

Relatório PUC/GO
NOVEMBRO/2009

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA CIVIL

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL

AVALIAÇÕES DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS E ESTABELECIMENTO DE
REQUISITOS PARA HABITAÇÕES TÊRREAS COM FUNDAÇÕES, PAREDES,
CINTAS E PILARES DE CONCRETO COM AGREGADO DE ENTULHO DE
OBRAS E DEMOLIÇÕES E BORRACHAS DE PNEUS EMBUTIDAS

Coordenador: Prof. José Dafico Alves -
Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da UEG
Prof. José Alves de Freitas -
Diretor do Departamento de Engenharia da PUC/GO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA CIVIL

TÍTULO: Caixa Econômica Federal – Avaliações de Desempenho de

Sistemas Construtivos e Estabelecimento de Requisitos para Habitações Têrreas com Cintas, Paredes e Pilares de Concreto com Agregados de Entulho de Obras e Demolições e Borrachas de Pneus Embutidas.

Prof. José Dafico Alves - UEG

Prof. José Alves de Freitas - PUC/GO

PALAVRAS CHAVES: Avaliações. Borracha de pneus. Concreto com agregados de entulho. Requisitos.

RESUMO: Este relatório apresenta os resultados das avaliações de desempenho dos componentes e sistemas construtivos utilizados nas habitações térreas executadas em concretos com agregados de entulhos de obras e demolições e incorporação de borrachas de pneus para ser executadas em todo território brasileiro e estabelece requisitos técnicos que este processo deve seguir.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

3 – ESTUDOS INICIAIS

- 4 – ENSAIOS E NORMAS DE EXECUÇÃO
- 5 – AVALIAÇÕES CORPOS DE PROVA PREPARADOS A PARTIR DE PLACAS DAS PAREDES (CEOD)
- 6 – REQUISITOS PARA DESEMPENHO DO SISTEMA COMO UM TODO E RESULTADOS MEDIDOS
- 7 – SISTEMA CONSTRUTIVO
- 8 – GARANTIAS E RESPONSABILIDADES
- 9 – VALIDADE DESTE DOCUMENTO
- 10 – CONSIDERAÇÕES FINAIS
- 11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 – INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos sólidos provenientes das indústrias de alimentos tem somado tem somado aos das outras tantas no montante de lixos descartados na natureza que já se encontra severamente poluída por nós humanos. Haja vista que carregamos o estigma de maior predador do planeta.

Já não faz muito tempo que a humanidade começou a preocupar com sua agressão à natureza. Na ECO-92, com a definição da Agenda 21, destacou-se a necessidade de se implementar uma gestão ambiental para tratar dos resíduos sólidos. São várias ações que deverão ser implementadas para reciclagem dos vários tipos de resíduos sólidos gerados nos diversos setores da atividade humana.

Neste projeto propõe-se a reciclagem da carcaça de pneus visando sua aplicação como material e componente da construção de habitações. A carcaça de pneu é composta de borracha e fibras de aço de alta resistência.

A questão ambiental no Brasil é tratada somente do ponto de vista de preservação da natureza, tais como: desmatamento, extrações predatórias de recursos naturais, caça, pesca, etc, ainda está muito voltada para punições, deverá voltar-se para elaboração de Programas de Reciclagem que permitam valorizar e incentivar a industrialização de resíduos gerados nos seguintes Setores: agropecuários, industriais e extrativistas.

A estimativa é que cerca de 30 milhões de pneus são descartados por ano, sendo que muitos são retidos pelos donos nas residências sem nenhuma preocupação com os transtornos ambientais, porque acumula água, facilitando a proliferação de insetos como a larva do mosquito da dengue que tem causado problemas de saúde nos últimos anos em vários estados brasileiro.

A Resolução do CONAMA de nº 258 de 26/07/1999 prevê a reciclagem de 30 milhões de pneus nos próximos anos. É uma atitude ainda pequena, mas representa um grande passo para incentivar a reciclagem deste material.

As carcaças de pneu antes de ser descartadas devem separar a borracha das fibras e fragmentá-las para reduzir o volume nos lixões.

Todos os componentes do pneu podem ser reciclados para a construção civil, sendo as

fibras preparadas para incorporar ao concreto como armadura, a borracha pode ser preparada para componentes da construção, tais como: placas impermeabilizantes de contrapiso, enchimento de fundações para habitações, composições de painéis de paredes de concreto, etc.

Este trabalho foi realizado pelo Departamento de Engenharia da PUC/GO, visando atender as exigências da Caixa Econômica Federal para liberar o presente processo construtivo, bem como os materiais utilizados na execução das partes estruturais.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Tomaram-se protótipos já construídos há algum tempo na cidade de Goiatuba em Goiás e necessitava de uma avaliação de desempenho para fins de aprovação pela CAIXA ECONÔMICA FEDERAL e também com objetivo de incorporar mais um sistema de construção sustentável no Brasil.

É um registro importante de um sistema inédito que merece todo apoio pelos Órgãos governamentais para ser disponibilizado para construção mais barata e sustentável.

Embora seja um sistema novo na sua metodologia, os componentes são de materiais já bastante pesquisados no Brasil, como o concreto com entulho de demolição e sendo as características do concreto com entulho já conhecidas, concreto com cerâmica britada, entre outros. Optou-se por no protótipo escolhido os ensaios de impacto de corpo mole, impacto de corpo duro, cargas de corpo suspenso nas paredes e fechamento brusco de portas.

Como as habitações já estavam concluídas e em uso, não se realizou provas de carga nas estruturas. Realizou-se apenas uma inspeção visual quanto a sua estabilidade.

Também foi levada em consideração a comparação com unidades construídas no sistema tradicional, como as casas de alvenaria cerâmica, em blocos de concreto, muito usado na região e comparou-se também com as avaliações de FURNAS, Relatório DCT.T.15.006.2005-R0 (2005), para sistemas de edificações térreas com paredes de concreto celular autoclavado e no estudo de caso realizado pela Escola de Engenharia de São Carlos (1998). Com estes dados foi possível fazer um julgamento criterioso do sistema objeto deste relatório.

3 – ESTUDOS INICIAIS

A primeira etapa do trabalho foi uma inspeção in loco das obras já realizadas na cidade de Goiatuba, Goiás, pelo idealizador do processo, Sr. José Neto de Medeiros onde foi constatada a consistência de um procedimento que embora não convencional em alguns aspectos, tem as características da sustentabilidade, durabilidade, conforto e segurança. Estas foram às conclusões tiradas nesta avaliação visual das obras concluídas e já habitadas há algum tempo.

4 – ENSAIOS E NORMAS DE EXECUÇÃO

Os primeiros ensaios realizados foram os de caracterização dos materiais componentes do concreto, dosagem de traços para os componentes da obra, tais como: fundações, regularização (contra piso), cintas, vigas e pilares e para os painéis de paredes. A metodologia de dosagem foi de (ALVES, 2006). Aproveitou-se a oportunidade para

avaliar o potencial do entulho para aplicações na construção de habitações, conforme resultados da tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Resultados das características avaliadas dos traços

| Fator A/C | Abatimento mm | Resistência à compressão (MPa) | | Mód. Def. (GPa) |
|-----------|------------------|--------------------------------|---------|-----------------|
| | | 7 dias | 28 dias | 28 dias |
| 0,35 | 120 | 38,1 | 40,5 | 19,58 |
| 0,40 | 110 | 31,6 | 35,2 | 16,30 |
| 0,45 | 90 | 25,8 | 29,8 | 14,16 |
| 0,50 | 60 | 23,5 | 29,8 | 16,9 |

4.1 – Ensaios executados para avaliar o desempenho da habitação, de acordo com a tabela 2

Tabela 2 – Normas aplicadas nas avaliações constantes deste relatório

| Natureza do ensaio | Norma | Procedimento FURNAS |
|---|---------------------------------|---------------------|
| Impacto de corpo mole em paredes | NBR 15575-2/2008 | |
| Impacto de corpo duro em paredes | | |
| Cargas de ocupação - Peças suspensa | NBR 11678/90 | |
| Cargas de ocupação - Sustentação de redes de dormir | | |
| Interação paredes e portas - Impacto de corpo mole | NBR 8951/83 | |
| Interação paredes e portas - Operações de fechamento brusco | NBR 8054/83 | |
| Verificação de estanqueidade à água em paredes externas | Método do IPT | |
| Avaliação de desempenho acústico em protótipos - Parte externa | ISSO 104-5/1998 | |
| Avaliação de desempenho acústico em protótipos - Parte interna | ISSO 104-4/1998 | |
| Ensaio de resistência ao fogo em escala reduzida | ASTM E-119/1995 e Método do IPT | |
| Verificação do comportamento de paredes expostas à ação do calor e choque térmico | Método do IPT | |

5 – AVALIAÇÕES DE CORPOS DE PROVA PREPARADOS A PARTIR DE PLACAS DAS PAREDES (CEOD)

As placas possuem uma densidade aparente, seca ao ar, entre 1800 e 2000 kg/m³ e resistência a compressão média de 3,8 MPa, tendo incorporado tiras de borracha de pneus. A espessura da parede varia de 10 cm com função apenas de vedação e de 15 cm para parede estrutural. Foram também feito prova de carga nas bobinas de borracha de pneu preenchida com concreto com agregado de entulho de demolição, conforme figura 1(a e b) a seguir, onde foram aplicadas cargas máximas a compressão de 250 kN.



(a)

(b)

Figura 1 (a e b) mostrando ensaios num prisma de parede e numa bobina de borracha preenchida com (CEOD).

5.1 – Características dos concretos da obra

- Concreto de regularização e das paredes, denominado de traço T.1:

Traço em volume: 1 : 7,5 (cimento e entulho moído) e relação água/cimento, em massa igual a 1,2 ou 60 litros por saco de cimento.

$f_{ck} = 3,00 \text{ MPa}$;

Consumo de cimento por m^3 de concreto = 192,3 kg

Massa unitária do concreto fresco = 2,00 kg/dm^3

Massa unitária do concreto endurecido:

Na condição superfície, saturada, seca (δ_{sss}) = 2,085 kg/dm^3

Na condição seca (δ_0) = 1,87 kg/dm^3

Absorção de água no concreto endurecido (A%) = 12,9.

- Concreto das cintas e pilares denominado de traço T.2:

Traço em volume: 1 : 2,6 (cimento e entulho moído) e relação água/cimento em massa = 0,57

$f_{ck} = 15,00 \text{ MPa}$;

Consumo de cimento por m^3 de concreto = 452 kg

Massa unitária do concreto fresco = 1,975 kg/dm^3

Massa unitária do concreto endurecido:

Na condição superfície, saturada, seca (δ_{sss}) = 2,21 kg/dm^3

Na condição seca (δ_0) = 1,98 kg/dm^3

Absorção de água no concreto endurecido (A%) = 11,4.

Na figura 2 (a e b) mostra corpos de prova do concreto das cintas e pilares e concreto das paredes sendo ensaiados à compressão.



(a)

(b)

Figura 2 (a e b) – mostrando os ensaios à compressão dos corpos de prova do CEOD das cintas e pilares e das paredes.

6 – REQUISITOS PARA DESEMPENHO DO SISTEMA COMO UM TODO E RESULTADOS MEDIDOS

As primeiras formulações e debates sobre desempenho na construção civil foram apresentados no segundo congresso do Conseil International du Bâtiment em 1962, por Frederick M. Lea do Building Research Establishment (SILVA E SOUZA, 2003).

O conceito de desempenho aplicado aqui é referente ao processo do projeto desde a concepção arquitetônica, processo de execução que determina todas especificações inerentes ao projeto e processo construtivo.

As avaliações de desempenho, visando a atender os requisitos da ABNT NBR 15575 estão relacionadas a seguir:

- Desempenho estrutural:

Resistência a impacto de corpo mole em paredes;

Resistência a impacto de corpo duro em paredes;

Carga de ocupação – peças suspensas e redes de dormir;

Interação entre paredes e portas por fechamento brusco;

Interação entre paredes e portas por impacto de corpo mole no centro geométrico da porta.

- Estanqueidade:

Verificação da estanqueidade à água de paredes externas e internas em contato com áreas molháveis:

Verificação de estanqueidade à água de pisos;

Verificação de estanqueidade à água de cobertura.

- Segurança ao fogo:

Propagação de chamas;

Densidade ótica de fumaça;

Resistência ao fogo.

- Conforto térmico:

Condições de conforto no verão;
Condições de conforto no inverno.

- Conforto acústico:
 - Isolamento sonoro de ruído de fachada – vedação externa;
 - Isolamento sonoro de parede interna.
- Durabilidade e manutenção;
- Custos.

Todos os requisitos apresentados serão avaliados segundo as normas pertinentes e apresentados de acordo com os resultados das avaliações realizadas por profissionais especializados da área de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, através do Departamento de Engenharia.

6.1 – Desempenho Estrutural

6.1.1 – Resistência ao Impacto de Corpo Mole em Paredes

Os impactos de corpo mole segundo o ANEXO F da ABNT NBR 15575-4-2008, são aplicados por meio de saco cilíndrico de couro preenchido com areia seca, com massa total de 40 kg, acionado em movimento pendular a diferentes alturas de forma a provocar energias entre 120 e 720 J, para paredes sem função estrutural, seguindo os critérios de desempenho da ABNT NBR 15575-2-2008.

Nas paredes externas de casas térreas, com função estrutural, submetidas a impactos de corpo mole, a tabela F.3 da ABNT NBR 15575-4:2008, conforme registrado na tabela 3, informa o desempenho recomendável para os níveis intermediário a superior, onde:

Tabela 3 – Dados transcritos da tabela F.3 da ABNT NBR 15575-4:2008.

| Energia de impacto de corpo mole (J) | Critério de desempenho |
|--------------------------------------|--|
| 960 | Não ocorrência de ruptura |
| 720 | Não ocorrência de ruptura |
| 480 | Não ocorrência de fálhas |
| 240 | Não ocorrência de fálhas Limitação dos deslocamentos horizontais: $D_h \leq h/250$ $D_{hr} \leq h/1250$ |

Impacto em paredes para casa térrea sem função estrutural, de acordo com a tabela F.4 da ABNT NBR 15575-4: 2008, cujos dados estão na tabela 4, para nível intermediário serão:

Tabela 4 - Dados transcritos da tabela F.3 da ABNT NBR 15575-4:2008.

| Energia de impacto de corpo mole (J) | Critério de desempenho |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 720 | Não ocorrência de ruptura |
| 480 | Não ocorrência de fálhas |
| 360 | Não ocorrência de fálhas |
| 240 | Não ocorrência de fálhas |

| | |
|------------|---|
| | Limitação dos deslocamentos horizontais: $D_h \leq h/125$ $D_{hr} \leq h/625$ |
| 180 120 | Não ocorrência de falhas |

Onde:

D_h = Deslocamento horizontal

D_{hr} = Deslocamento horizontal residual

H = altura da parede analisada.

Realizaram-se os testes de impacto de corpo mole nas paredes externas com função estrutural cuja energia de impacto foi de 960 J e na parede interna com energia de impacto de 720 J. Também foram medidos os deslocamentos horizontais instantâneos e residuais no protótipo, medindo-se os deslocamentos horizontal e residual, conforme tabela 5 e tabela 6.

Tabela 5 – Resultados dos testes de impacto de corpo mole na parede externa com espessura de 12 cm.

| Protótipo | Deslocamentos (mm) | | Limites |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|
| Painéis de paredes externas | 1º ensaio | $D_h = 1,0$ | $D_h \leq h/250 = 10,0$ |
| | | $D_{hr} = 0,02$ | |
| | 2º ensaio | $D_h = 1,1$ | $D_{hr} \leq h/1250 = 2,0$ |
| | | $D_{hr} = 0,03$ | |

Na figura 3 mostra momento da prova de impacto de corpo mole numa parede do protótipo.



Figura 3 – Ensaio de impacto de corpo mole no lado externo da parede

Tabela 6 – Resultados dos testes de impacto de corpo mole na parede interna com espessura de 10 cm.

| Protótipo | Deslocamentos (mm) | | Limites |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|
| Painéis de paredes internas | 1º ensaio | $D_h = 0,5$ | $D_h \leq h/250 = 10,0$ |
| | | $D_{hr} = 0,0$ | |
| | 2º ensaio | $D_h = 1,0$ | $D_{hr} \leq h/1250 = 2,0$ |
| | | $D_{hr} = 0,02$ | |

Os resultados encontrados nas avaliações de desempenho por impacto de corpo mole indicam que o sistema apresentou bom desempenho nestes testes.

6.1.2 – Resistência ao Impacto de Corpo Duro em Paredes

Os impactos de corpo mole segundo o ANEXO F da ABNT NBR 15575-4-2008. , são aplicados por meio de uma esfera de aço de 1 kg na parte externa da parede, cujos critérios e níveis de desempenho de fora para dentro, de acordo com a tabela 6 da ABNT NBR 15575-2: 2008, são os seguintes:

J = 3,75 – Não deve ocorrer falha e nem mossa com qualquer profundidade;

J = 20 - Não deve ocorrer ruína e nem traspassamento. Admitem-se mossa, fissuras e desagregação. A figura 4 mostra a realização do teste.



Figura 4 – Teste de impacto de corpo duro no lado externo da parede.

Nos testes de impactos de corpo duro realizado de fora para adentro com energia de 20 J ocorreu mossa de 5mm de diâmetro e de dentro para fora não ocorreu aparecimento de mossa ou qualquer outro tipo de avaria nas paredes.

Realizaram-se impactos de corpo duro de 1 kg nos contrapisos com energia de 10 J onde as mossa tinham 5 mm de diâmetro.

6.1.3 – Cargas de ocupação

De acordo com a ABNT NBR 15575-3: 2008, as paredes devem resistir cargas verticais concentradas previsíveis nas condições normais de ocupação sem apresentar ruínas localizadas e nem deformação excessiva, conforme resultados na tabela 7 e figura 5 (a e b) mostrando a realização dos testes.

Peças suspensas, sendo 40 kg em cada ponto, não devem ocorrer falhas e as limitações de deslocamentos horizontais são:

$$D_h \leq h/500$$

$$D_{hr} \leq h/2500.$$

Sustentação de rede de dormir deve ser de 110 kg por suporte da rede, não devendo ocorrer falhas e as limitações de deslocamentos horizontais são:

$$D_h \leq h/500$$

$$D_{hr} \leq h/2500.$$

Tabela 7 – Resultados das avaliações de cargas de ocupação

| Ensaio | Deslocamentos (mm) | Observações | Limites |
|--------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| Cargas suspensas | $D_h = 0,0$ | Sem ocorrência de falhas | $D_h \leq h/500 = 5,0$ |
| | $D_{hr} = 0,0$ | | |
| Cargas da rede de dormir | $D_h = 1,0$ | | $D_{hr} \leq h/2500 = 1,0$ |
| | $D_{hr} = 0,01$ | | |



Figura 5 – (a) Carga suspensa numa parede e (b) prova de carga na rede de dormir

Verificou-se nas avaliações do protótipo de painéis que o desempenho das cargas de ocupação para cargas suspensas e cargas de rede de dormir apresentaram resultados dentro das limitações das normas, sendo então aprovadas nestes testes.

6.1.4 – Interação entre Paredes e Portas

Teste de fechamento brusco – neste teste foi aplicada uma força de 15 kgf perpendicular ao plano da porta de forma a fechá-la bruscamente, tendo sido aplicado dez impactos, não sendo constatado nenhum dano tanto na porta como no marco. As paredes também não apresentaram quaisquer danos na junção com o marco, tais como: rupturas, desintegração nas juntas e nem fissuras nas regiões de fixação dos marcos.

Impacto de corpo mole – realizou-se o teste de 240 J de impacto de corpo mole no centro geométrico da porta, não foi encontrado nenhum dano na vizinhança do marco.

6.2 – Estanqueidade

Foram avaliados três protótipos já habitados há algum tempo, onde não foram encontrados quaisquer indícios de infiltrações tanto nas proximidades próximas das cintas inferiores quanto nas faces externas das fachadas. Também nas paredes em contatos com áreas molhadas não foram encontradas manchas decorrentes absorção de água.

No ensaio de absorção do concreto das paredes, o resultado foi de 12,9% que é bem inferior ao limite máximo permitido para cerâmica tipo plan.

Os pisos dos protótipos avaliados também estavam sem nenhuma alteração devido à umidade do solo ou proveniente de lavagem periódica pelos moradores dos referidos

imóveis.

As coberturas se apresentavam em excelente estado de conservação, sem nenhum indício de deficiência no escoamento da água da chuva e as telhas estavam sadias sem vestígios de alguma patologia própria de cerâmica de má qualidade.

6.3 – Segurança ao fogo

6.3.1 – Propagação de chamas

Todos os elementos dos protótipos são adequados para ambientes que oferecem segurança contra a evolução de um incêndio porque não apresentam tendência à combustão instantânea e tem alta resistência à propagação de chamas por ser concreto com entulho de demolição, apresentando maior retardo na emissão e propagação de calor, são mais eficientes que uma construção com concreto convencional.

6.3.2 – Densidade ótica de fumaça

Sobre este item, o Projeto de Norma da ABNT: Desempenho de Edificações 02:136.01:003:2002, no item 8.3, estabelece que a fuga dos usuários em situação de incêndio deve ser facilitada pela limitação da densidade ótica da fumaça gerada na combustão de seus elementos construtivos.

O desenvolvimento e propagação de fumaça devem ser controlados de acordo com a localização em relação ao ambiente construído. A tabela 8 do projeto 02:136.01:003:2002, estabelece a densidade ótica de fumaça.

Tabela 8 – Densidade ótica de fumaça

| Elemento construtivo | Densidade ótica em cozinhas e outros locais de uso privativo das habitações (somente classificação com aplicação de chama piloto) |
|----------------------|---|
| Piso | 450 |

O concreto com entulho de demolição, da mesma forma que o concreto convencional e o concreto celular, sendo este último já analisado por FURNAS, Conforme Relatório DCT.T.15.006.2005-R0, não contribui com emissão de fumaça. Há que considerar os tipos de revestimentos que poderão emitir fumaça.

Pode-se controlar a emissão de fumaça dos revestimentos externos e internos das paredes em função de sua localização. Existem testes para assegurar este controle, conforme a norma ASTM (American Society for Testing and Materials), ASTM E-662/2003 – “Standar Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials”

Ligações através de frestas ou buracos entre os compartimentos de uma habitação devem ser evitadas para não permitir circulação de fumaça durante o incêndio. As portas devem ser instaladas entre todos os ambientes de forma a permitir seu isolamento no caso de incêndio. Este procedimento muitas vezes poderá contribuir para que o incêndio seja contido e eliminado sem maiores prejuízos para o imóvel.

6.3.3 – Resistência ao fogo

São vários fatores a serem analisados para definir a resistência ao fogo dos componentes de uma habitação, quais sejam:

- Quanto tempo o componente mantém suas características iniciais;
- Quanto tempo para início de colapso;
- Quanto tempo impedirá a passagem de gases e das chamas de um ambiente para o outro.

De acordo com as exigências do projeto: Desempenho de Edificações 02.136.02 : 2004, item 8.1.1, “A resistência ao fogo dos elementos construtivos com função estrutural e de compartimentação entre unidades habitacionais, deve atender ao disposto na tabela 8 a seguir:

Tabela 9 – Critérios relativos à resistência ao fogo de elementos construtivos de compartimentos entre as unidades habitacionais

| Elementos construtivos | Resistência ao fogo (horas) | | |
|--|-----------------------------|---------------|--------------|
| | Isolação térmica | Estanqueidade | Estabilidade |
| Pisos e paredes entre habitações contíguas | 1/2 | 1/2 | 1/2 |

O método de avaliação deve seguir a orientação das normas da ABNT NBR 5628/2002, sendo que a comprovação do atendimento também poderá ser por avaliações de ensaios realizados e também por métodos analíticos.

6.4 – Conforto térmico

Foram tomadas temperaturas do protótipo de Goiatuba para avaliar o conforto térmico interno, cujos resultados estão na tabela 10.

Tabela 10 - Relatório das temperaturas do protótipo avaliado em Goiatuba

| Dia | Horário | Temp. int. °C | Temp. ext. °C |
|------------|---------|------------------|------------------|
| 15/10/2009 | 07:00 | 21 | 23 |
| 15/10/2009 | 09:00 | 24 | 26 |
| 15/10/2009 | 11:00 | 26 | 29 |
| 15/10/2009 | 13:00 | 27 | 31 |
| 15/10/2009 | 15:00 | 27 | 32 |
| 15/10/2009 | 17:00 | 25 | 31 |
| 15/10/2009 | 19:00 | 24 | 29 |
| 16/10/2009 | 07:00 | 21 | 22 |
| 16/10/2009 | 09:00 | 24 | 25 |
| 16/10/2009 | 11:00 | 27 | 30 |
| 16/10/2009 | 13:00 | 27 | 31 |
| 16/10/2009 | 15:00 | 28 | 32 |
| 16/10/2009 | 17:00 | 26 | 28 |

| | | | |
|------------|-------|----|----|
| 16/10/2009 | 19:00 | 21 | 24 |
| 19/10/2009 | 07:00 | 19 | 23 |
| 19/10/2009 | 09:00 | 22 | 25 |
| 19/10/2009 | 11:00 | 22 | 27 |
| 19/10/2009 | 13:00 | 26 | 33 |
| 19/10/2009 | 15:00 | 26 | 34 |
| 19/10/2009 | 17:00 | 25 | 30 |
| 19/10/2009 | 19:00 | 24 | 28 |
| 20/10/2009 | 07:00 | 20 | 25 |
| 20/10/2009 | 09:00 | 24 | 25 |
| 20/10/2009 | 11:00 | 25 | 26 |
| 20/10/2009 | 13:00 | 24 | 29 |
| 20/10/2009 | 15:00 | 26 | 42 |
| 20/10/2009 | 17:00 | 28 | 40 |
| 20/10/2009 | 19:00 | 28 | 38 |
| 21/10/2009 | 07:00 | 22 | 24 |
| 21/10/2009 | 09:00 | 24 | 27 |
| 21/10/2009 | 11:00 | 26 | 30 |
| 21/10/2009 | 13:00 | 27 | 32 |
| 21/10/2009 | 15:00 | 28 | 34 |
| 21/10/2009 | 17:00 | 28 | 33 |
| 21/10/2009 | 19:00 | 25 | 28 |

A partir de dados de dados medidos de temperatura interna e externa, Krueger(2003), pode-se gerar equações preditivas de temperatura ser alcançadas no ambiente interno e externo que está sendo avaliado. Este método fornece dados do comportamento térmico de um ambiente com relativa precisão, a partir de poucas variáveis ambientais, dispensando simulações de desempenho. As equações representam o padrão de relações entre o ambiente interno e externo de uma habitação de forma puramente matemática. Este procedimento foi desenvolvido a partir da pesquisa de (GIVONI, 1999, Apud KRUEGER, 2003). Foram exaustivas medições realizadas no sul da Califórnia, EUA, durante dois anos sob diversas condições para se chegar a seguinte equação (1):

$$T_{\text{máx, int}} = GT_{\text{méd, ext}} + \Delta T + K(T_{\text{méd, ext}} - GT_{\text{méd, ext}}) \quad (1)$$

Onde:

$T_{\text{máx, int}}$ = temperatura máxima interna do dia analisado;

$GT_{\text{méd, ext}}$ = temperatura média externa no período analisado;

ΔT = elevação da temperatura máxima interna sobre a média da temperatura externa;

$T_{\text{méd, ext}}$ = temperatura média externa do dia analisado;

K = razão da variação diária entre a máxima temperatura interna e a média externa.

Aplicando-se a equação (1) de Krueger, os resultados das temperaturas máximas internas estão na tabela 11.

Tabela 11 – Temperatura máxima calculada

| Dia da tomada das temperaturas | Temperatura máx. calculada (°C) |
|--------------------------------|---------------------------------|
|--------------------------------|---------------------------------|

| | |
|------------|-------|
| 15/10/2009 | 27,04 |
| 16/10/2009 | 25,33 |
| 19/10/2009 | 26,07 |
| 20/10/2009 | 27,63 |
| 21/10/2009 | 27,96 |

Na figura 6 a seguir, são apresentados os valores da temperatura média interna e externa de cada dia das leituras.

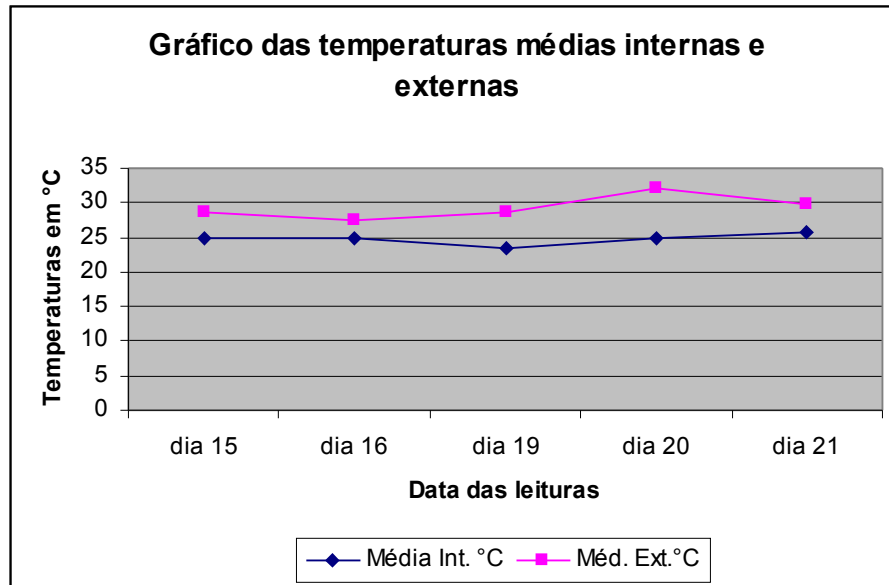


Figura 6 – resultado das médias das temperaturas internas e externas.

6.4.1 – Cálculo dos parâmetros térmicos

Concreto das paredes:

Traço em massa: 1:8,2:0,8 (cimento:entulho moído:água/cimento)

Cimento por m³ de concreto = 200 kg

Massa unitária do concreto = 1,87kg/dm³

Calor específico (c) = 0,713 kJ/kg.K

Condutividade térmica (λ) = 0,73 W/m.K

Resistência térmica para paredes de 12 cm de espessura:

$$R_T = 0,12/0,73 = 0,16 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

Sendo que este valor está entre a resistência total de uma parede de bloco de 9 cm de espessura mais revestimento em argamassa que é 0,30 m².K/W e a resistência de uma parede de bloco cerâmico de 9 cm de espessura mais revestimento em argamassa, 0,42 m².K/W.

A transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica que é igual à:

$$U = 1/0,16 = 6,25 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

A capacidade térmica da parede de concreto com 12 cm de espessura será:

$$C_T = 0,12 \times 0,713 \times 1870 = 160 \text{ kJ}/\text{m}^2.\text{K}$$

O atraso térmico calculado para parede de 12 cm de espessura é de 3,73 horas.

De acordo com as diretrizes construtivas para zona bioclimática 6 da ABNT NBR 15220-3/2005 em que está à cidade de Goiatuba, deve-se adotar aberturas médias para ventilação e também sombreamento.

6.5 – Conforto Acústico

O desempenho acústico de uma habitação deve apresentar níveis que permitam aos habitantes morar bem sem perturbação de ruídos externos da rua, vizinhanças e até mesmo em relação a compartimentos internos, quando destinadas ao lazer, trabalhos e ao repouso noturno.

O isolamento acústico depende:

- da massa específica do elemento;
- da sua porosidade interna;
- da espessura.

É importante analisar a fuga de sons através de portas, janelas e caixas de passagens.

O isolamento mínimo, segundo NBR 1575-4:2008, tabela 19:

- dentro da mesma habitação é de 30 a 34 dB;
- entre as habitações, é de 40 a 44 dB.

Na avaliação do protótipo, os resultados foram:

- som externo para o interior, o valor médio foi de 41,1 dB;
- interno entre compartimentos, o valor médio foi de 30,3 dB.

6.6 – Durabilidade

A durabilidade do sistema construtivo aqui analisado pode ser comparada aos sistemas construtivos com concreto convencional, concreto com agregados leves e concretos celular. Para concretos de mesma resistência à compressão e relação água/cimento foi encontrada uma pequena diferença na taxa de carbonatação. Outro cuidado na utilização de entulho de demolição é a presença de resíduos de gesso cuja ação já é bastante conhecida na degradação do concreto e da armadura. Alguns cuidados no projeto e execução darão uma grande contribuição na durabilidade da obra, tais como: evitar infiltração de água, impermeabilização na transição fundação para paredes e os demais procedimentos para manter a habitação com drenagens da água da chuva.

Nas figuras a seguir mostram a avaliação de carbonatação, figura 7 (a e b) numa cinta e um pilar com mais de um ano de idade, onde a espessura de carbonatação foi de 1,5 cm.



Figura 7 (a e b) avaliação de carbonatação numa cinta inferior externa e um pilar externo.

As paredes devem receber pintura adequada, ou seja: na parte externa deve receber uma aplicação de selador externo para impermeabilizar e prolongar a vida útil da pintura que também deve ser própria para exterior. Internamente, seria o selador interno e pintura com PVA interior. O piso será como na construção convencional, tendo uma lona de PVC na superfície da camada de solo compactado para receber o contrapiso e o piso. No banheiro e cozinha devem ser revestido com cerâmica. As instalações elétricas e hidro- sanitárias devem ter a tubulação já embutida junto com a execução das paredes, evitando rasgos ou cortes após a parede pronta. A cobertura também será com na construção convencional ou com material reciclado como as telhas de Tetra Pak que será uma boa opção para sustentabilidade da habitação.

6.6.1 Manutenção

O sistema construtivo aqui analisado não apresenta dificuldade para sua manutenção devido às características de durabilidade já avaliadas do concreto e ressalta-se ainda que a borracha seja praticamente não degradável. O concreto das paredes tem baixa absorção, 12,9 %, item 5.1. Recomenda-se pintura periódica das portas e janelas, sempre que se apresentar sinais de corrosão, como expansão da camada de pintura. Também as paredes devem ser pintadas pelo menos a cada dois anos com tinta de boa qualidade.

Deve ter calçada em volta das paredes externas para evitar carreamento do solo na vizinhança das fundações.

Devem-se observar principalmente os pisos dos banheiros, cozinha e área de serviço quanto ao escoamento da água para que não permaneça empoçada porque irá causar deterioração do mesmo e também não usar produtos de limpeza com alto teor de cloro ou sabões que são tremendamente agressivos aos pisos de um modo geral.

As instalações hidráulicas e sanitárias devem ser bem cuidadas para evitar entupimentos, vazamentos que trarão problemas de infiltrações e deterioração da habitação.

As instalações elétricas também devem estar com uso dentro do que foi planejado para a residência porque uma sobrecarga trará grandes transtornos como até riscos de incêndios.

6.6.2 - Manual do proprietário

Ao proprietário do imóvel caberá a responsabilidade do uso consciente de seu habitat para seguir a premissa de que sabendo usar não vai ter transtornos de despesas maiores com sua residência. Qualquer intervenção futura como ampliações ou modificações devem ser planejadas para não comprometer a segurança da obra. A orientação de um profissional habilitado deve ser considerada, além atender as normas da ABNT NBR 5674/1999 – “Manutenção de edificações – Procedimento” e ABNT NBR 14037/1998 “Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação”, ou seguir orientação da CAIXA que deverá orientar aos ocupantes do imóvel sobre a forma correta de utilizar seu imóvel. Tais recomendações deverão conter ainda informações sobre eventuais patologias que poderão ocorrer no imóvel e a forma correta para resolver o problema. No manual do proprietário deverá abordar os seguintes itens: fundações, alvenarias, revestimentos, parte metálica, madeira, cobertura e estrutura. Ao lado do proprietário está o Código de Defesa do Consumidor para auxiliá-lo nas questões que não foram resolvidas por

entendimento entre as partes.

7 SISTEMA CONSTRUTIVO

O sistema objeto desta avaliação diferencia dos já existentes nos seguintes itens:

- fragmentos de borracha de pneu, plásticos e vidros incorporados ao concreto com agregado de entulho.

7.1 Fundações

Para habitação térrea a fundação é constituída de uma cava de 40x50 cm, preenchida com bobinas ou de carcaça de pneu e concreto com agregado de entulho, com um consumo mínimo de cimento de 200 kg/m³, traço T.1 do item 5.1. Acima do alicerce vem a cinta inferior com armadura mínima e concreto com agregado de entulho, com consumo mínimo de cimento de 400 kg/m³, $f_{ck} = 15$ MPa, segundo o traço T.2, do item 5.1. As fotos da figura 8(a e b) mostram a execução das fundações deste sistema.



Figura 8(a e b) – Execução da fundação para habitações térreas.

Pode-se também usar as carcaças de pneus para fundações de até dois pavimentos, devidamente dimensionada, utilizando a carcaça de pneu para executar as sapatas, conforme sugestão da figura 9 a seguir:



Figura 9 – Fundação em sapata utilizando a carcaça de pneu.

7.2 - Pisos

Após a compactação do aterro conforme processo convencional coloca-se uma lona plástica e executa o contrapiso com o mesmo traço de concreto das paredes, (T.1) e a seguir o piso que poderá ser nas alternativas usuais de construção e inclusive com cimentado colorido. Para os pisos de áreas molháveis como banheiro, cozinha e áreas de serviço deverão ser impermeável para evitar infiltrações.

7.3 - Painéis de paredes

Os painéis de paredes não devem ter altura acima de 3,00m, com a cinta superior e vão de no máximo 3,00m entre paredes ou pilares de modo a permitir maior segurança a pressão de ventos. A execução dos painéis é concretagem in loco com fôrmas de chapas metálicas, desmontáveis. O preenchimento é com concreto cujo traço recomendado no item 5.1 e com fragmentos de borracha de pneu, garrafas PET e vidro. A figura 10(a e b) a seguir, mostra a execução dos painéis segundo o processo citado aqui:



Figura 10 (a e b) – Execução dos painéis de paredes em concreto com entulho de demolição, fragmentos de borracha de pneus, garrafa PET e vidros.

7.4 - Laje de forro

A laje de forro é do tipo treliçada devendo ser calculada de acordo com o vão livre. O concreto é com $f_{ck} = 15$ MPa, cujo traço avaliado foi o (T.2) do item 5.1. Como preenchimento pode-se usar bobinas de borracha de pneu ou isopor, conforme figura 11 a seguir:



Figura 11 – Preparo da laje de forro para concretagem.

7.5 - Telhado

O telhado pode ser um dos já tradicionais, com a recomendação de manter o conforto térmico interno e as outras funções inerentes para habitação. Na figura 12 a seguir mostra um telhado de telha plan como excelente opção para a zona 6, segundo a ABNT NBR 15220-3/2005. Esta recomendação não inibe outras formas de coberturas, pois já existem várias sugestões de coberturas com outros materiais, também reciclados com excelente proteção ao ambiente interno da habitação.



Figura 12 – Telhado com telha plan o protótipo avaliado em Goiatuba.

7.6 - Instalações hidro-sanitárias

As instalações hidro-sanitárias deverão ser embutidas nas paredes e nos pisos, devendo ser de PVC rígido, soldável ou rosqueável e executadas de acordo com as técnicas recomendadas pelas normas específicas.

7.7 - Instalações elétricas

Da mesma forma, as instalações elétricas seguem os padrões normais de execução, a fiação deve estar embutida em eletrodutos de PVC. Deverão ser respeitadas as orientações da ABNT NBR 5410/2004.

7.8 – Esquadrias

As esquadrias metálicas poderão ser assentadas após a conclusão das paredes. Os vãos das janelas devem ter vergas e contra-vergas para evitar fissuras de cisalhamento nos cantos das aberturas. As partes metálicas deverão receber pintura de proteção anti-corrosiva e pintura final, optativa em esmalte sintético.

7.9 - Acabamento dos painéis

Recomenda-se pelo menos uma pintura de proteção contra umidade dos painéis com um selador externo e interno e pintura final com tinta PVA interna e externa.

8 - GARANTIAS E RESPONSABILIDADES

As avaliações e recomendações deste documento não eximem da assistência de profissional habilitado e nem permite que as construções sejam executadas sem responsabilidade técnica conforme legislação vigente.

8.1 - Da construtora

À Construtora se obriga a garantia do produto final (a habitação) de acordo com a lei vigente no País, além de garantias adicionais exigidas especialmente pela CAIXA.

8.2 - Dos outros materiais e componentes do sistema construtivos utilizando o concreto com agregado de entulho e borracha de pneu

Quanto aos outros materiais e componentes utilizados neste sistema construtivos, o Fabricantes destes materiais e componentes deverão dar a CEF, à construtora e aos proprietários do imóvel as garantias previstas no Código de Defesa do Consumidor.

9 - VALIDADE DESTE DOCUMENTO

Este documento será válido a partir da data de sua publicação, e será válido enquanto não for proposta alguma alteração na tecnologia que poderá sofrer alguma modificação a qualquer época em que for julgada conveniente.

10 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto com entulho de demolição já foi bastante pesquisado com muitas publicações que possibilita estabelecer uma tecnologia adequada que permite sua aplicação com segurança. Já se tem parâmetros bem definidos, tais como: teor de absorção de água, resistência em função do fator água/cimento, densidade, parâmetros térmicos, entre outros.

A borracha de pneu, além de ser um componente não degradável dentro do concreto,

também irá contribuir no isolamento termo-acústico e melhorar sua deformabilidade, reduzindo à tendência a fissuração.

Todos os elementos construtivos seguem os padrões usuais de construção que já fazem parte das metodologias disponíveis para a engenharia voltada para projetos e execução de habitações unifamiliar.

11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Alves, José Dafico – Manual de Tecnologia do Concreto. 4ª ed. Rev. e Atualizada. Goiânia: Ed. da UCG, 2002. 219 p.: il.
- 2 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Especificação – NBR 13749. Rio de Janeiro. 1996.
- 3 Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social. IPT – São Paulo - SP.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Porta de Madeira de Edificação: Verificação da Resistência a Impactos da Folha –NBR 8051. Rio de Janeiro, 1983.
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Porta de Madeira de Edificação: Verificação do Comportamento da Folha Submetida a Manobras Anormais – NBR 8054. Rio de Janeiro, 1983.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Materiais de Construção - Determinação do Índice de Propagação Superficial de Chama Pelo Método do Painel Radiante – NBR 9442. Rio de Janeiro. 1986.
- 7 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social – ABNT NBR 15220-3. Rio de Janeiro. 2005.
- 8 Associação Brasileira De Normas Técnicas. Desempenho de Edifícios Habitacionais de Até Cinco Pavimentos - Parte 1:Requisitos Gerais – Projeto 02:136.01.001. Rio de Janeiro. 2002.
- 9 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desempenho de Edifícios Habitacionais de Até Cinco Pavimentos - Parte 4:Fachadas e Paredes Internas – Projeto 02:136.01.004. Rio de Janeiro. 2002.
- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Componentes Construtivos Estruturais - Determinação da Resistência Ao Fogo – NBR 5628. Rio de Janeiro, 2001.
- 11 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Paredes Divisórias sem Função Estrutural - Determinação da Resistência ao Fogo –NBR 10636. Rio de Janeiro, 1989.
- 12 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações – Procedimento – NBR 14432. Rio de Janeiro. 2001.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento – NBR 6118. Rio de Janeiro, 2003.
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Instalações Elétricas de Baixa Tensão – NBR 5410. Rio de Janeiro. 2004.
- 15 American Society For Testing And Materials. Standard Test Method For Specific Optical Density Of Smoke Generated By Solid Materials – ASTM E-662, 2003.
- 16 American Society For Testing And Materials. Standard Test Methods For Fire Tests Of Building Construction And Materials – ASTM E-119, 2000.

- 17 FURNAS – CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. – Avaliações de Sistemas Construtivos e Estabelecimento de Requisitos para Edificações Térreas com Paredes de Concreto Celular Autoclavado. Relatório DCT. T. 15.006.2005-R0. Junho 2005.
- 18 Krueger, Eduardo Leite – Um protótipo habitacional construído de materiais alternativos – ANTAC, v. 3, nº 2, p. 77/86. Porto Alegre, abril/junho, 2003.
- 19 Oliveira, Fabiana Lopes de e Junior, Eloy F. Machado – Avaliação da segurança estrutural de sistemas inovadores: estudo de caso. Nº 5. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 1998.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

Goiânia,

José Dafico Alves

Engenheiro Civil, Notório Saber, Professor
da Universidade Estadual de Goiás,
Coordenador do Projeto

José Alves de Freitas
Diretor do Departamento de Engenharia da
PUC/GO.

Participaram deste trabalho:

Equipe do Laboratório de Engenharia Civil da PUC Goiás:

- Divino Gabriel Lima Pinheiro
- Flavio Augusto Marcílio Cardoso
- Thiago Monteiro dos Santos

