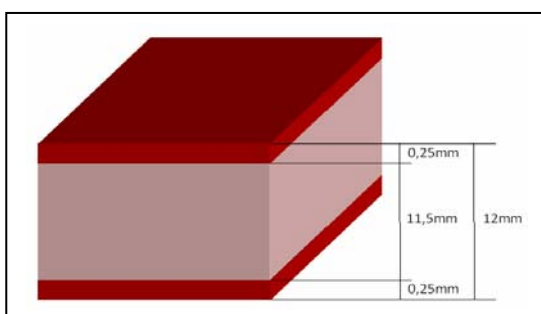


Figura 4 - Espessuras da matriz e reforço do painel de GRC (Glass Reinforced Cement).

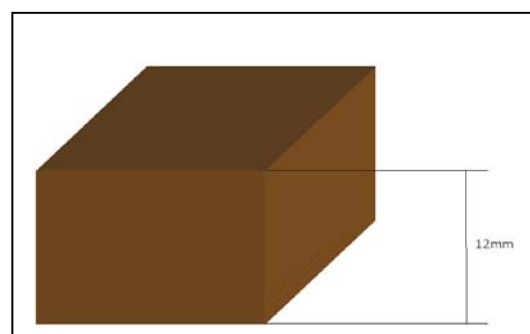


Figura 5 - Espessuras da matriz e reforço do painel de OSB (Oriented Strand Board).

Na prática, a vedação é formada por dois painéis fixados em ambas as faces de um perfil (Figura 6). Como o objetivo do trabalho é analisar as deformações dos painéis, basta analisar um módulo.

As propriedades do material necessárias para a simulação são coeficiente de Poisson e o módulo de elasticidade.

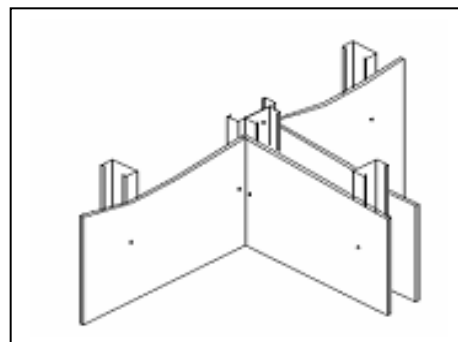


Figura 6 - Vedação por painéis pré-moldados em perfis metálicos.

O painel de gesso acartonado é formado por dois tipos de materiais: cartão de papel Kraft e gesso com aditivos. Adotou-se o módulo de elasticidade do gesso igual a 1 GPa e o do papel Kraft igual a 10 GPa.

O painel de GRC é formado por um núcleo de concreto leve e reforço de tela de fibra de vidro. O concreto leve feito com agregados de argila expandida ou cinza volante, possuem módulo de elasticidade entre 18 GPa e 26 GPa (ADAM, 1997). Assim, adotou-se um valor médio de 20 GPa. A tela de fibra de vidro possui um módulo igual a 80 GPa (OWENSCORNING, 2008). Porém, como é uma malha imersa no concreto, fez-se a seguinte relação da lei das misturas:

$$E_l = E_f \times V_f + E_m \times V_m \quad (1)$$

onde

E_l : módulo de elasticidade da mistura;
 E_f , E_m : módulo de elasticidade da fibra e da matriz, respectivamente;

V_f , V_m : volume de fibras e da matriz, respectivamente, sendo:

$$V_f = \frac{\text{volume de fibras}}{\text{volume total da camada}} = 0,08$$

$$V_m = \frac{\text{volume da matriz}}{\text{volume total da camada}} = 0,92$$

A partir desta fórmula obteve-se o módulo da camada com reforço igual a 24,8 GPa.

O módulo de elasticidade longitudinal do painel OSB foi adotado igual a 3,7 GPa e o módulo de elasticidade transversal é de 1,5 GPa. Os demais materiais foram considerados isotrópicos, ou seja, as propriedades não mudam de acordo com a direção de sollicitação. Para o coeficiente de Poisson foi adotado um valor igual a 0,3 para todos os painéis.

Na prática, estes painéis estarão sujeitos a cargas de impacto, que provém de choques acidentais provocados pelo uso da edificação ou choques provocados por intrusões intencionais ou não (Figura 7). Estas cargas são simuladas em laboratório através dos ensaios de corpo mole e de corpo duro, sendo traduzidas em energia que o painel deve suportar. Como o objetivo do trabalho é verificar as deformações dos painéis, simulou-se o ensaio de corpo mole.

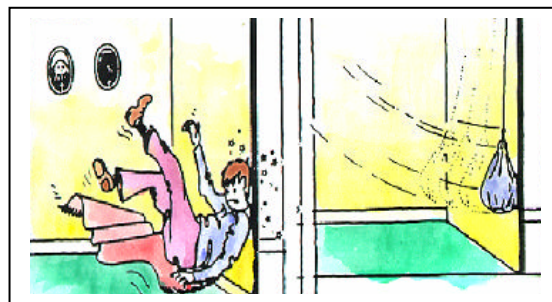


Figura 7 - Ensaio de impacto de corpo mole. Fonte: MENEZES, 2006.

O ensaio de corpo mole corresponde ao abandono de um corpo impactador de massa (m), suspenso por um cabo em movimento pendular, a uma altura h (figura 8). Na tabela 19 encontra-se a massa (m), a altura (h) e a energia de impacto (E), indicadas na figura 8. O corpo impactador tem formato cilíndrico, com diâmetro igual a 300 mm e altura igual a 900 mm.

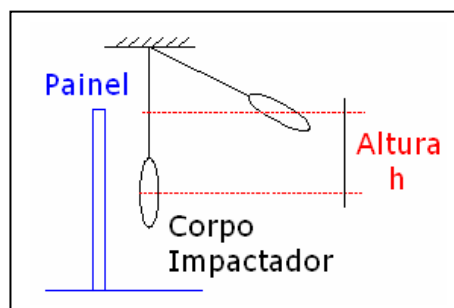


Figura 8 - Ensaio de corpo mole. Fonte: MENEZES, 2006.

Como a placa possuiu uma altura de 2,42 m, a posição crítica de maior deformação corresponde à metade da altura do painel. Portanto, a energia adotada é de 480 J.

Tabela 19 - Massa do corpo impactador, altura e energia. Fonte: MENEZES, 2006.

Impactador	m (kg)	h (m)	E (J)
Corpo mole, de acordo com a NBR 11675/90	40	0,15	60
		0,30	120
		0,45	180
		0,60	240
		0,90	360
		1,20	480
		1,80	720
		2,40	960

Desse modo, com os dados de energia ($E = 480 \text{ J}$) e massa ($m = 40 \text{ kg}$), obtém-se a velocidade no qual o corpo atinge a placa, através da fórmula de conservação de energia, obtida pela utilização da segunda lei de Newton e da equação de Torricelli, que é expressa por:

$$E = \frac{m \times v^2}{2} \quad (2)$$

O resultado obtido para a velocidade foi de aproximadamente 5 m/s . Estimando o tempo de contato entre a placa e o corpo em $0,1\text{s}$ e utilizando a segunda Lei de Newton ($Fr = m \times a$), encontra-se a força de impacto do corpo, que é igual a 2.000 N . Como a área de impacto é igual a $0,27 \text{ m}^2$, obtém-se uma tensão igual a $7,4 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$.

Outro parâmetro a ser definido é a condição de contorno. Analisaram-se as restrições determinadas pelos parafusos

nas placas e considerou-se a aplicação da carga no meio do vão da placa entre dois montantes, conforme Figura 9. Com isso, determinou-se que os parafusos não permitem o movimento de translação em torno dos eixos, mas é possível haver a rotação da placa. Outro fator considerado foi a restrição de translação, em torno do eixo z, dos montantes e das guias superior e inferior que contornam a carga aplicada. Isto ocorre porque a placa está apoiada sobre os perfis, impossibilitando a sua movimentação.

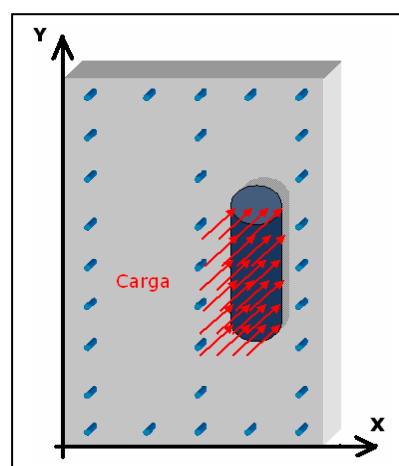


Figura 9 - Localização dos eixos e aplicação da carga de impacto.

Com os parâmetros definidos pode-se gerar o modelo numérico utilizando o método dos elementos finitos.

5 ANÁLISE NUMÉRICA

5.1 Simulação em elementos finitos

Para gerar o modelo da placa em elementos finitos foi utilizado o *software*

ANSYS®. Usou-se o elemento SHELL 99, que é um elemento do tipo placa estratificada, onde, além das propriedades do material, da geometria da peça, do carregamento e as condições de contorno, são fornecidas a espessura das camadas e a orientação das fibras em relação ao sistema de coordenadas global. Sua referência é mostrada na Figura 10. O elemento possui 8 nós, sendo seis graus de liberdade por nó (deslocamentos em x, y e z, e rotações em torno de x, y e z).

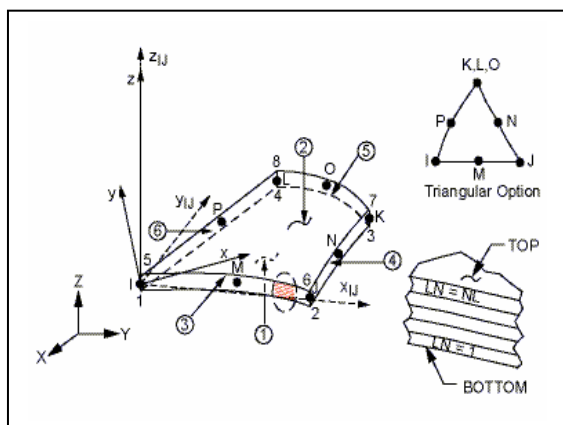


Figura 10 - Elemento shell99. Fonte: ANSYS®, 2008.

A modelagem por elementos finitos resultou em 612 elementos, 2.157 nós, com um total de 12.942 graus de liberdade.

A Figura 11 mostra as condições de apoio e as ações a que uma placa está submetida. Os símbolos azuis indicam o impedimento de deslocamentos dos nós da borda nas direções dos eixos x, y e z. A carga uniformemente distribuída, aplicada

na face da placa, está representada por setas vermelhas na direção do eixo z.

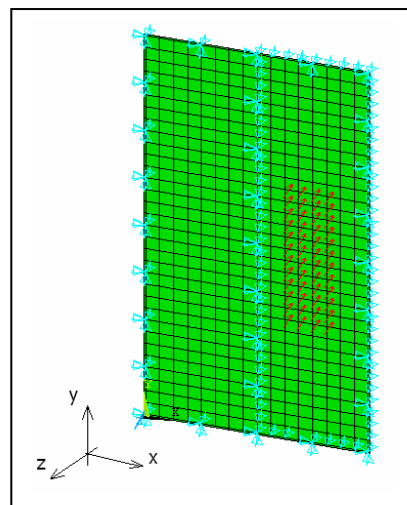


Figura 11 - Condições de contorno e cargas aplicadas no modelo.

A Figura 12 exemplifica a deformação (deslocamentos segundo a direção z) para um painel genérico.

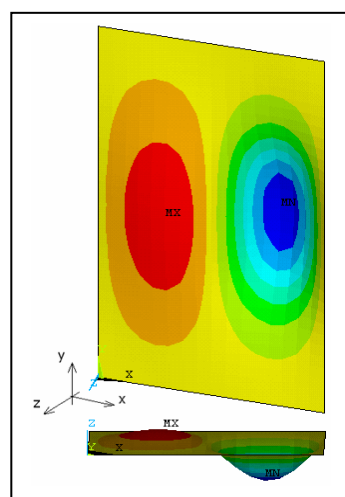


Figura 12 - Deslocamentos verticais do painel fixado em perfis metálicos (três montantes verticais, uma guia superior e uma inferior).

Como parâmetro representativo da resistência do painel, pode-se determinar a tensão de Von Mises, que indica o estado

de tensão triaxial que leva à ruptura (Figura 13).

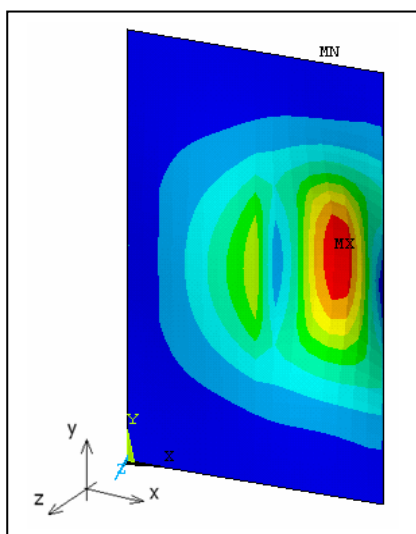


Figura 13 - Exemplo de tensão de Von Mises no painel.

No entanto, como não existem valores precisos da resistência dos materiais envolvidos para aplicação de um critério de ruptura, a análise da resistência dos painéis não foi abordada neste trabalho.

A diferença existente entre as placas é a disposição das camadas e o respectivo material. De acordo com a definição dos parâmetros, a placa de gesso acartonado apresenta três camadas: uma de gesso [0°] e uma de papel Kraft em cada face [0°] (Figura 14); a placa de GRC apresenta 5 camadas: uma matriz de concreto leve [0°] e duas camadas de reforço em cada face representando a tela de fibra de vidro [0°, 90°] (Figura 15); a placa de OSB possui somente uma camada de Pinus [0°] (Figura 16).

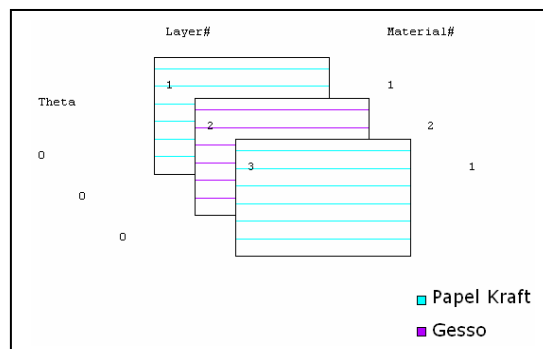


Figura 14 - Configuração da placa estratificada de gesso acartonado simulada.

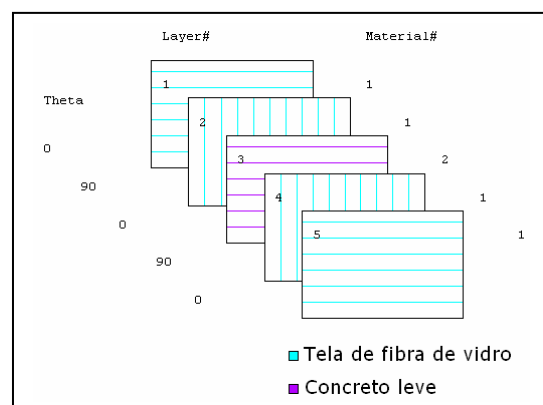


Figura 15 - Configuração da placa estratificada de GRC simulada.

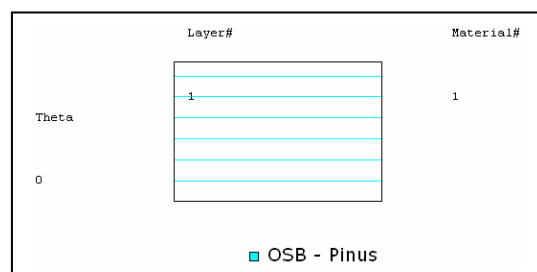


Figura 16 - Configuração da placa estratificada de OSB simulada.

5.2 Resultados obtidos

O modelo gerado, com a espessura total (h) fixada em 12 mm possibilitou analisar o comportamento de cada placa fazendo a variação da espessura da matriz (t) e conseqüentemente do reforço (e) (Figura 17).

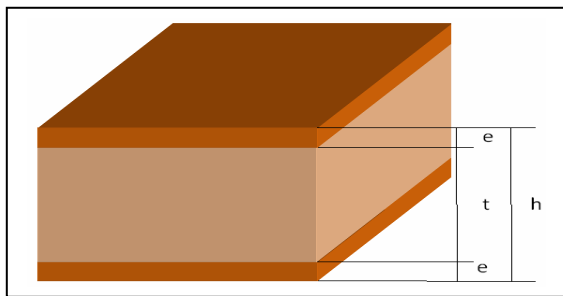


Figura 17 - Modelo proposto com altura total (h) fixada e variação da espessura da matriz (t).

Fazendo a relação t/h variar de 0 a 1, obtiveram-se os gráficos do deslocamento máximo sofrido pela placa (figuras de 18 a 20). O deslocamento da placa de OSB é representado apenas por um ponto, já que sua matriz corresponde à espessura total do painel.

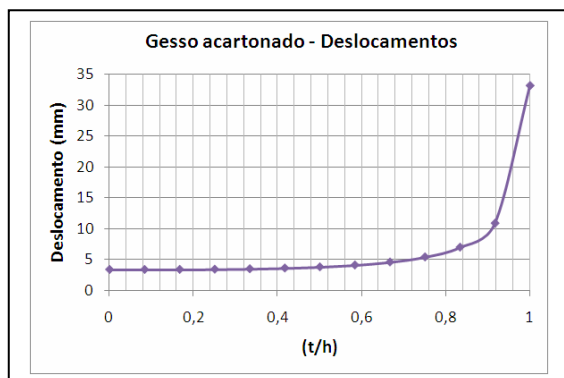


Figura 18 - Deslocamento máximo (flecha) sofrido pelo painel de gesso acartonado.

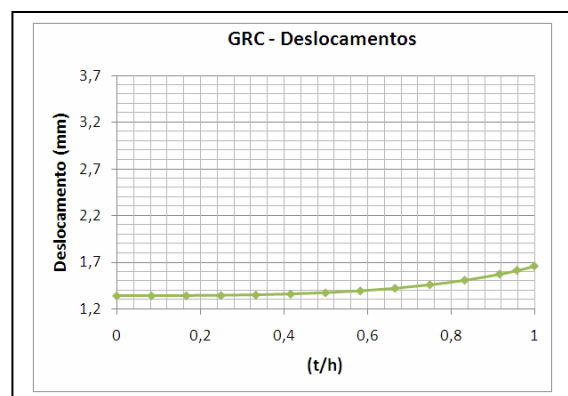


Figura 19 - Deslocamento máximo (flecha) sofrido pelo painel de GRC.

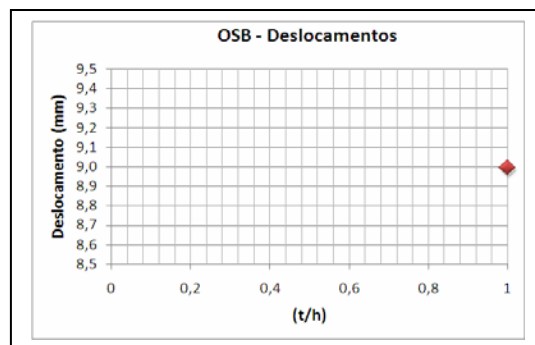


Figura 20 - Deslocamento máximo (flecha) sofrido pelo painel de OSB - Pinus.

Estes gráficos podem ser refeitos em função da variação percentual do deslocamento e da tensão, a partir da variação da espessura das camadas (figuras 21 e 22).

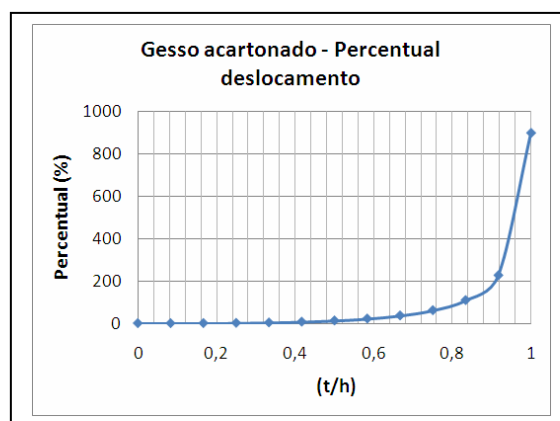


Figura 21 - Variação percentual do deslocamento máximo (flecha) do painel de gesso acartonado.

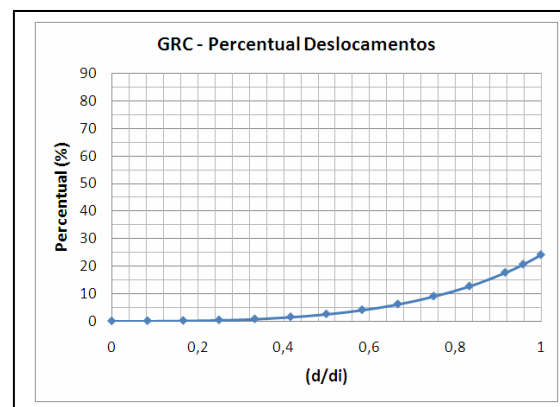


Figura 22 - Variação percentual do deslocamento máximo (flecha) do painel de GRC.

As propriedades de rigidez estão correlacionadas com os deslocamentos de cada painel. Em um painel composto, o material que confere basicamente estas propriedades é o reforço. A matriz garante a coesão e a orientação das fibras do reforço e transmite as solicitações às quais as peças estão submetidas.

Ao analisar a inclinação das curvas dos gráficos percentuais de deslocamento, verifica-se que para o painel de gesso acartonado a inclinação é acentuada quando a espessura da matriz atinge o valor de 11 mm, enquanto o painel GRC possui um acréscimo gradual. Observa-se que o painel GRC atinge somente cerca de 24% da deformação inicial, comparado a variação da placa de gesso acartonado de 900%. Isto se deve à composição da camada de reforço. Como o GRC é composto de uma matriz de concreto leve e uma camada em cada face de mistura de concreto leve com tela de fibra de vidro, as propriedades ficaram muito próximas, fazendo com que a variação da espessura da matriz tivesse pouca influência no deslocamento. Já o painel de gesso acartonado, tem sua matriz e seu reforço com propriedades bem distintas.

6 CONCLUSÃO

Por meio das simulações numéricas, verificou-se que a rigidez do painel GRC é maior quando comparada

com as propriedades dos painéis de gesso acartonado e OSB.

As curvas de deslocamento apresentadas podem servir como referência da avaliação do ganho de rigidez quando se varia a geometria dos painéis, ou seja, quando se varia a espessura da camada de reforço em relação ao material de enchimento. Nota-se que existem valores onde os deslocamentos crescem de maneira significativa, indicando que se deve evitar as geometrias (espessuras das camadas) correspondentes a estes valores.

Deve-se ressaltar que os resultados mostrados são apenas indicativos do comportamento estrutural de cada tipo de painel.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Pré-fabricados arquitetônicos marcam o cenário urbano. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em 04 nov 2007.

ADAM, M.N. Propriedades do concreto. São Paulo: PINI, 1997.

ALCAN. Secteur de production panneaux composites en aluminium dans le monde. Disponível em: <<http://www.alucobond.com>>. Acesso em: 03 out 2007.

BERTINI, A.A. Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada. 209p. Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.

BURGOYNE, C.J. Advanced composites in civil engineering in Europe, Structural Engineering International, Zurich, v. 9, n. 4, 1999.

CBCA. As vantagens dos painéis de concreto industrializados. Disponível em: <<http://www.cbca-ibs.org.br>>. Acesso em: 04 nov 2007.

CÉSAR, S.F. Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

CONSTRUPOR. Placa cimentícia e painéis termo-wall. Disponível em: <<http://www.construpor.com>>. Acesso em: 08 out 2007.

DRYWALL. Painéis de gesso acartonado. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br>>. Acesso em: 04 out 2007.

EIFEL. Painéis de poliuretano e poliestireno. Disponível em:

<<http://www.eifelnet.com.br>>. Acesso em: 03 out 2007.

ETERNIT. Painel wall Eternit. Disponível em: <<http://www.eternit.com.br>>. Acesso em: 08 out 2007.

EURODIVISAL. Divisórias acústicas Gustafs panel system. Disponível em: <<http://www.eurodivisal.com>>. Acesso em: 05 out 2007.

HOLANDA, E.P.T. Novas tecnologias construtivas para produção de vedações verticais: diretrizes para o treinamento da mão-de-obra. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

ICO. Placas cimentícias e wall panel. Disponível em: <<http://www.ico.pt>>. Acesso em: 08 out 2007.

ITAPEVA. Produção de painéis. Disponível em: <<http://www.itapeva.unesp.br>>. Acesso em: 09 nov 2007.

ISOESTE. Painéis isotérmicos. Disponível em: <<http://www.isoeste.com.br>>. Acesso em: 04 nov 2007.

KIM, D.H. Composite structures for civil and architectural engineering. Cambridge: E&FN SPON, 1995.

MENEZES, R.A. Avaliação de desempenho estrutural dos sistemas construtivos de solo-cimento e concreto celular aplicados em edificações de casas populares no estado do Amazonas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

MENDES, L.M. et al. Ciência florestal: Pinnus spp na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). Rio Grande do Sul: UFSM, 2002.

METALICA ARQUITETURA. Utilização de alucobond em fachadas. Disponível em: <<http://www.metatica.com.br>>. Acesso em: 03 out 2007.

NASCIMENTO, O.L. Manual de construção em aço: alvenarias, [S.l.], [200?].

OWENSCORNING. Tela de fibra de vidro. Disponível em: <<http://www.owenscorning.com>>. Acesso em: 12 jan 2008.

PORTALOSB. Placas em OSB. Disponível em:

<<http://www.portalosb.com>>. Acesso em: 12 jan 2008.

PREGAIA. Concepção e fornecimento de elementos de revestimento de fachadas de painéis pré fabricados. Disponível em: <<http://www.pregaia.com>>. Acesso em: 09 out 2007.

RADE, D.A. Introdução ao método dos elementos finitos. Uberlândia: UFU, 2006.

RODRIGUES, C.S. Efeito da adição de cinza de casca de arroz no comportamento de compósitos cimentícios reforçados por polpa de bambu. Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas. PUC-Rio, 2004.

SENTEC. Contentor de telecomunicações com placas de poliuretano. Disponível em: <<http://www.sentec.pt>>. Acesso em: 04 nov 2007.

SILVA, M.G.; SILVA, V.G. Manual de construção em aço: painéis de vedação. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2004.

SILVA, V.G.; JOHN, V.M. Painéis em cimento reforçados com fibras de vidros (GRC). São Paulo: EPUSP, 1998.

SONAE. Setor de derivados de madeira. Disponível em: <<http://www.sonae-industria-tafisa.com>>. Acesso em: 08 out 2007.

SOPLACAS. Fabricação de produtos pré-fabricados em concreto. Disponível em: <<http://www.soplacas.pt>>. Acesso em: 09 out 2007.

STAMATO, G.C. Ligações em estruturas de madeira compostas por chapas de madeira compensada. Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo, 2002.

STEELFRAMING. Guia construtor em Steel Framing. Disponível em: <<http://www.portalosb.com>>. Acesso em: 3 abril 2008.

TEP. Tecnologia engenharia e processos: divisórias de poliuretano. Disponível em: <<http://www.tepeng.com.br>>. Acesso em: 01 nov 2007.

TERMOPAINEL. Painéis isolantes de poliuretano e poliestireno. Disponível em: <<http://www.termopainel.ind.br>>. Acesso em: 04 nov 2007.

USEPLAC. Placas cimentícias. Disponível em: <<http://www.useplac.com.br>>. Acesso em: 12 jan 2008.