FURNAS
CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

Relatório DCT.C.15.003.2006-R1
MAIO/2008

ABESC
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM

SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM CONCRETO MOLDADO IN LOCO E TILT-UP

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

DEPARTAMENTO DE APOIO E CONTROLE TÉCNICO
LABORATÓRIO DE SOLOS
RODOVIA BR 153, km 1290
CAIXA POSTAL 457
74001-970 - GOIÂNIA-GO
FONE: PABX (62) 3239-6300
FAC-SÍMILE: (62) 3239-6500
geotec@furnas.com.br

F I C H A T É C N I C A

TÍTULO: Relatório DCT.C.AC.003.2006-R1 - ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem - Sistemas construtivos em concreto moldado in loco e tilt-up - Avaliação de Desempenho.

PALAVRAS-CHAVES: Concreto moldado in loco. Concreto tilt-up. Conforto Acústico. Conforto Térmico. Desempenho Estrutural. Durabilidade. Estanqueidade. Habitação Social. Resistência ao Fogo.

RESUMO: Neste relatório são apresentados os estudos e ensaios para avaliação de desempenho de processos construtivos em concreto, nos sistemas moldado in loco e tilt-up, construídos como protótipos no Departamento de Apoio e Controle Técnico de FURNAS Centrais Elétricas S.A., em Aparecida de Goiânia - GO.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

3. AMOSTRAS

4. ENSAIOS REALIZADOS E METODOLOGIA DE EXECUÇÃO

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

6. NORMAS E DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXO A - PLANTA BAIXA E PROJETO DE FUNDAÇÃO DO PROTÓTIPO MOLDADO IN LOCO

ANEXO B - PLANTA BAIXA E PROJETO DE FUNDAÇÃO DO PROTÓTIPO NO SISTEMA TILT-UP

ANEXO C - RESISTÊNCIA AO FOGO - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIDA E TABELA DAS TEMPERATURAS REGISTRADAS

1. INTRODUÇÃO

Neste relatório são apresentados os estudos e ensaios para avaliação de desempenho de processos construtivos em concreto, nos sistemas moldado in loco e tilt-up, construídos como protótipos no Departamento de Apoio e Controle Técnico (DCT.C) de FURNAS Centrais Elétricas S.A., em Aparecida de Goiânia - GO.

Os ensaios, integrantes do Programa 15.33 do Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído - LASC, subordinado ao Laboratório de Solos, foram solicitados ao DCT.C pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem - ABESC. A proposta de prestação de serviços foi enviada por meio do fac-símile DCT.T.0130.2005, de 31 de março de 2005. Sua concordância foi firmada através do fac-símile de protocolo 1509.2005, de 08 de abril de 2005.

O Departamento de Apoio e Controle Técnico não se responsabiliza por reproduções integrais não autorizadas deste documento. Sua reprodução parcial é proibida.

As informações contidas neste relatório têm validade restrita aos protótipos analisados e às condições em que os ensaios foram realizados.

2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

O objetivo é dotar as companhias de habitação, os agentes gestores de políticas habitacionais, os fabricantes e o meio técnico em geral de mecanismos que permitam a seleção de sistemas construtivos em bases técnicas, estimulando maior oferta de novas soluções e evitando experiências malsucedidas.

A avaliação de desempenho consiste em prever o comportamento potencial do sistema construtivo ao longo do seu uso, tomando-se duas vertentes: as exigências do usuário e as condições de exposição da habitação.

Essas premissas se traduzem em seis exigências dos usuários:

- desempenho estrutural;
- estanqueidade à água;
- segurança ao fogo;
- conforto térmico e acústico;
- durabilidade.

O método de avaliação adotado é conhecido internacionalmente como abordagem de desempenho (*performance approach*). Este método está consagrado na normalização internacional (normas ISO), sendo empregado rotineiramente para o desenvolvimento e avaliação de tecnologias inovadoras em diferentes países do mundo, como, por exemplo, pelo CSTB da França e pelo SAA da África do Sul.

A abordagem de desempenho busca avaliar a adequação ao uso das novas tecnologias e inclui, entre outras, exigências relativas a:

- segurança estrutural;
- segurança ao fogo;
- durabilidade e manutenção;
- adequação de projeto;
- conforto térmico e acústico;
- estanqueidade;
- gestão da qualidade e custos.

Para cada exigência são apresentados requisitos e critérios de avaliação. Alguns destes critérios são eliminatórios, ou seja, prescrevem um nível mínimo de desempenho abaixo do qual a tecnologia não é aceita. Outros são classificatórios, ou seja, possuem uma escala de classificação de desempenho da tecnologia, diferenciando distintos níveis obtidos. Finalmente, outros critérios são eliminatórios e classificatórios, incorporando as características de ambos.

Para esta avaliação, foi tomado como base o documento “Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social” do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), de 1998, cotejado com o projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT 02:136.01 “Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos”, ainda em discussão.

3. AMOSTRAS

As amostras, integrantes do Programa de Estudo LASC nº 15.33, foram recebidas e registradas no Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído de FURNAS Centrais Elétricas S.A., conforme identificação constante da Tabela 3-1.

Tabela 3-1 – Identificação das Amostras

Material*	Identificação		Data de Recebimento
	Tipo	Registro	
Concreto Armado	Placa em concreto armado, medindo 1,00 x 1,00 x 0,08 m.	15.0064.2005	05/08/2005
	Placa em concreto armado, medindo 1,00 x 1,00 x 0,10 m.	15.0065.2005	05/08/2005
	Placa em concreto armado, medindo 1,00 x 1,00 x 0,12 m.	15.0066.2005	05/08/2005
	Placa em concreto armado, medindo 1,00 x 1,00 x 0,15 m.	15.0067.2005	05/08/2005
Concreto Armado (tilt-up)	Parede em concreto armado com dimensões totais de 4,04 x 2,95 x 0,10 m, formada por duas placas pré-moldadas de 2,02 x 2,95 x 0,10 m, montadas no pórtico de ensaio pelo sistema tilt-up, unidas verticalmente na região central com argamassa de cimento e areia, e vedadas com adesivo selante à base de poliuretano.	15.0088.2005	22/12/2005
Concreto Armado (moldado)	Parede em concreto armado moldado in loco em formas de alumínio (sistema Forsa®) formando dois pavimentos, com dimensões de 5,00 x 2,60 x 0,10 m no primeiro pavimento e de 5,00 x 2,60 x 0,08 m no segundo pavimento, com laje intermediária e laje de cobertura medindo 5,00 x 1,00 x 0,10 m.	15.0089.2005	21/10/2005
Concreto Armado (tilt-up)	Parede em concreto armado formando dois pavimentos, constituída por placas com dimensões de 5,00 x 2,60 x 0,10 m no primeiro pavimento e de 5,00 x 2,60 x 0,08 m no segundo pavimento, com laje intermediária e laje de cobertura medindo 5,00 x 1,00 x 0,10 m, pré-moldadas e montadas no pórtico de ensaio pelo sistema tilt-up.	15.0012.2006	20/12/2005
Concreto Armado (moldado)	Edificação térrea executada em concreto armado moldado in loco em formas de alumínio (sistema Forsa®), com dimensões externas de 5,80 x 3,10 m, dividida internamente em dois cômodos de mesma área, com pé-direito de 2,60 m e laje em toda a área. Paredes externas e laje com espessura de 0,10 m e parede interna com 0,08 m, todas revestidas com pintura de cal e aditivo fixador. Fundação do tipo sapata corrida com seção de 0,30 x 0,10 m.	15.0013.2006	27/03/2006
Concreto Armado (tilt-up)	Edificação térrea executada em concreto armado pré-moldado, com dimensões externas de 5,80 x 3,10 m, dividida internamente em dois cômodos de mesma área, com pé-direito de 2,60 m, sem laje, com forro em toda a área. Paredes externas com espessura de 0,10 m e parede interna com 0,08 m, todas revestidas com pintura de cal e aditivo fixador, formadas por placas com dimensões de 5,60 x 2,60 x 0,10 m (2), 3,10 x 2,60 x 0,10 m (2) e 3,00 x 2,60 x 0,08 m montadas pelo sistema tilt-up sobre fundação em radier com espessura de 0,10 m na parte externa e de 0,15 m na parte interna.	15.0014.2006	27/03/2006
Concreto Armado (tilt-up)	Parede em concreto armado com dimensões totais de 1,00 x 1,20 x 0,10 m, formada por duas placas pré-moldadas de 0,50 x 1,20 x 0,10 m, montadas no pórtico de ensaio pelo sistema tilt-up, unidas verticalmente na região central com adesivo selante à base de poliuretano.	15.0015.2006	22/12/2005
Concreto Armado (moldado)	Parede em concreto armado moldado in loco com dimensões de 2,39 x 2,39 x 0,11 m.	15.0025.2006	20/12/2005

* Todos os concretos foram especificados pelo cliente com fck = 20 MPa.

4. ENSAIOS REALIZADOS E METODOLOGIA DE EXECUÇÃO

Os ensaios foram realizados segundo procedimentos do Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído do Departamento de Apoio e Controle Técnico de FURNAS Centrais Elétricas S.A., os quais são integrantes do Sistema de Gestão da Qualidade.

4.1. Ensaios Não-Credenciados pelo INMETRO - RBLE

Nome do Ensaio	Metodologia	Procedimento FURNAS
Impacto de corpo mole em paredes, pilares, lajes e pisos em edificações	NBR 11.675/90	15.068.001
Impacto de corpo duro em paredes, pisos e coberturas	Método IPT *	---
Cargas de ocupação – Peças suspensas	NBR 11.678/90	15.068.002
Cargas de ocupação – Sustentação de redes de dormir	Método IPT *	---
Interação entre paredes e portas – Impacto de corpo mole em porta	NBR 8051/83	---
Interação entre paredes e portas – Operações de fechamento brusco da porta	NBR 8054/83	15.069.003
Verificação da estanqueidade à água de paredes externas	Método IPT *	---
Avaliação de desempenho acústico em protótipos – Parte externa	ISO 104-5/1998	15.072.010
Avaliação de desempenho acústico em protótipos – Parte interna	ISO 104-4/1998	15.072.011
Ensaio de resistência ao fogo em escala reduzida – Forno Horizontal	ASTM E 119/1995	15.069.004
Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo	NBR 5628/2001	---
Verificação do comportamento de paredes expostas à ação do calor e choque térmico	Método IPT *	---
Determinação das propriedades térmicas de materiais de vedação - Método da Caixa Quente Abrigada	ISO 8990/94	---

* Metodologia baseada na publicação "Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social" do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1. Ensaios relativos ao sistema moldado in loco

Todas as amostras foram construídas pelo cliente utilizando formas de alumínio do sistema Forsa®, fornecidas pela empresa FORSA FORMALETAS S.A.

5.1.1. Resistência a Impacto

5.1.1.1. Resistência a Impacto de Corpo Mole

Os ensaios de corpo mole foram realizados conforme diretrizes gerais da norma ABNT NBR 11675/90. Os impactos são aplicados por meio de um saco cilíndrico de couro preenchido com areia seca e serragem de madeira, com massa total de 40 kg, abandonado em movimento pendular,

a partir de alturas previstas em norma, que resultam em energias de impacto que variam de 120 J a 960 J.

Foram realizados ensaios de impacto de corpo mole na parede com dois pavimentos (registro 15.0089.2005) construída no pórtico metálico do laboratório e nas paredes externa e interna do protótipo (registro 15.0013.2006), todas com função estrutural.

Os resultados dos ensaios realizados na parede construída no laboratório, Fotos 5.1-1 a 5.1-4, estão apresentados nas Tabelas 5.1-1 e 5.1-2.

Tabela 5.1-1 – Parede Externa com Função Estrutural - 1º Pavimento - Registro 15.0089.2005 - Data: 22/11/2005

Impacto	**Energia de impacto (J)**	**Deslocamento Horizontal (mm)**		**Observações de Ensaio**	**Parâmetros e Exigências**		
					Deslocamento máximo		**Exigências e Observações**
	Fora p/ Dentro	**dhi(2)**	**dhr(3)**		**dhi(2)**	**dhr(3)**	
1º	120	0,1	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
2º	180	0,2	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
3º	240	0,3	0,0	- Nenhum dano.	H(4)/250 (10,4 mm)	---	Sem nenhum dano.
4º	240	0,2	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
5º	240	0,4	0,0	- Nenhum dano.	---	H(4)/1250 (2,1 mm)	Sem nenhum dano.
6º	360(1)	0,4	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
7º	480(1)	0,4	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
8º	720(1)	0,7	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
9º	960(1)	0,8	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.

(1) impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade.
(2) dhi = deslocamento horizontal instantâneo.
(3) dhr = deslocamento horizontal residual.
(4) H = pé-direito da edificação.

Tabela 5.1-2 – Parede Externa com Função Estrutural - 2º Pavimento - Registro 15.0089.2005 - Data: 22/11/2005

Impacto	Energia de impacto (J)	Deslocamento Horizontal (mm)		Observações de Ensaio	Parâmetros e Exigências		
					Deslocamento máximo		Exigências e Observações
	Dentro p/ Fora	dhi(2)	dhr(3)		dhi(2)	dhr(3)	
1º	120	0,4	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
2º	180	0,6	0,0	- Nenhum dano.	H(4)/250 (10,4 mm)	---	Sem nenhum dano.
3º	180	0,6	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
4º	180	0,6	0,0	- Nenhum dano.	---	H(4)/1250 (2,1 mm)	Sem nenhum dano.
5º	240(1)	0,9	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
6º	360(1)	1,1	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
7º	480(1)	0,7	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.

(1) impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade.
(2) dhi = deslocamento horizontal instantâneo.
(3) dhr = deslocamento horizontal residual.
(4) H = pé-direito da edificação.

Foto 5.1-1 – Ajuste do transdutor de deslocamento

Foto 5.1-2 – Posicionamento do corpo mole p/ impacto

Foto 5.1-3 – Sistema de aquisição de dados

Foto 5.1-4 – Posicionamento do corpo mole p/ impacto

Os resultados dos ensaios realizados nas paredes externa e interna do protótipo, Fotos 5.1-5 e 5.1-6, estão apresentados nas Tabelas 5.1-3 e 5.1-4, a seguir.

Tabela 5.1-3 – Parede Externa com Função Estrutural - Registro 15.0013.2006 - Data: 19/05/2006

Impacto	**Energia de impacto (J)**	**Deslocamento Horizontal (mm)**		**Observações de Ensaio**	**Parâmetros e Exigências**		
					Deslocamento máximo		**Exigências e Observações**
	Fora p/ Dentro	**dhi(2)**	**dhr(3)**		**dhi(2)**	**dhr(3)**	
1º	120	0,1	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
2º	240	0,4	0,1	- Nenhum dano.	H(4)/250 (10,4 mm)	---	Sem nenhum dano.
3º	240	0,3	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
4º	240	0,4	0,1	- Nenhum dano.	---	H(4)/1250 (2,1 mm)	Sem nenhum dano.
5º	360(1)	0,6	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
6º	480(1)	0,6	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
7º	720(1)	1,0	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
8º	960(1)	1,0	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.

(1) impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade.
(2) dhi = deslocamento horizontal instantâneo.
(3) dhr = deslocamento horizontal residual.
(4) H = pé-direito da edificação.

Tabela 5.1-4 – Parede Interna com Função Estrutural - Registro 15.0013.2006 - Data: 22/05/2006

Impacto	**Energia de impacto (J)**	**Deslocamento Horizontal (mm)**		**Observações de Ensaio**	**Parâmetros e Exigências**		
					Deslocamento máximo		**Exigências e Observações**
		dhi(2)	**dhr(3)**		**dhi(2)**	**dhr(3)**	
1º	120	0,7	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
2º	180	0,9	0,0	- Nenhum dano.	H(4)/250 (10,4 mm)	---	Sem nenhum dano.
3º	180	1,3	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
4º	180	1,2	0,0	- Nenhum dano.	---	H(4)/1250 (2,1 mm)	Sem nenhum dano.
5º	240(1)	1,5	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
6º	360(1)	1,1	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
7º	480(1)	1,2	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.

(1) impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade.
(2) dhi = deslocamento horizontal instantâneo.
(3) dhr = deslocamento horizontal residual.
(4) H = pé-direito da edificação.

Foto 5.1-5 - Sistema de aquisição de dados

Foto 5.1-6 - Posicionamento do corpo mole p/ impacto

5.1.1.2. Resistência a Impacto de Corpo Duro

Os ensaios de impacto de corpo duro foram realizados conforme diretrizes gerais do documento "Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social", do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Os impactos são aplicados por meio de esferas maciças de aço, com massa total de 50 g, 500 g e 1000 g, abandonadas em movimento pendular (ou em queda livre, no caso de pisos e coberturas), a partir de alturas previstas em norma, que resultam em energias de impacto que variam de 1,0 J a 25 J, de acordo com o componente ensaiado (parede interna ou externa, pisos e coberturas).

Os pisos e coberturas não foram ensaiados, por se tratar de tecnologia comum de mercado. Em função da similaridade das paredes, decidiu-se realizar somente o ensaio na pior condição, ou seja, com energias de impacto de 3,75 J e 20 J. Os resultados dos ensaios de impacto de corpo duro realizados na parede com dois pavimentos (registro 15.0089.2005) construída no pórtico metálico do laboratório estão apresentados nas Tabelas 5.1-5 e 5.1-6.

Tabela 5.1-5 – Ensaio de Impacto de Corpo Duro - Parede Externa - Registro 15.0089.2005 - Data: 22/11/2005

Impactos de Utilização		
Parede externa, face externa – Energia de 3,75 J		
Impacto	**Observações do ensaio**	**Parâmetros e Exigências**
1º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,7 mm.	Não devem sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano.
2º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,9 mm.	
3º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,4 mm.	
4º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,6 mm.	
5º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
6º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
7º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,7 mm.	
8º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,8 mm.	
9º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,6 mm.	
10º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 1,0 mm.	

Tabela 5.1-6 – Ensaio de Impacto de Corpo Duro - Parede Externa - Registro 15.0089.2005 - Data: 22/11/2005

Impactos de Segurança		
Parede externa, face externa – Energia de 20 J		
Impacto	**Observações do ensaio**	**Parâmetros e Exigências**
1º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 1,2 mm.	Não devem sofrer ruptura ou traspassamento sob ação do impacto.
2º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,9 mm.	
3º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 1,0 mm.	
4º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,8 mm.	
5º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,8 mm.	
6º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,9 mm.	
7º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,9 mm.	
8º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 1,0 mm.	
9º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 1,2 mm.	
10º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 1,4 mm.	

5.1.2. Cargas de Ocupação

5.1.2.1. Peças Suspensas

Os ensaios de peças suspensas foram realizados conforme diretrizes gerais da norma ABNT NBR 11678/90. Com o auxílio de contrapesos, aplica-se na extremidade das mãos francesas fixadas na parede uma carga vertical “P”; esta carga deve ser aplicada sem golpes e de maneira gradativa até atingir a carga de norma ou aquela especificada pelo fabricante do sistema construtivo a ser avaliado. No lado oposto da parede instala-se um sistema para medida do deslocamento horizontal da mesma, conforme ilustrado nas Fotos 5.1-7 a 5.1-8.

Foto 5.1-7 – Aparato carregado

Foto 5.1-8 – Relógio comparador - Face oposta

Os resultados dos ensaios de peças suspensas realizados na parede construída no laboratório (registro 15.0089.2005) estão apresentados nas Tabelas 5.1-7 e 5.1-8.

Tabela 5.1-7 – Ensaio de peças suspensas - Parede Externa - Registro 15.0089.2005 - Data: 29/11/2005

Cargas de ocupação - Peças suspensas			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Suporte desprendeu-se da parede. Buchas S6 não suportaram a carga.	---	
50		---	
60		---	
70		---	
80		---	
80 (após 24 h)		---	
Após descarga - 0 kgf (24h 15min)		**Dhr (mm)** ---	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 02 buchas de nylon Tipo S6 e 02 parafusos de rosca soberba parcial de 4 mm x 32 mm, em furo de 6 mm.

Tabela 5.1-8 – Ensaio de peças suspensas - Parede Externa - Registro 15.0089.2005 - Data: 31/11/2005

Cargas de ocupação - Peças suspensas			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
80 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,06	
Após descarga - 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)** 0,02	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 02 buchas de nylon Tipo S8 e 02 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

Os resultados dos ensaios de peças suspensas realizados nas paredes externa e interna do protótipo (registro 15.0013.2006) estão apresentados nas Tabelas 5.1-9 e 5.1-10.

Tabela 5.1-9 – Ensaio de peças suspensas - Parede Externa - Registro 15.0013.2006 - Data: 03/04/2006

Cargas de ocupação - Peças suspensas			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
80 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,09	
Após descarga - 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)** 0,09	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 02 buchas de nylon Tipo S8 e 02 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

Tabela 5.1-10 – Ensaio de peças suspensas - Parede Interna - Registro 15.0013.2006 - Data: 05/04/2006

Cargas de ocupação - Peças suspensas			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
80 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,04	
Após descarga - 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)** 0,04	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 02 buchas de nylon Tipo S8 e 02 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

5.1.2.2. Sustentação de Rede de Dormir

Os ensaios de sustentação de rede de dormir foram realizados conforme diretrizes gerais da publicação “Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social”, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). As cargas são aplicadas em ângulo de 60° com a parede até atingir a carga de norma ou aquela especificada pelo fabricante do sistema construtivo a ser avaliado.

Os resultados do ensaio de sustentação de rede de dormir realizado na parede construída no laboratório (registro 15.0089.2005) estão apresentados na Tabela 5.1-11.

Tabela 5.1-11 – Sustentação de Rede de Dormir - Parede Externa - Registro 15.0089.2005 – Data: 28/11/2005

Cargas de ocupação - Sustentação de rede de dormir			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
90	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
100	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
110	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
110 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
Após descarga – 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)** 0,00	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 04 buchas de nylon tipo S8, com 04 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

Os resultados do ensaio de sustentação de rede de dormir realizados nas paredes externa e interna do protótipo (registro 15.0013.2006) estão apresentados nas Tabelas 5.1-12 e 5.1-13.

Tabela 5.1-12 – Sustentação de Rede de Dormir - Parede Externa - Registro 15.0013.2006 – Data: 13/04/2006

Cargas de ocupação - Sustentação de rede de dormir			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,02	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,02	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,03	
90	- Nenhuma ocorrência.	0,04	
100	- Nenhuma ocorrência.	0,04	
110	- Nenhuma ocorrência.	0,04	
110 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,16	
Após descarga – 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)** 0,16	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 04 buchas de nylon tipo S8, com 04 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

Tabela 5.1-13 – Sustentação de Rede de Dormir - Parede Interna - Registro 15.0013.2006 – Data: 11/04/2006

Cargas de ocupação - Sustentação de rede de dormir			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
90	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
100	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
110	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
110 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,08	
Após descarga – 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)** 0,06	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 04 buchas de nylon tipo S8, com 04 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

5.1.2.3. Interação entre Paredes e Portas

5.1.2.3.1. Operações de Fechamento Brusco

O ensaio para a verificação da interação entre paredes e portas, quando submetidas a manobras anormais, ou de fechamento brusco, foi realizado conforme diretrizes gerais da norma NBR 8054/83. As portas são submetidas a dez operações de fechamento brusco, executadas conforme representado na Foto 5.1-9, passando por uma inspeção após cada uma das dez operações para averiguação dos danos causados.

Foto 5.1-9 – Ensaio de fechamento brusco

Os resultados dos ensaios de fechamento brusco, realizados na parede moldada no laboratório (registro 15.0089.2005) e no protótipo (registro 15.0013.2006), estão apresentados nas tabelas 5.1-14 e 5.1-15, respectivamente.

Tabela 5.1-14 – Operações de fechamento brusco - Parede Externa - Registro 15.0089.2005 - Data: 02/12/2005

ENSAIO DE FECHAMENTO BRUSCO – NBR 8054/83 (Sem obstrução)		
(10 ciclos com folha da porta aberta a 60º – carregamento de 15 kgf)		
Ciclo Nº	**Observações**	**Critérios de desempenho**
01	- Nenhuma ocorrência.	Submetidas as portas a dez operações de fechamento brusco, as paredes não devem apresentar quaisquer danos, tais como rupturas, fissurações, destacamentos no encontro com o marco, cisalhamento nas regiões de solidarização do marco, destacamentos em juntas entre painéis etc.
02	- Nenhuma ocorrência.	
03	- Nenhuma ocorrência.	
04	- Nenhuma ocorrência.	
05	- Nenhuma ocorrência.	
06	- Nenhuma ocorrência.	
07	- Nenhuma ocorrência.	
08	- Nenhuma ocorrência.	
09	- Nenhuma ocorrência.	
10	- Nenhuma ocorrência.	
Observações adicionais: **1 - Descrição do tipo de porta:** Porta tipo veneziana de aço, com medidas de 0,80 m x 2,10 m.		

Tabela 5.1-15 – Operações de fechamento brusco - Parede Externa - Registro 15.0013.2006 - Data: 23/05/2006

ENSAIO DE FECHAMENTO BRUSCO – NBR 8054/83 (Sem obstrução)		
(10 ciclos com folha da porta aberta a 60º – carregamento de 15 kgf)		
Ciclo Nº	**Observações**	**Critérios de desempenho**
01	- Nenhuma ocorrência.	Submetidas as portas a dez operações de fechamento brusco, as paredes não devem apresentar quaisquer danos, tais como rupturas, fissurações, destacamentos no encontro com o marco, cisalhamento nas regiões de solidarização do marco, destacamentos em juntas entre painéis etc.
02	- Nenhuma ocorrência.	
03	- Nenhuma ocorrência.	
04	- Nenhuma ocorrência.	
05	- Nenhuma ocorrência.	
06	- Nenhuma ocorrência.	
07	- Nenhuma ocorrência.	
08	- Nenhuma ocorrência.	
09	- Nenhuma ocorrência.	
10	- Nenhuma ocorrência.	
Observações adicionais: **1 - Descrição do tipo de porta:** Porta de madeira, com medidas de 0,70 m x 2,10 m.		

5.1.2.3.2. Impacto de Corpo Mole no Centro Geométrico da Porta

Os ensaios para a verificação da interação entre paredes e portas, quando submetidas a impactos de corpo mole em seu centro geométrico, foram realizados conforme diretrizes gerais da norma NBR 8051/83.

Os ensaios consistem na ação de dois impactos de corpo mole com energia de 240 J no centro geométrico da porta, sendo o primeiro no sentido de fechamento da porta (porta compelida contra o batente) e o segundo no sentido de abertura da porta, quando situadas em paredes de fachada. Os resultados destes ensaios estão apresentados nas Tabelas 5.1-16 e 5.1-17.

Tabela 5.1-16 – Impacto de Corpo Mole no Centro Geométrico da Porta - Registro 15.0089.2005 - Data: 05/12/2005

Impacto (240 J)	Observações	Critérios de desempenho
1º (fechamento da folha)	- Deformação excessiva da porta, não apresentando rigidez suficiente para transferir a energia de impacto à parede.	Não deverá ocorrer deslocamento ou arrancamento do marco, nem ruptura ou perda de estabilidade da parede. Admite-se, no encontro do marco, a ocorrência de danos localizados, tais como fissurações e estilhaçamentos.
2º (abertura da folha)		
Observações adicionais: **1 - Descrição do tipo de porta:** Porta tipo veneziana de aço, com medidas de 0,80 m x 2,10 m. Ensaio realizado para paredes externas.		

Tabela 5.1-17 – Impacto de Corpo Mole no Centro Geométrico da Porta - Registro 15.0013.2006 - Data: 29/05/2006

Impacto (240 J)	Observações	Critérios de desempenho
1º (fechamento da folha)	- Nenhuma ocorrência.	Não deverá ocorrer deslocamento ou arrancamento do marco, nem ruptura ou perda de estabilidade da parede. Admite-se, no encontro do marco, a ocorrência de danos localizados, tais como fissurações e estilhaçamentos.
2º (abertura da folha)	- Nenhuma ocorrência.	
Observações adicionais: **1 - Descrição do tipo de porta:** Porta de madeira, com medidas de 0,70 m x 2,10 m. Ensaio realizado para paredes externas.		

5.1.3. Conforto Acústico

5.1.3.1. Avaliação do Isolamento Sonoro de Parede Interna

Os ensaios para avaliação de desempenho acústico em protótipos, na parte interna, foram realizados conforme diretrizes gerais da norma ISO 104-4/1998 - - *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.*

A partição avaliada foi a divisória entre a sala e o quarto, com espessura de 8 cm. A fonte sonora onidirecional foi colocada na sala, juntamente com um dos microfones para realizar a medição do nível de pressão sonora do som original, L1. Um segundo microfone foi colocado no quarto, a fim de medir o nível de pressão sonora do som transmitido pela parede, L2. Com esse mesmo microfone foram medidos o tempo de reverberação, T2, e o ruído de fundo, B2, no quarto. Os pontos de medição e as distâncias entre os pontos e as superfícies refletoras foram obtidos respeitando a norma e procedimentos utilizados. Todos esses dados, juntamente com os dados do item 5.1.3.3, foram utilizados para o cálculo da *diferença de nível padronizada ponderada*, $D_{nT,w}$, segundo a norma ISO 717-1:1996 – "Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building element - Part 1: Airborne sound insulation."

Foto 5.1-10 – Sala - Equipamentos instalados

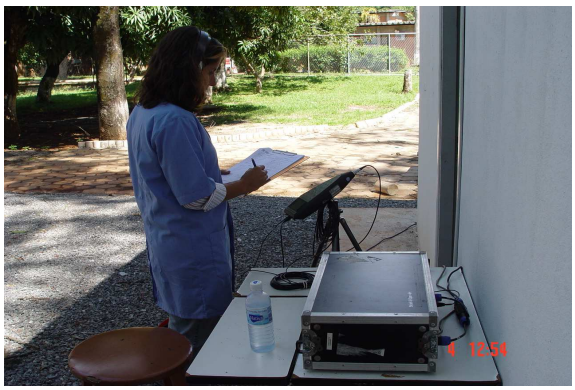


Foto 5.1-11 – Aquisição de dados

5.1.3.2. Avaliação do Isolamento Sonoro de Ruído de Fachada - Vedação Externa

Os ensaios para avaliação de isolamento de ruído em fachadas foram realizados conforme diretrizes gerais da norma ISO 104-5/1998 - *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façade.*

Foi utilizada uma caixa de som com alto falante de 12” e potência nominal de 450 W, com ângulo de incidência de 45º. A distância da caixa à fachada, com espessura de 10 cm, foi de 4,0 metros. Um microfone foi colocado a 2,0 metros da fachada, para medir o nível de pressão sonora do som original, L1. Um outro microfone, para medir o ruído transmitido pela fachada, L2, foi colocado em diferentes pontos no interior do protótipo, respeitando distâncias conforme a norma e os procedimentos utilizados. Com esse mesmo microfone foram medidos o ruído de fundo, B2, e o tempo de reverberação, T2, no interior do protótipo. Todos esses dados, juntamente com os dados do item 5.1.3.3, foram utilizados para o cálculo da *diferença de nível padronizada ponderada*, $D_{2m,\,nT,\,w}$, segundo a norma ISO 717-1.

Foto 5.1-12 – Fachada - Equipamentos instalados

Foto 5.1-13 – Sala - Equipamentos instalados

5.1.3.3. Resultados

Para o cálculo da *diferença de nível padronizada ponderada*, para isolamento sonoro interno de paredes e isolamento sonoro de ruído de fachada, respectivamente $D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$, foram utilizados os seguintes dados dos protótipos, apresentados na Tabela 5.1-18:

Tabela 5.1-18 – Cálculo da diferença de nível padronizada ponderada - Dados do protótipo moldado in loco

Ambiente / Partição	Volume (m^3)	Área (m^2)
Sala	20,34	7,98
Quarto	20,42	7,98
Partição entre sala e quarto	---	7,40

a) Isolamento Sonoro de Parede Interna

O ensaio foi realizado no dia 10/05/2006 e os resultados da *diferença de nível padronizada*, D_{nT}, para cada faixa de freqüência, em dB, para a avaliação do isolamento de parede interna (e = 8 cm) no protótipo em concreto moldado in loco, estão apresentados na Figura 5.1-1.

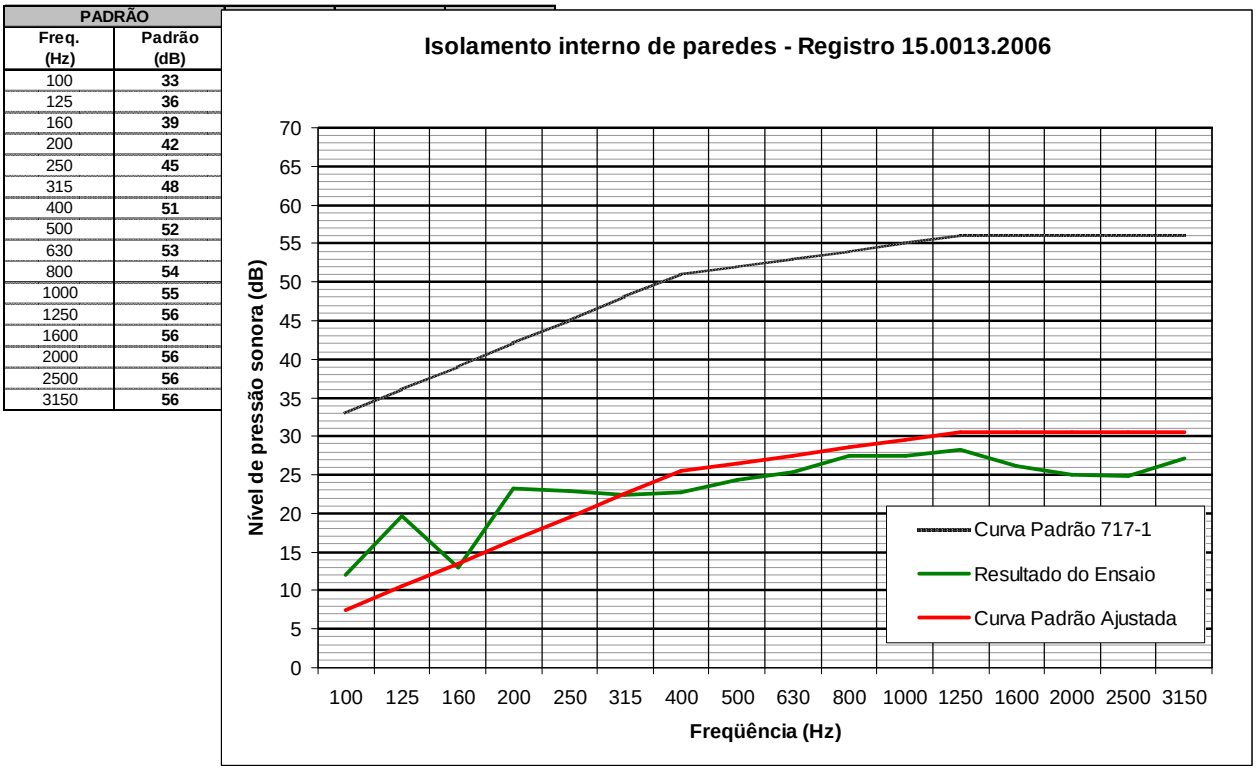


Figura 5.1-1 – Avaliação do isolamento sonoro de parede interna - Protótipo em concreto moldado in loco

A diferença de nível padronizada ponderada, $D_{nT,w}$, obtida segundo a norma ISO 717-1, é:

$$D_{nT,w} = 27 \text{ dB}$$

- f = freqüência do centro da banda de terço de oitava, em Hz
- D_{nT} = diferença de nível padronizada, em dB
- $D_{nT,w}$ = diferença de nível padronizada ponderada, em dB

b) Isolamento Sonoro de Ruído de Fachada - Vedação Externa

O ensaio foi realizado no dia 12/05/2006 e os resultados da *diferença de nível padronizada*, $D_{2m,nT}$, para cada faixa de freqüência, em dB, para a avaliação do isolamento de parede externa (e = 10 cm) no protótipo em concreto moldado in loco, estão apresentados na Figura 5.1-2.

PADRÃO	
Freq. (Hz)	Padrão (dB)
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

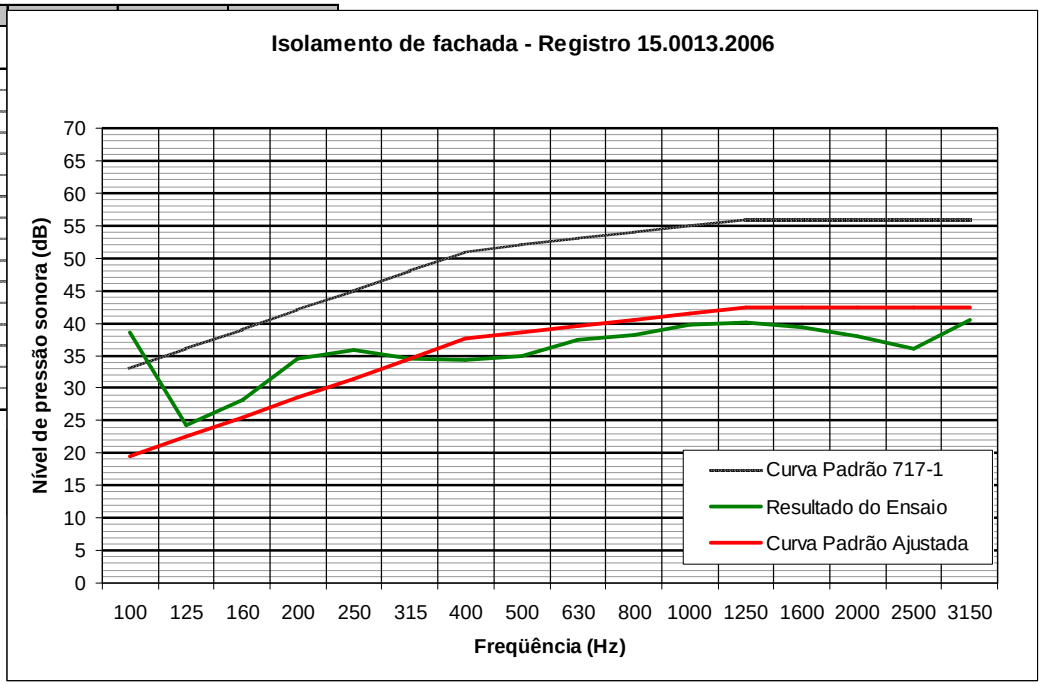


Figura 5.1-2 - Avaliação do isolamento sonoro de ruído de fachada - Protótipo em concreto moldado in loco

A diferença de nível padronizada ponderada $D_{2m,nT,w}$, obtida segundo a norma ISO 717-1 é:

$$D_{2m,nT,w} = 39 \text{ dB}$$

- f = freqüência do centro da banda de terço de oitava, em Hz
- $D_{2m,nT}$ = diferença de nível padronizada, em dB
- $D_{2m,nT,w}$ = diferença de nível padronizada ponderada, em dB

c) Classificação segundo Projeto de Norma

O projeto de norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 Pavimentos – Parte 4: Fachadas e Paredes Internas, da ABNT, ainda em discussão, apresenta valores da *diferença de nível padronizada ponderada* entre ambientes de uma mesma unidade habitacional, $D_{nT,w}$, e para vedação externa de salas e dormitórios, $D_{2m,\ nT,w}$. Esses valores foram comparados com os resultados obtidos nos ensaios realizados no protótipo e estão apresentados na Tabela 5.1-19.

Tabela 5.1-19 – Avaliação da *diferença de nível padronizada ponderada* - Protótipo em concreto moldado in loco

		$D_{nT,w}$ (dB)	$D_{2m,\ nT,w}$ (dB)	$D_{2m,\ nT,w}$ + 5 (*) (dB)
Projeto de Norma ABNT 02:136.01.004	Mínimo	25 a 29	30 a 34	35 a 39
	Intermediário	30 a 34	35 a 39	40 a 44
	Superior	≥ 35	≥ 40	≥ 45
Resultados do Protótipo 15.0013.2006		27	39	39
Classificação do Protótipo		Mínimo	Intermediário	Mínimo

(*) No caso de habitação localizada junto a vias de tráfego intenso (rodoviário, ferroviário ou aéreo) deve-se utilizar os valores de Diferença Ponderada de Nível, $D_{2m,\ nT,w}$, da vedação externa acrescidos de 5 dB (A).

5.1.4. Estanqueidade

5.1.4.1. Verificação da Estanqueidade à Água de Paredes Externas

Este ensaio tem por objetivo verificar a estanqueidade à água de paredes externas e consiste em submeter, durante sete horas ininterruptas, a face externa de um corpo-de-prova de parede a uma vazão de água constante, criando uma película homogênea, com aplicação simultânea de uma pressão pneumática, também constante, sobre essa face, ilustrado na Foto 5.1-14.

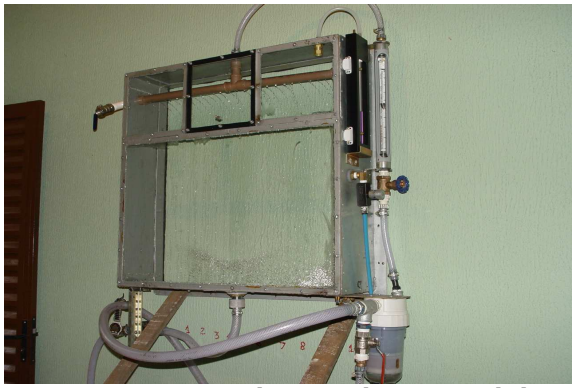


Foto 5.1-14 – Aparato de ensaio de estanqueidade

Os ensaios de verificação da estanqueidade à água de paredes externas foram realizados conforme diretrizes gerais do IPT. Os resultados dos ensaios, realizados no protótipo em concreto armado moldado in loco (registro 15.0013.2006), revestido com tinta branca à base de cal, estão apresentados nas Tabelas 5.1-20 e 5.1-21.

Tabela 5.1-20 – Verificação da Estanqueidade de Paredes Externas - Registro 15.0013.2006 - Data: 06/04/2006

Verificação da estanqueidade à água de paredes externas	Valores / Resultados	Critérios de desempenho	
Vazão de água (l/min)	1,13	Após sete horas de exposição, as paredes das fachadas não devem permitir penetração de água que resulte em escorrimentos ou formação de gotas aderentes. Tolera-se o aparecimento de manchas de umidade na face oposta de acordo com os limites abaixo:	
Pressão de ar no interior da câmara de ensaio (mmca)	50		
Hora de início (h)	10:00		
Temperatura ambiente no início do ensaio (ºC)	21		
Umidade relativa do ar no início do ensaio (%)	90		
Hora de término (h)	17:00		
Temperatura ambiente no fim do ensaio (ºC)	25		
Umidade relativa do ar no fim do ensaio (%)	77		
Hora de aparecimento de umidade na face oposta de ensaio (h)	Não Houve	Térrea	Até 10% (**M**)
Hora de aparecimento de água na face oposta de ensaio (h)	Não Houve		Sem machas (**I**)
Área de umidade na face oposta de ensaio, após 4 horas de ensaio (%)	0	Acima de 1 pavimento	Até 5% (**M**)
Área de umidade na face oposta de ensaio, após 7 horas de ensaio (%)	0		Sem machas (**I**)
Observações: **1.** Ensaio realizado sobre tinta branca à base de cal. **2.** **M** = Nível de desempenho Mínimo. **3.** **I** = Nível de desempenho Intermediário.		**Classificação do sistema**: Nível **I** (intermediário)	

Tabela 5.1-21 – Verificação da Estanqueidade de Paredes Externas - Registro 15.0013.2006 - Data: 11/04/2006

Verificação da estanqueidade à água de paredes externas	**Valores / Resultados**	**Critérios de desempenho**	
Vazão de água (l/min)	1,13	Após sete horas de exposição, as paredes das fachadas não devem permitir penetração de água que resulte em escorrimentos ou formação de gotas aderentes. Tolera-se o aparecimento de manchas de umidade na face oposta de acordo com os limites abaixo:	
Pressão de ar no interior da câmara de ensaio (mmca)	50		
Hora de início (h)	09:30		
Temperatura ambiente no início do ensaio (ºC)	22		
Umidade relativa do ar no início do ensaio (%)	89		
Hora de término (h)	16:30		
Temperatura ambiente no fim do ensaio (ºC)	25		
Umidade relativa do ar no fim do ensaio (%)	75		
Hora de aparecimento de umidade na face oposta de ensaio (h)	Não houve	Térrea	Até 10% (**M**)
Hora de aparecimento de água na face oposta de ensaio (h)	Não Houve		Sem machas (**I**)
Área de umidade na face oposta de ensaio, após 4 horas de ensaio (%)	0	Acima de 1 pavimento	Até 5% (**M**)
Área de umidade na face oposta de ensaio, após 7 horas de ensaio (%)	0		Sem machas (**I**)
Observações: **1.** Ensaio realizado sobre tinta branca à base de cal. **2.** **M** = Nível de desempenho Mínimo. **3.** **I** = Nível de desempenho Intermediário.		**Classificação do sistema**: Nível **I** (intermediário)	

5.2. Ensaios relativos ao sistema tilt-up

Todas as placas em concreto armado, utilizadas na construção das amostras relativas a este sistema construtivo, foram moldadas em formas de madeira, sem fundo, sobre piso em concreto desempenado.

5.2.1. Resistência a Impacto

5.2.1.1. Resistência a Impacto de Corpo Mole

Os ensaios de corpo mole foram realizados conforme diretrizes gerais da norma ABNT NBR 11675/90. Os impactos são aplicados por meio de um saco cilíndrico de couro preenchido com areia seca e serragem de madeira, com massa total de 40 kg, abandonado em movimento pendular, a partir de alturas previstas em norma, que resultam em energias de impacto que variam de 120 J a 960 J.

Foram realizados ensaios de impacto de corpo mole na parede com dois pavimentos (registro 15.0012.2006) construída no pórtico metálico do laboratório e nas paredes externa e interna do protótipo (registro 15.0014.2006), todas com função estrutural.

Os resultados dos ensaios realizados na parede construída no laboratório estão apresentados nas Tabelas 5.2-1 e 5.2-2.

Tabela 5.2-1 – Parede Externa com Função Estrutural - 1º Pavimento - Registro 15.0012.2006 - Data: 15/03/2006

Impacto	Energia de impacto (J)	Deslocamento Horizontal (mm)		Observações de Ensaio	Parâmetros e Exigências		
					Deslocamento máximo		Exigências e Observações
	Fora p/ Dentro	dhi(2)	dhr(3)		dhi(2)	dhr(3)	
1º	120	0,3	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
2º	240	0,7	0,2	- Nenhum dano.	H(4)/250 (10,4 mm)	---	Sem nenhum dano.
3º	240	0,7	0,2	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
4º	240	0,8	0,2	- Nenhum dano.	---	H(4)/1250 (2,1 mm)	Sem nenhum dano.
5º	360(1)	0,8	0,3	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
6º	480(1)	1,3	0,3	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
7º	720(1)	0,9	0,4	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
8º	960(1)	1,4	0,4	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.

(1) impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade.
(2) dhi = deslocamento horizontal instantâneo.
(3) dhr = deslocamento horizontal residual.
(4) H = pé-direito da edificação.

Tabela 5.2-2 – Parede Externa com Função Estrutural - 2º Pavimento - Registro 15.0012.2006 - Data: 16/03/2006

Impacto	Energia de impacto (J)	Deslocamento Horizontal (mm)		Observações de Ensaio	Parâmetros e Exigências		
					Deslocamento máximo		Exigências e Observações
	Dentro p/ Fora	dhi(2)	dhr(3)		dhi(2)	dhr(3)	
1º	120	0,5	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
2º	180	0,5	0,0	- Nenhum dano.	H(4)/250 (10,4 mm)	H(4)/1250 (2,1 mm)	Sem nenhum dano.
5º	240(1)	1,0	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
6º	360(1)	1,2	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
7º	480(1)	1,4	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.

(1) impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade.
(2) dhi = deslocamento horizontal instantâneo.
(3) dhr = deslocamento horizontal residual.
(4) H = pé-direito da edificação.

Os resultados dos ensaios realizados nas paredes externa e interna do protótipo tilt-up (registro 15.0014.2006), Fotos 5.2-1 a 5.2-4, estão apresentados nas Tabelas 5.2-3 e 5.2-4.

Tabela 5.2-3 – Parede Externa com Função Estrutural - Registro 15.0014.2006 - Data: 18/05/2006

Impacto	Energia de impacto (J)	Deslocamento Horizontal (mm)		Observações de Ensaio	Parâmetros e Exigências		
					Deslocamento máximo		Exigências e Observações
	Fora p/ Dentro	dhi(2)	dhr(3)		dhi(2)	dhr(3)	
1º	120	0,3	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
2º	240	0,7	0,0	- Nenhum dano.	H(4)/250 (10,4 mm)	---	Sem nenhum dano.
3º	240	0,6	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
4º	240	0,7	0,0	- Nenhum dano.	---	H(4)/1250 (2,1 mm)	Sem nenhum dano.
5º	360(1)	0,8	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
6º	480(1)	1,1	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
7º	720(1)	1,3	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
8º	960(1)	1,3	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.

(1) impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade.
(2) dhi = deslocamento horizontal instantâneo.
(3) dhr = deslocamento horizontal residual.
(4) H = pé-direito da edificação.

Tabela 5.2-4 – Parede Interna com Função Estrutural - Registro 15.0014.2006 - Data: 23/05/2006

Impacto	Energia de impacto (J)	Deslocamento Horizontal (mm)		Observações de Ensaio	Parâmetros e Exigências		
					Deslocamento máximo		Exigências e Observações
		dhi(2)	dhr(3)		dhi(2)	dhr(3)	
1º	120	0,6	0,0	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
2º	180	1,2	0,0	- Nenhum dano.	H(4)/250 (10,4 mm)	---	Sem nenhum dano.
3º	180	1,0	0,1	- Nenhum dano.	---	---	Sem nenhum dano.
4º	180	1,2	0,1	- Nenhum dano.	---	H(4)/1250 (2,1 mm)	Sem nenhum dano.
5º	240(1)	1,6	0,1	- Escamações na base da parede, junto ao portal, e acima deste; - Fissura na vedação entre cômodos.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
6º	360(1)	2,0	0,3	- Nenhum dano adicional.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.
7º	480(1)	2,8	0,7	- Nenhum dano adicional.	---	---	Admitidas fissuras, escamações e outros danos.

(1) impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade.
(2) dhi = deslocamento horizontal instantâneo.
(3) dhr = deslocamento horizontal residual.
(4) H = pé-direito da edificação.

Foto 5.2-1 - Sistema de aquisição de dados

Foto 5.2-2 - Posicionamento do corpo mole p/ impacto

Foto 5.2-3 - Fissura na vedação entre cômodos

Foto 5.2-4 - Escamação na base da parede

5.2.1.2. Resistência a Impacto de Corpo Duro

Os ensaios de impacto de corpo duro foram realizados conforme diretrizes gerais do documento "Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social", do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Os impactos são aplicados por meio de esferas maciças de aço, com massa total de 50 g, 500 g e 1000 g, abandonadas em movimento pendular (ou em queda livre, no caso de pisos e coberturas), a partir de alturas previstas em norma, que resultam em energias de impacto que variam de 1,0 J a 25 J, de acordo com o componente ensaiado (parede interna ou externa, pisos e coberturas).

Os pisos e coberturas não foram ensaiados, por se tratar de tecnologia comum de mercado. Em função da similaridade das paredes, decidiu-se realizar somente o ensaio na pior condição, ou seja, com energias de impacto de 3,75 J e 20 J. Os resultados dos ensaios de impacto de corpo duro realizados na parede com dois pavimentos (registro 15.0012.2006) construída no pórtico metálico do laboratório, Fotos 5.2-5 e 5.2-6, estão apresentados nas Tabelas 5.2-5 e 5.2-6.

Tabela 5.2-5 – Ensaio de Impacto de Corpo Duro - Parede Externa - Registro 15.0012.2006 - Data: 18/03/2006

Impactos de Utilização		
Parede externa, face externa – Energia de 3,75 J		
Impacto	**Observações do ensaio**	**Parâmetros e Exigências**
1º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,3 mm.	Não devem sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano.
2º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,4 mm.	
3º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,2 mm.	
4º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,4 mm.	
5º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
6º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,3 mm.	
7º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,3 mm.	
8º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
9º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,3 mm.	
10º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,4 mm.	

Tabela 5.2-6 – Ensaio de Impacto de Corpo Duro - Parede Externa - Registro 15.0012.2006 - Data: 18/03/2006

Impactos de Segurança		
Parede externa, face externa – Energia de 20 J		
Impacto	**Observações do ensaio**	**Parâmetros e Exigências**
1º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,6 mm.	Não devem sofrer ruptura ou traspassamento sob ação do impacto.
2º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
3º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
4º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,6 mm.	
5º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
6º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,6 mm.	
7º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
8º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
9º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,5 mm.	
10º	- Nenhum dano. Formação de mossa com profundidade de 0,6 mm.	

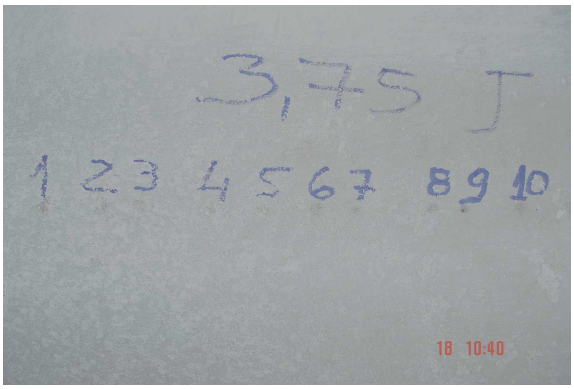


Foto 5.2-5 – Impactos de Utilização - 3,75 J

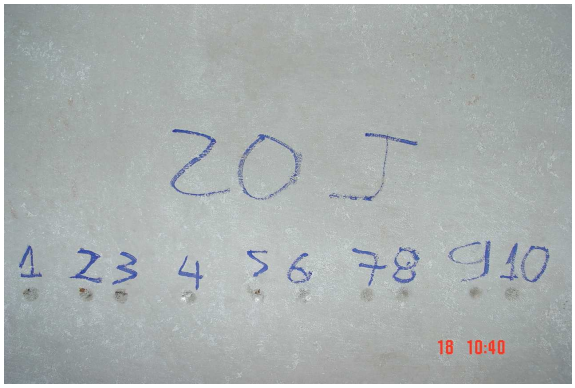


Foto 5.2-6 – Impactos de Segurança - 20 J

5.2.2. Cargas de Ocupação

5.2.2.1. Peças Suspensas

Os ensaios de peças suspensas foram realizados conforme diretrizes gerais da norma ABNT NBR 11678/90. Com o auxílio de contrapesos, aplica-se na extremidade das mãos francesas fixadas na

parede uma carga vertical “P”; esta carga deve ser aplicada sem golpes e de maneira gradativa até atingir a carga de norma ou aquela especificada pelo fabricante do sistema construtivo a ser avaliado. No lado oposto da parede instala-se um sistema para medida do deslocamento horizontal da mesma.

Os resultados dos ensaios de peças suspensas realizados nas paredes externa e interna do protótipo (registro 15.0014.2006) estão apresentados nas Tabelas 5.2-7 e 5.2-8.

Tabela 5.2-7 – Ensaio de peças suspensas - Parede Externa - Registro 15.0014.2006 - Data: 12/04/2006

Cargas de ocupação - Peças suspensas			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
80 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,02	
Após descarga - 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)**	
		0,01	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 02 buchas de nylon Tipo S8 e 02 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

Tabela 5.2-8 – Ensaio de peças suspensas - Parede Interna - Registro 15.0014.2006 - Data: 17/04/2006

Cargas de ocupação - Peças suspensas			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
80 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,12	
Após descarga - 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)**	
		0,11	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 02 buchas de nylon Tipo S8 e 02 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

5.2.2.2. Sustentação de Rede de Dormir

Os ensaios de sustentação de rede de dormir foram realizados conforme diretrizes gerais da publicação “Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social”, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). As cargas são aplicadas em

ângulo de 60° com a parede até atingir a carga de norma ou aquela especificada pelo fabricante do sistema construtivo a ser avaliado.

Os resultados do ensaio de sustentação de rede de dormir realizados nas paredes externa e interna do protótipo tilt-up (registro 15.0014.2006) estão apresentados nas Tabelas 5.2-9 e 5.2-10.

Tabela 5.2-9 – Sustentação de Rede de Dormir - Parede Externa - Registro 15.0014.2006 – Data: 06/04/2006

Cargas de ocupação - Sustentação de rede de dormir			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,01	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
90	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
100	- Nenhuma ocorrência.	0,01	
110	- Nenhuma ocorrência.	0,03	
110 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,03	
Após descarga – 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)** 0,07	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 04 buchas de nylon tipo S8, com 04 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

Tabela 5.2-10 – Sustentação de Rede de Dormir - Parede Interna - Registro 15.0014.2006 – Data: 04/04/2006

Cargas de ocupação - Sustentação de rede de dormir			
Cargas (kgf)	**Observações/Ocorrências**	**Dhi (mm)**	**Critérios de desempenho**
10	- Nenhuma ocorrência.	0,00	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamentos horizontais: Dhi ≤ h/500 = 5,2 mm Dhr ≤ h/2500 = 1,0 mm onde h é a altura da parede.
20	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
30	- Nenhuma ocorrência.	0,00	
40	- Nenhuma ocorrência.	0,02	
50	- Nenhuma ocorrência.	0,02	
60	- Nenhuma ocorrência.	0,02	
70	- Nenhuma ocorrência.	0,02	
80	- Nenhuma ocorrência.	0,10	
90	- Nenhuma ocorrência.	0,10	
100	- Nenhuma ocorrência.	0,10	
110	- Nenhuma ocorrência.	0,10	
110 (após 24 h)	- Nenhuma ocorrência.	0,13	
Após descarga – 0 kgf (24h 15min)	- Nenhuma ocorrência.	**Dhr (mm)** 0,02	

Observações: **1. Dispositivos de fixação utilizados (buchas, parafusos, etc.):** 04 buchas de nylon tipo S8, com 04 parafusos de rosca soberba parcial de 4,8 mm x 50 mm, em furo de 8 mm.

5.2.2.3. Interação entre Paredes e Portas

5.2.2.3.1. Operações de Fechamento Brusco

O ensaio para a verificação da interação entre paredes e portas, quando submetidas a manobras anormais, ou de fechamento brusco, foi realizado conforme diretrizes gerais da norma NBR 8054/83. As portas são submetidas a dez operações de fechamento brusco, passando por uma inspeção após cada uma das dez operações para averiguação dos danos causados.

Os resultados dos ensaios de fechamento brusco realizados na parede externa do protótipo tilt-up (registro 15.0014.2006), estão apresentados na tabela 5.2-11.

Tabela 5.2-11 – Operações de fechamento brusco - Parede Externa - Registro 15.0014.2006 - Data: 23/05/2006

ENSAIO DE FECHAMENTO BRUSCO – NBR 8054/83 (Sem obstrução)		
(10 ciclos com folha da porta aberta a 60º – carregamento de 15 kgf)		
Ciclo Nº	**Observações**	**Critérios de desempenho**
01	- Nenhuma ocorrência.	Submetidas as portas a dez operações de fechamento brusco, as paredes não devem apresentar quaisquer danos, tais como rupturas, fissurações, destacamentos no encontro com o marco, cisalhamento nas regiões de solidarização do marco, destacamentos em juntas entre painéis etc.
02	- Nenhuma ocorrência.	
03	- Nenhuma ocorrência.	
04	- Nenhuma ocorrência.	
05	- Nenhuma ocorrência.	
06	- Nenhuma ocorrência.	
07	- Nenhuma ocorrência.	
08	- Nenhuma ocorrência.	
09	- Nenhuma ocorrência.	
10	- Nenhuma ocorrência.	
Observações adicionais: **1 - Descrição do tipo de porta:** Porta de madeira, com medidas de 0,70 m x 2,10 m.		

5.2.2.3.2. Impacto de Corpo Mole no Centro Geométrico da Porta

Os ensaios para a verificação da interação entre paredes e portas, quando submetidas a impactos de corpo mole em seu centro geométrico, foram realizados conforme diretrizes gerais da norma NBR 8051/83.

Os ensaios consistem na ação de dois impactos de corpo mole com energia de 240 J no centro geométrico da porta, sendo o primeiro no sentido de fechamento da porta (porta compelida contra o batente) e o segundo no sentido de abertura da porta, quando situadas em paredes de fachada. Os resultados destes ensaios, Fotos 5.2-7 e 5.2-8, estão apresentados na Tabela 5.2-12.

Tabela 5.2-12 – Impacto de Corpo Mole no Centro Geométrico da Porta - Registro 15.0014.2005 - Data: 29/05/2006

Impacto (240 J)	**Observações**	**Critérios de desempenho**
1º (fechamento da folha)	- Nenhuma ocorrência.	Não deverá ocorrer deslocamento ou arrancamento do marco, nem ruptura ou perda de estabilidade da parede. Admite-se, no encontro do marco, a ocorrência de danos localizados, tais como fissurações e estilhaçamentos.
2º (abertura da folha)	- Nenhuma ocorrência.	
Observações adicionais: **1 - Descrição do tipo de porta:** Porta de madeira, com medidas de 0,70 m x 2,10 m. Ensaio realizado para paredes externas.		

Foto 5.2-7 – Preparação para o impacto

Foto 5.2-8 – Ajuste da altura de impacto

5.2.3. Conforto Acústico

5.2.3.1. Avaliação do Isolamento Sonoro de Parede Interna

Os ensaios para avaliação de desempenho acústico em protótipos, na parte interna, foram realizados conforme diretrizes gerais da norma ISO 104-4/1998 - - *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.*

A partição avaliada foi a divisória entre a sala e o quarto, com espessura de 8 cm. A fonte sonora onidirecional foi colocada na sala, juntamente com um dos microfones para realizar a medição do nível de pressão sonora do som original, L1. Um segundo microfone foi colocado no quarto, a fim de medir o nível de pressão sonora do som transmitido pela parede, L2. Com esse mesmo microfone foram medidos o tempo de reverberação, T2, e o ruído de fundo, B2, no quarto. Os pontos de medição e as distâncias entre os pontos e as superfícies refletoras foram obtidos respeitando a norma e procedimentos utilizados. Todos esses dados, juntamente com os dados do item 5.2.3.3, foram utilizados para o cálculo da *diferença de nível padronizada ponderada*, $D_{nT,w}$, segundo a norma ISO 717-1:1996 – "Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building element - Part 1: Airborne sound insulation."

5.2.3.2. Avaliação do Isolamento Sonoro de Ruído de Fachada - Vedação Externa

Os ensaios para avaliação de isolamento de ruído em fachadas foram realizados conforme diretrizes gerais da norma ISO 104-5/1998 - *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façade.*

Foi utilizada uma caixa de som com alto falante de 12" e potência nominal de 450 W, com ângulo de incidência de 45º. A distância da caixa à fachada, com espessura de 10 cm, foi de 4,0 metros. Um microfone foi colocado a 2,0 metros da fachada, para medir o nível de pressão sonora do som original, L1. Um outro microfone, para medir o ruído transmitido pela fachada, L2, foi colocado em diferentes pontos no interior do protótipo, respeitando distâncias conforme a norma e os procedimentos utilizados. Com esse mesmo microfone foram medidos o ruído de fundo, B2, e o tempo de reverberação, T2, no interior do protótipo. Todos esses dados, juntamente com os dados

do item 5.2.3.3, foram utilizados para o cálculo da *diferença de nível padronizada ponderada*, $D_{2m,\,nT,\,w}$, segundo a norma ISO 717-1.

5.2.3.3. Resultados

Para o cálculo da *diferença de nível padronizada ponderada*, para isolamento sonoro interno de paredes e isolamento sonoro de ruído de fachada, respectivamente $D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$, foram utilizados os seguintes dados do protótipo, apresentados na Tabela 5.2-13:

Tabela 5.2-13 – Cálculo da diferença de nível padronizada ponderada - Dados do protótipo tilt-up

Ambiente / Partição	Volume (m^3)	Área (m^2)
Sala	20,73	7,97
Quarto	21,20	8,09
Partição entre sala e quarto	---	7,57

a) Isolamento Sonoro de Parede Interna

O ensaio foi realizado no dia 28/04/2006 e os resultados da *diferença de nível padronizada*, D_{nT}, para cada faixa de freqüência, em dB, para a avaliação do isolamento de parede interna (e = 8 cm) no protótipo em concreto tilt-up, sem laje, estão apresentados na Figura 5.2-1.

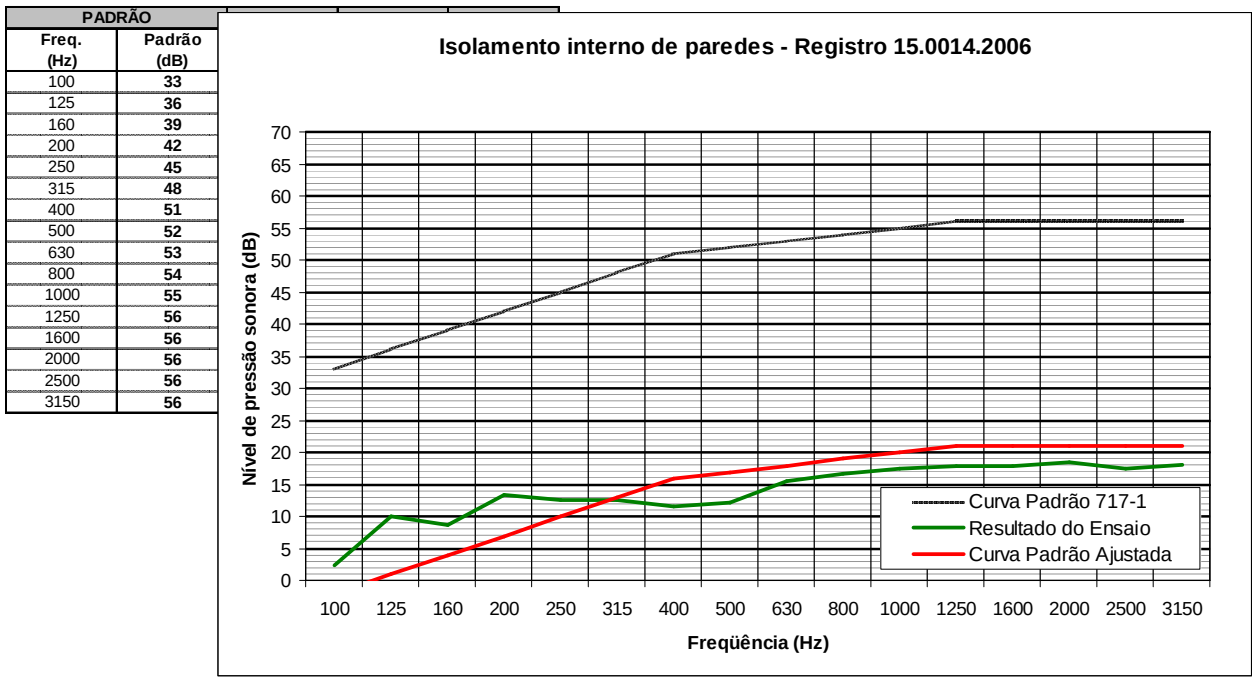


Figura 5.2-1 – Avaliação do isolamento sonoro de parede interna - Protótipo em concreto tilt-up - Sem laje

A diferença de nível padronizada ponderada, $D_{nT,w}$, obtida segundo a norma ISO 717-1, é:

$$D_{nT,w} = 17 \text{ dB}$$

- f = freqüência do centro da banda de terço de oitava, em Hz
- D_{nT} = diferença de nível padronizada, em dB
- $D_{nT,w}$ = diferença de nível padronizada ponderada, em dB

b) Isolamento Sonoro de Ruído de Fachada - Vedação Externa

O ensaio foi realizado no dia 28/04/2006 e os resultados da *diferença de nível padronizada*, $D_{2m,nT}$, para cada faixa de freqüência, em dB, para a avaliação do isolamento de parede externa (e = 10 cm) no protótipo em concreto tilt-up, sem laje, estão apresentados na Figura 5.2-2.

PADRÃO	
Freq. (Hz)	Padrão (dB)
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

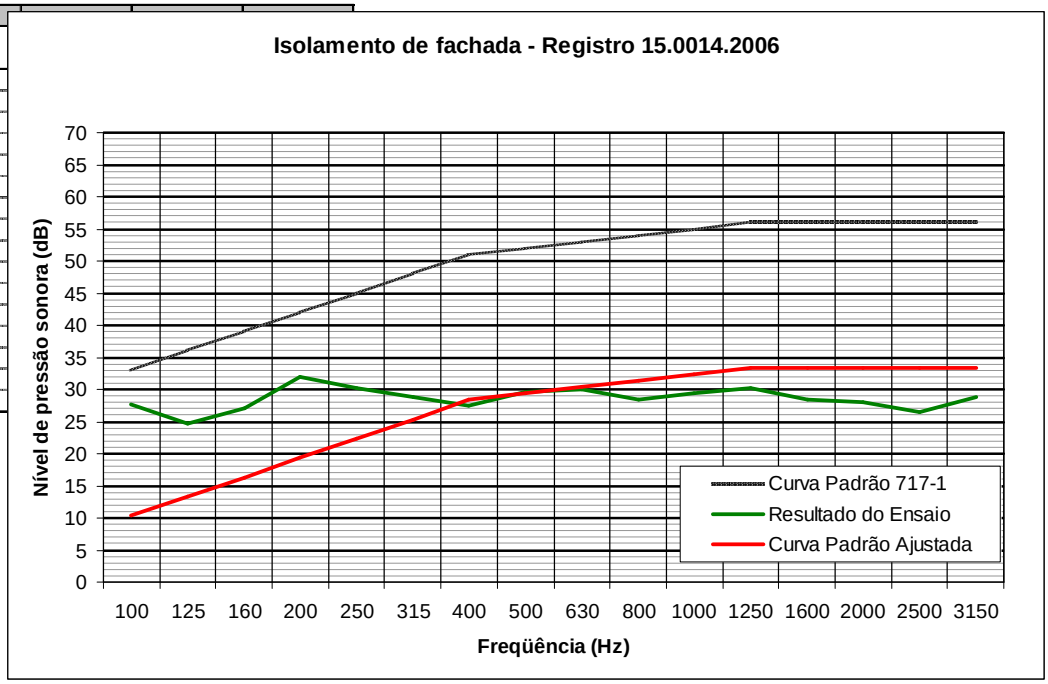


Figura 5.2-2 - Avaliação do isolamento sonoro de ruído de fachada - Protótipo em concreto tilt-up - Sem laje

A diferença de nível padronizada ponderada $D_{2m,nT,w}$, obtida segundo a norma ISO 717-1 é:

$$D_{2m,nT,w} = 29 \text{ dB}$$

- f = freqüência do centro da banda de terço de oitava, em Hz
- $D_{2m,nT}$ = diferença de nível padronizada, em dB
- $D_{2m,nT,w}$ = diferença de nível padronizada ponderada, em dB

c) Classificação segundo Projeto de Norma

O projeto de norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 Pavimentos – Parte 4: Fachadas e Paredes Internas, da ABNT, ainda em discussão, apresenta valores da *diferença de nível padronizada ponderada* entre ambientes de uma mesma unidade habitacional, $D_{nT,w}$, e para vedação externa de salas e dormitórios, $D_{2m,\ nT,w}$. Esses valores foram comparados com os resultados obtidos nos ensaios realizados no protótipo e estão apresentados na Tabela 5.2-14.

Tabela 5.2-14 – Avaliação da *diferença de nível padronizada ponderada* - Protótipo em concreto tilt-up

		$D_{nT,w}$ (dB)	$D_{2m,\ nT,w}$ (dB)	$D_{2m,\ nT,w}$ + 5 (*) (dB)
Projeto de Norma ABNT 02:136.01.004	Mínimo	25 a 29	30 a 34	35 a 39
	Intermediário	30 a 34	35 a 39	40 a 44
	Superior	≥ 35	≥ 40	≥ 45
Resultados do Protótipo 15.0014.2006		17	29	29
Classificação do Protótipo		Não Aprovado	Não Aprovado	Não Aprovado

(*) No caso de habitação localizada junto a vias de tráfego intenso (rodoviário, ferroviário ou aéreo) deve-se utilizar os valores de Diferença Ponderada de Nível, $D_{2m,\ nT,w}$, da vedação externa acrescidos de 5 dB (A).

Para adequação do sistema construtivo em concreto armado tilt-up aos requisitos de conforto acústico, deverá ser adotada laje de pelo menos 10 cm de espessura, como no protótipo em concreto moldado in loco.

5.2.4. Estanqueidade

5.2.4.1. Verificação da Estanqueidade à Água de Paredes Externas

Este ensaio tem por objetivo verificar a estanqueidade à água de paredes externas e consiste em submeter, durante sete horas ininterruptas, a face externa de um corpo-de-prova de parede a uma vazão de água constante, criando uma película homogênea, com aplicação simultânea de uma pressão pneumática, também constante, sobre essa face.

Os ensaios de verificação da estanqueidade à água de paredes externas foram realizados conforme diretrizes gerais do IPT. Os resultados dos ensaios, realizados no protótipo em concreto armado tilt-up (registro 15.0014.2006), revestido com tinta branca à base de cal, estão apresentados nas Tabelas 5.2-15 e 5.2-16.

Tabela 5.2-15 – Verificação da Estanqueidade de Paredes Externas - Registro 15.0014.2006 - Data: 12/04/2006

Verificação da estanqueidade à água de paredes externas	**Valores / Resultados**	**Critérios de desempenho**	
Vazão de água (l/min)	1,13	Após sete horas de exposição, as paredes das fachadas não devem permitir penetração de água que resulte em escorrimentos ou formação de gotas aderentes. Tolera-se o aparecimento de manchas de umidade na face oposta de acordo com os limites abaixo:	
Pressão de ar no interior da câmara de ensaio (mmca)	50		
Hora de início (h)	10:00		
Temperatura ambiente no início do ensaio (ºC)	23		
Umidade relativa do ar no início do ensaio (%)	87		
Hora de término (h)	17:00		
Temperatura ambiente no fim do ensaio (ºC)	25		
Umidade relativa do ar no fim do ensaio (%)	79		
Hora de aparecimento de umidade na face oposta de ensaio (h)	Não Houve	Térrea	Até 10% (**M**)
Hora de aparecimento de água na face oposta de ensaio (h)	Não Houve		Sem machas (**I**)
Área de umidade na face oposta de ensaio, após 4 horas de ensaio (%)	0	Acima de 1 pavimento	Até 5% (**M**)
Área de umidade na face oposta de ensaio, após 7 horas de ensaio (%)	0		Sem machas (**I**)
Observações: **1.** Ensaio realizado sobre tinta branca à base de cal. **2.** **M** = Nível de desempenho Mínimo. **3.** **I** = Nível de desempenho Intermediário.		**Classificação do sistema**: Nível **I** (intermediário)	

Tabela 5.2-16 – Verificação da Estanqueidade de Paredes Externas - Registro 15.0014.2006 - Data: 18/04/2006

Verificação da estanqueidade à água de paredes externas	**Valores / Resultados**	**Critérios de desempenho**	
Vazão de água (l/min)	1,13	Após sete horas de exposição, as paredes das fachadas não devem permitir penetração de água que resulte em escorrimentos ou formação de gotas aderentes. Tolera-se o aparecimento de manchas de umidade na face oposta de acordo com os limites abaixo:	
Pressão de ar no interior da câmara de ensaio (mmca)	50		
Hora de início (h)	09:20		
Temperatura ambiente no início do ensaio (ºC)	21		
Umidade relativa do ar no início do ensaio (%)	90		
Hora de término (h)	16:20		
Temperatura ambiente no fim do ensaio (ºC)	24		
Umidade relativa do ar no fim do ensaio (%)	83		
Hora de aparecimento de umidade na face oposta de ensaio (h)	Não houve	Térrea	Até 10% (**M**)
Hora de aparecimento de água na face oposta de ensaio (h)	Não Houve		Sem machas (**I**)
Área de umidade na face oposta de ensaio, após 4 horas de ensaio (%)	0	Acima de 1 pavimento	Até 5% (**M**)
Área de umidade na face oposta de ensaio, após 7 horas de ensaio (%)	0		Sem machas (**I**)
Observações: **1.** Ensaio realizado sobre tinta branca à base de cal. **2.** **M** = Nível de desempenho Mínimo. **3.** **I** = Nível de desempenho Intermediário.		**Classificação do sistema**: Nível **I** (intermediário)	

5.3. Ensaios relativos aos dois sistemas construtivos em concreto armado

5.3.1. Conforto Térmico

Para avaliação do conforto térmico dos sistemas construtivos em concreto, primeiramente foi moldada uma parede na forma de madeira do Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído para determinação da condutividade térmica e resistência térmica da amostra (registro 15.0025.2006), Fotos 5.3-1 e 5.3-2, medindo 2,39 x 2,39 x 0,11 m.

Foto 5.3-1 – Moldagem da amostra no laboratório

Foto 5.3-2 – Amostra após ensaio

Este ensaio, realizado no equipamento denominado Caixa Quente Abrigada, consiste em submeter a amostra a um fluxo de calor conhecido e medir a diferença de temperatura entre suas faces. Para medida das temperaturas são utilizados termopares colados diretamente sobre as faces da amostra. A partir do momento em que o ensaio entra em regime permanente, ou seja, quando não ocorre variação maior que 1% no valor da condutividade em três horas consecutivas, de acordo com a norma ISO 8990/94, é possível determinar os parâmetros desejados.

A **Resistência Térmica** é determinada a partir da lei de Fourier:

$$R = \frac{\Delta T}{q}$$

onde R é a resistência térmica (m^2 K/W), ΔT é a diferença de temperaturas superficiais da amostra, medidas por termopares tipo T, e q é o fluxo de calor.

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar também a **Condutividade Térmica** do material (λ):

$$\lambda = \frac{\Delta x}{R}$$

onde λ é a condutividade térmica (W/m K) e Δx é a espessura da amostra (m).

Os resultados do ensaio, realizado na amostra de concreto moldada no laboratório (registro 15.0025.2006), sem revestimento, estão apresentados na Tabela 5.3-1.

Tabela 5.3-1 – Ensaio na Caixa Quente Abrigada - Registro 15.0025.2006 - Data: 11/05/2006

Amostra	Dimensões L x A (m)	Espessura Média (mm)	Condutividade Térmica (W/mK)	Resistência Térmica (m^2K/W)
15.0025.2006	2,39 x 2,39	109,6	1,432	0,076
Observações: 1. Temperatura média da amostra: 41 ^oC 2. Incerteza de Medição: 5 %				

A partir desses valores e do projeto de uma residência fornecido pelo cliente, foi possível realizar simulações de conforto térmico no ambiente para as oito Zonas Bioclimáticas brasileiras, para verificação da adequação do sistema construtivo.

Nas primeiras simulações verificou-se a inadequação do sistema apresentado, seja em concreto moldado in loco ou tilt-up, em virtude das altas e baicas temperaturas registradas no interior do protótipo. Foram pesquisadas cinco alternativas, variando-se a laje e/ou incluindo-se algum elemento de sub-cobertura (*foil* aluminizado ou poliestireno expandido), conforme listado abaixo:

- Telha cerâmica + poliestireno expandido (40 mm) + laje de concreto
  - Retardamento: 10,54 horas
  - Amortecimento: 94%
  - Transmitância térmica: 0,723 W/m² °C

- Telha cerâmica + laje de concreto com vermiculita
  - Retardamento: 6,00 horas
  - Amortecimento: 79%
  - Transmitância térmica: 1,656 W/m² °C

- Telha cerâmica + laje de concreto com argila expandida
  - Retardamento: 5,12 horas
  - Amortecimento: 74%
  - Transmitância térmica: 1,862 W/m² °C

- Telha cerâmica + *foil* aluminizado + laje de concreto
  - Retardamento: 4,13 horas
  - Amortecimento: 66%
  - Transmitância térmica: 2,700 W/m² °C

- Telha cerâmica + laje de bloco cerâmico vazado
  - Retardamento: 2,04 horas
  - Amortecimento: 41%
  - Transmitância térmica: 1,987 W/m² °C

A alternativa que apresentou melhor desempenho térmico foi aquela onde se utilizou uma placa de poliestireno expandido (isopor) com espessura de 40 mm sobre toda a laje do protótipo. Os dados e valores encontrados para essa alternativa serão apresentados a seguir.

5.3.1.1. Simulações de desempenho térmico

Foram realizadas simulações utilizando o software Arquitrop 3.0. Para isso foram feitas as seguintes hipóteses de cálculo:

- foi adotado o banco de dados climáticos do Arquitrop, composto principalmente pelas Normais Climatológicas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

- foram identificados os meses mais quentes para as 8 zonas bioclimáticas (Figura 5.3-1) e, no caso das zonas 1, 2, 3 e 5 (regiões sul e sudeste) foram simulados também os meses mais frios;

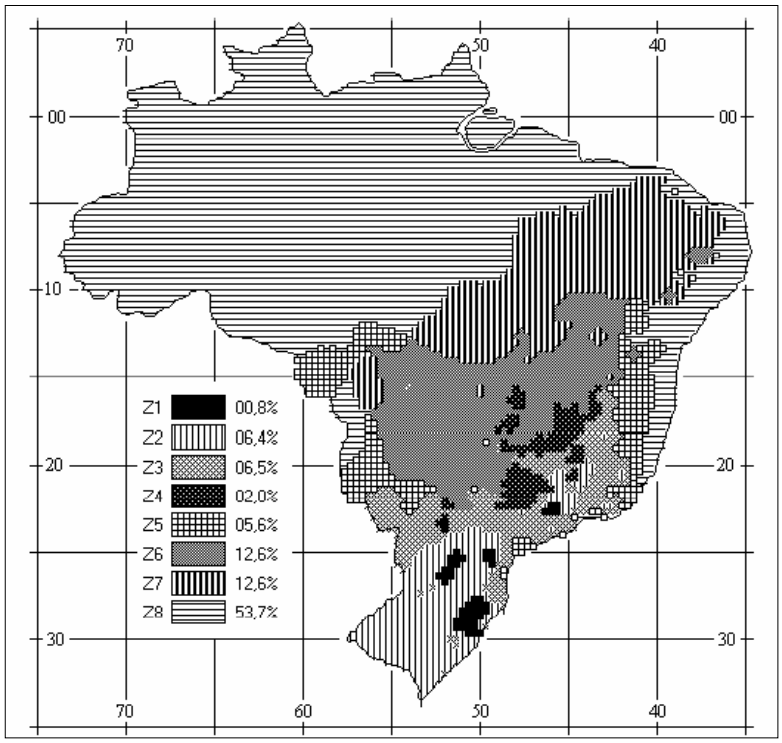


Figura 5.3-1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR 15220-3)

- nas simulações a fachada F1 foi orientada para o norte verdadeiro, a fachada F2 para oeste, a fachada F3 para sul e a fachada F4 para leste. A Figura 5.3-2, abaixo, indica a posição das fachadas para as simulações.

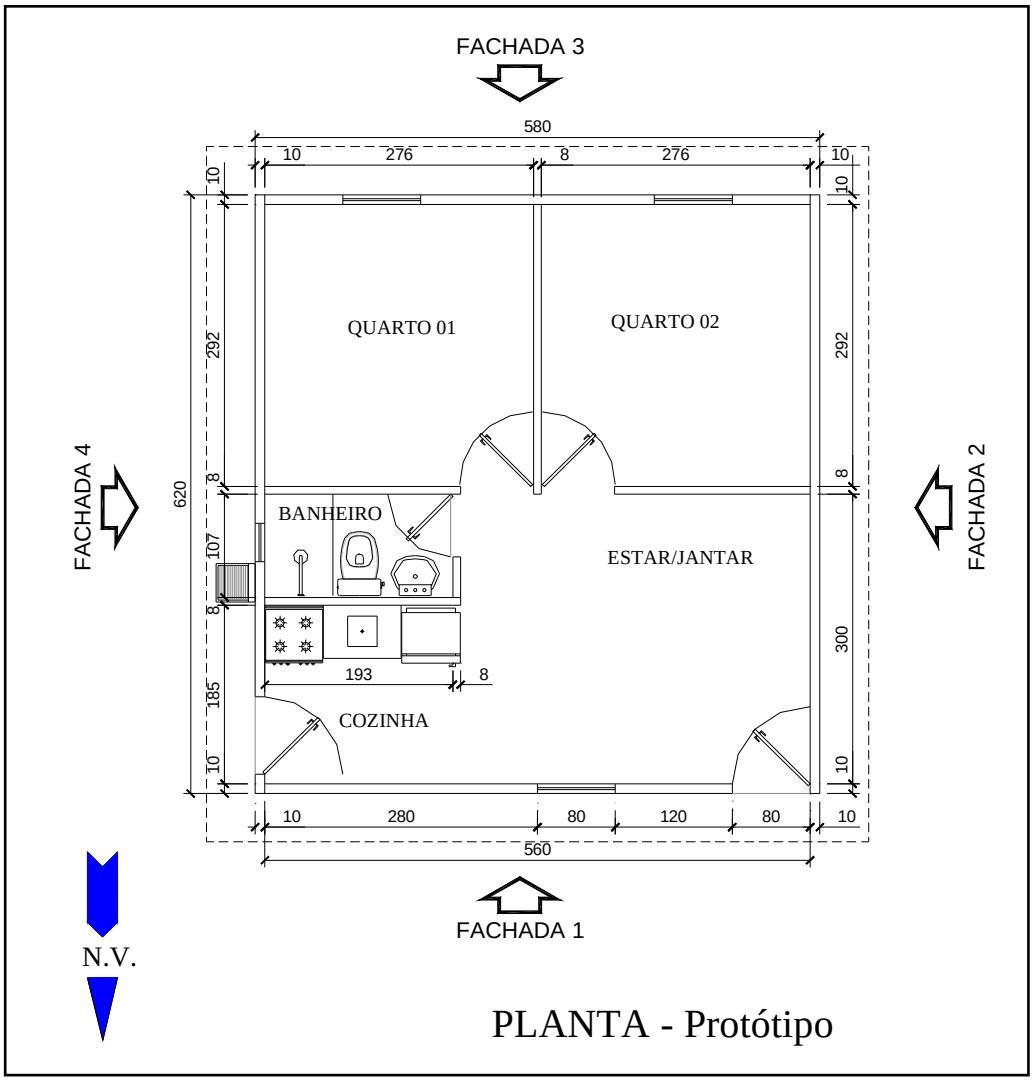


Figura 5.3-2 – Planta baixa e localização das fachadas para simulações de desempenho térmico

a) Dados do protótipo de simulação

- área de piso = 35,96 m²

- paredes de concreto com espessura total de 10,0 cm (externas) e 8,0 cm (internas):
  - retardamento do componente 2,55 horas;
  - amortecimento do componente 49%;
  - coeficiente de transmissão térmica do componente U = 3,70 W/m².°C.

- cobertura com telha cerâmica, laje com espessura de 10,0 cm e placa de poliestireno expandido com espessura de 4,0 cm sobre a laje:
  - retardamento do componente 10,54 horas;

  - amortecimento do componente 94%;
  - coeficiente de transmissão térmica do componente fluxo ascendente U = 0,78 W/m².°C.
  - coeficiente de transmissão térmica do componente fluxo descendente U = 0,72 W/m².°C.

- piso em concreto liso;

- cor da face superior da cobertura: marrom;

- pé direito: 2,40 m;

- cor externa das paredes: amarelo claro;

- caixilhos/envidraçados:
  - sala e 2 quartos: 3 esquadrias de correr; caixilho metálico, vidro comum sem proteção, espessura do vidro e = 3,0 mm. Área das 3 esquadrias: 2,76 m².
  - banheiro: esquadria tipo basculante, caixilho metálico, vidro comum sem proteção, espessura do vidro e = 3,0 mm. Área da esquadria: 0,18 m².

- as 2 portas de acesso à residência são consideradas fechadas para efeito de ventilação;

- área efetiva de ventilação: 1,47 m².

- Nas simulações foram adotadas as cidades destacadas na norma NBR 15220-3/2005 para as 8 zonas bioclimáticas. Para a zona 7 não foi possível adotar a cidade de Picos, pois o programa utilizado dispunha apenas dos dados da cidade de Teresina. A relação de todas as zonas e suas respectivas cidades é a seguinte:

  - Zona 1 - Caxias do Sul, Rio Grande do Sul
  - Zona 2 - Ponta Grossa, Paraná
  - Zona 3 - Florianópolis, Santa Catarina
  - Zona 4 - Brasília, Distrito Federal
  - Zona 5 - Santos, São Paulo
  - Zona 6 - Goiânia, Goiás
  - Zona 7 - Teresina, Piauí
  - Zona 8 - Belém, Pará

- períodos de ventilação adotados para as simulações:

  - Caxias do Sul (janeiro) – ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) sem a carga térmica de equipamentos e iluminação;
  - Caxias do Sul (junho) – sem ventilação e com a carga térmica (1000 W) de equipamentos e iluminação;
  - Ponta Grossa (janeiro) – ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) com a carga térmica (1500 W) de equipamentos e iluminação;

- Ponta Grossa (julho) – sem ventilação e com a carga térmica (1000 W) de equipamentos e iluminação;
- Florianópolis (janeiro) – ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) sem a carga térmica de equipamentos e iluminação;
- Florianópolis (agosto) – sem ventilação e com a carga térmica (1500 W) de equipamentos e iluminação;
- Brasília (setembro) – ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) com a carga térmica (1500 W) de equipamentos e iluminação;
- Santos (fevereiro) – ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) sem a carga térmica de equipamentos e iluminação;
- Santos (junho) – sem ventilação e com a carga térmica (1500 W) de equipamentos e iluminação;
- Goiânia (outubro) – ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) com a carga térmica (1500 W) de equipamentos e iluminação;
- Teresina (outubro) – ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) com a carga térmica (1500 W) de equipamentos e iluminação;
- Belém (novembro) – ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) sem a carga térmica de equipamentos e iluminação.

- número de pessoas/ocupação: 04 pessoas;

- período de ocupação:
  - início 18:00 horas;
  - duração 12 horas.

- carga térmica dos equipamentos e da iluminação artificial – 1500 W:
  - 1 TV, 1 equipamento de som ou vídeo, 1 geladeira, 1 fogão, 1 chuveiro e 4 lâmpadas de 100 W.

- período principal de utilização dos equipamentos e da iluminação artificial:
  - início 18:00 horas;
  - duração 4 horas.

- absortância - parede: 0,30

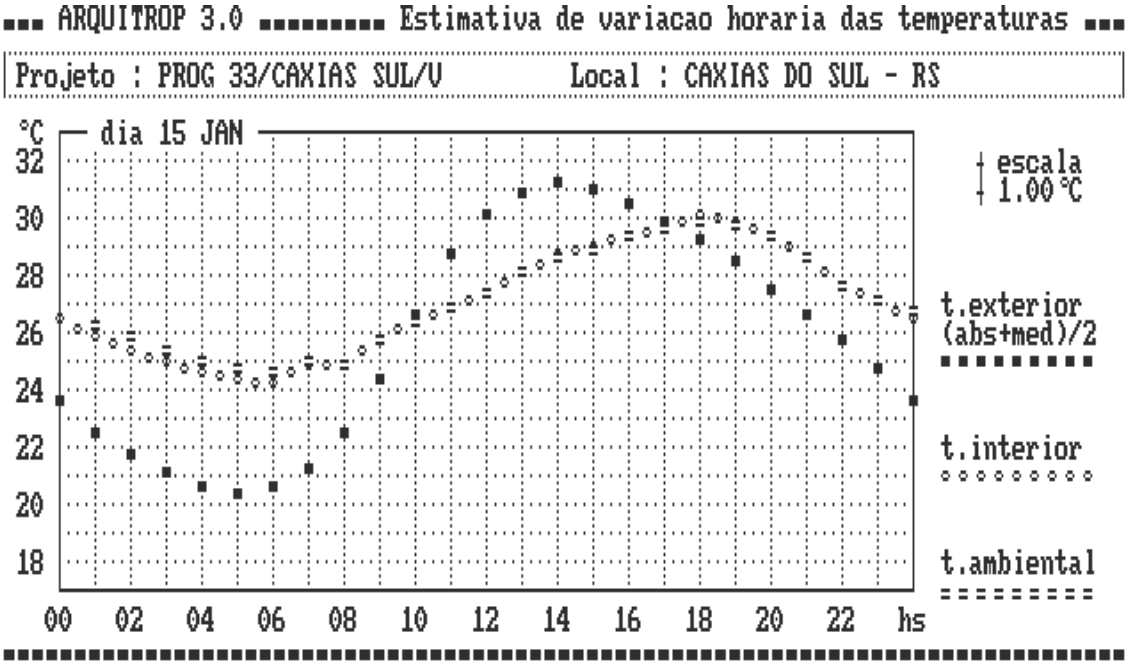
- fator de calor solar - parede: FCS = 4,44%

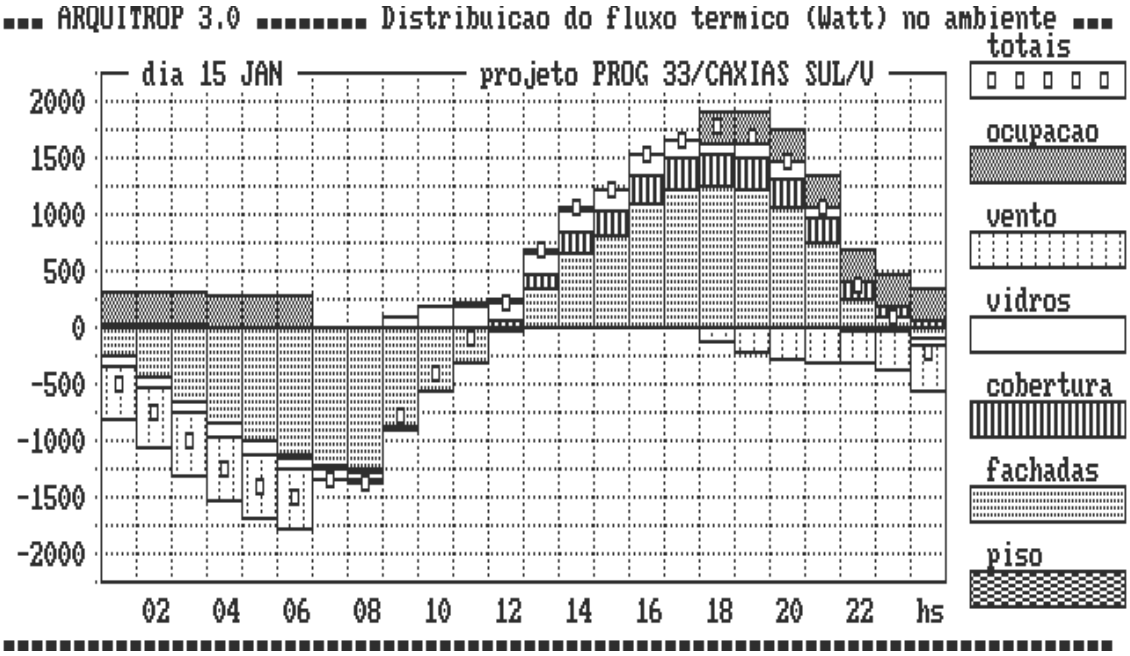
- absortância - cobertura: 0,75

- fator de calor solar - cobertura: FCS = 2,16%

b1) Simulação para Zona Bioclimática 1

- **Caxias do Sul – Janeiro – Ventilação seletiva (das 18:00 às 06:00h) sem equip./ilumin.**



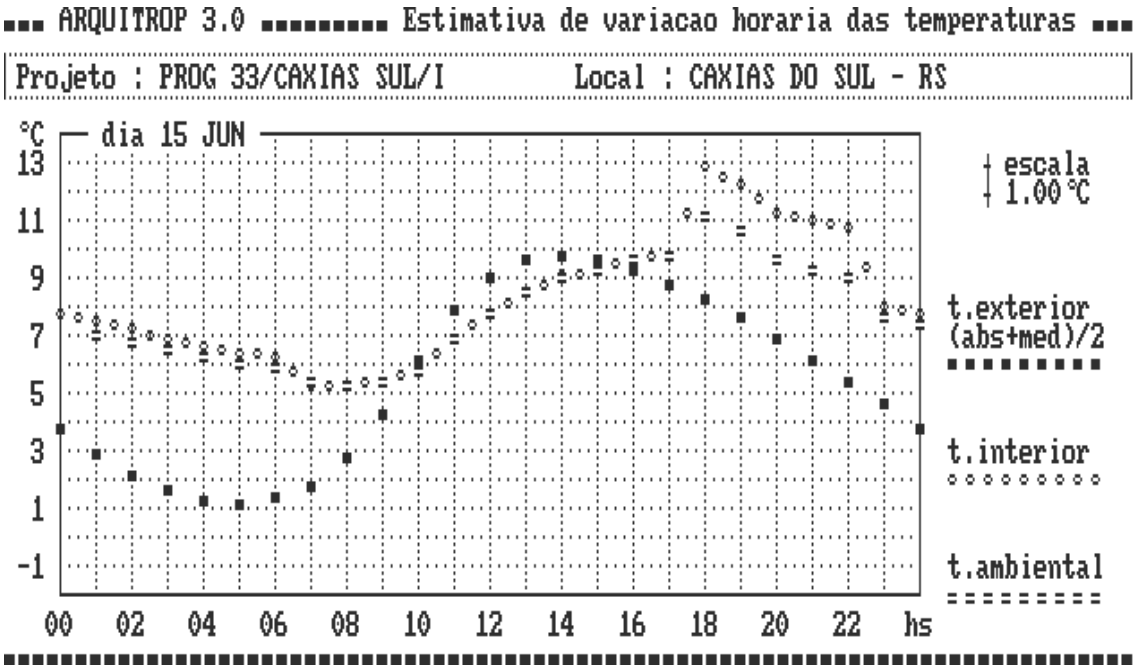


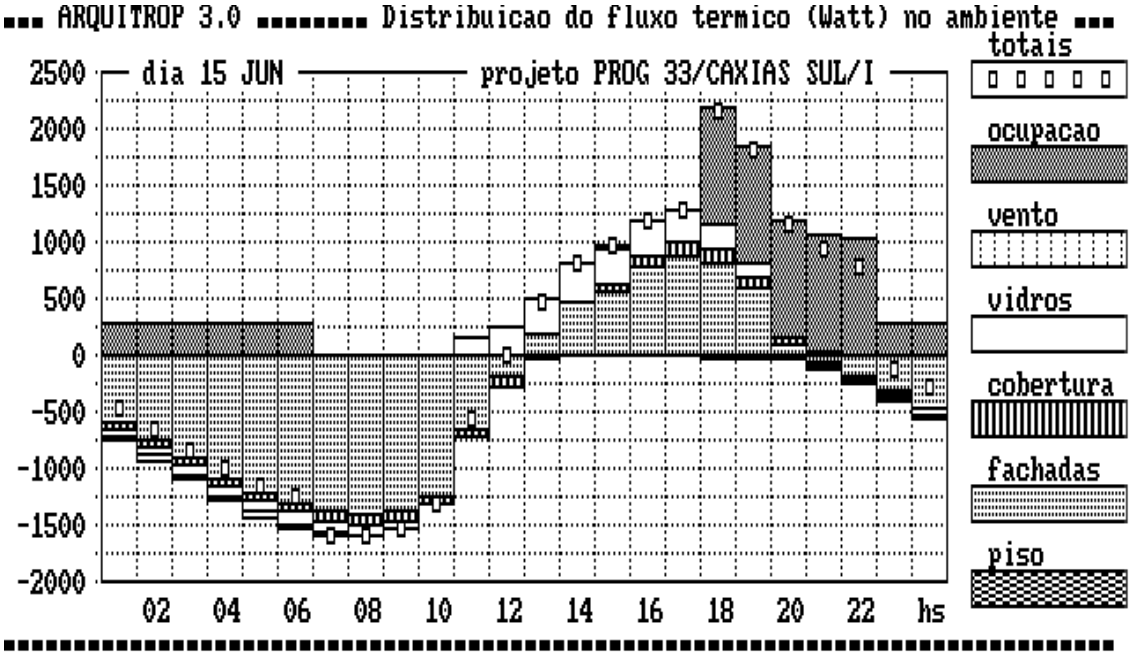
Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 20,0 °C (às 5:00h) e 31,0 °C (às 14:00h)

Interior: 24,0 °C (às 6:00h) e 30,0 °C (às 18:00h)

- **Caxias do Sul – Junho – Sem ventilação e com a carga térmica de equip./ilumin.**





Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 1,0 °C (às 5:00h) e 10,0 °C (às 14:00h)

Interior: 5,0 °C (às 8:00h) e 13,0 °C (às 18:00h)

- **Diagnóstico Z1 (Caxias do Sul)**

Janeiro: Foi adotada ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) e não foi considerada a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial, como permite o requisito 11.1.1 do projeto de norma 02:136.01.001/2004 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais – Critério e níveis de desempenho para condições de verão – "O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve obedecer as condições estabelecidas na Tabela 1."

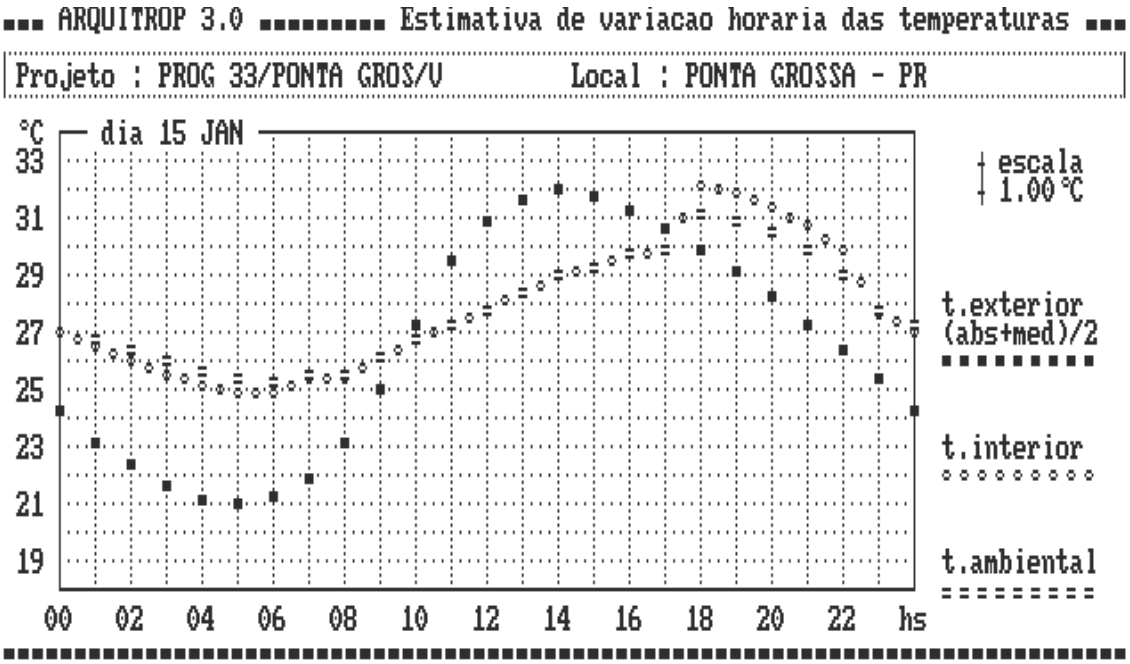
A temperatura máxima interna ficou 1 °C abaixo da temperatura máxima externa, portanto de acordo com a Tabela 1 do requisito 11.1.1, o desempenho térmico para condições de verão foi atingido.

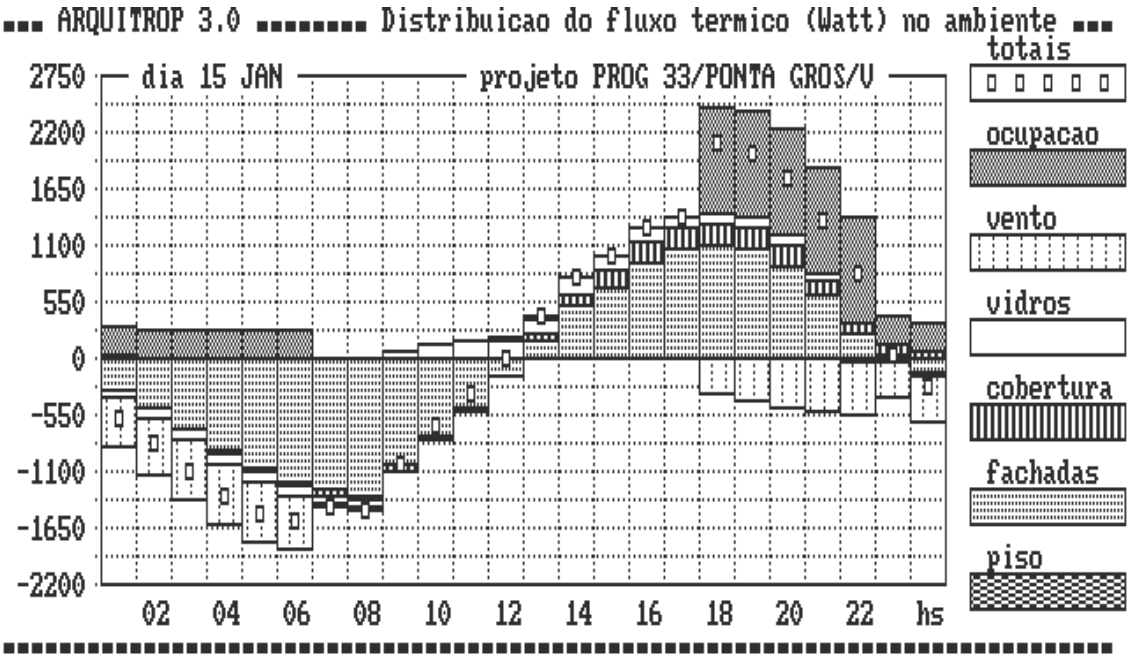
Junho: Mesmo sem ventilação e considerando a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial, as temperaturas internas se apresentam muito baixas durante o dia e à noite. Somente entre 18:00 e 20:00 horas a temperatura interna ultrapassa os 12,0 °C que é a temperatura mínima interna aceitável para condições de inverno, de acordo com o projeto de norma 02:136.01.001/2004 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais - critério 11.2.1, Tabela 2.

É indicada a incidência solar através das aberturas, no período mais frio do ano.

b2) Simulação para Zona Bioclimática 2

- **Ponta Grossa – Janeiro – Ventilação seletiva (das 18:00 às 06:00h) com equip./ilumin.**



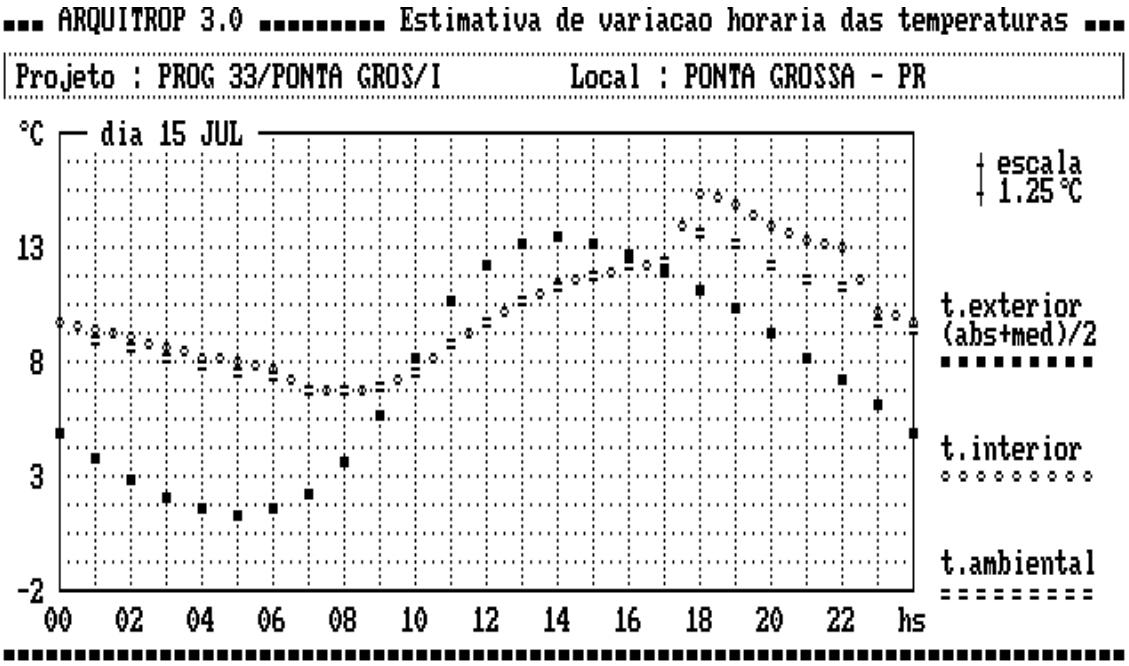


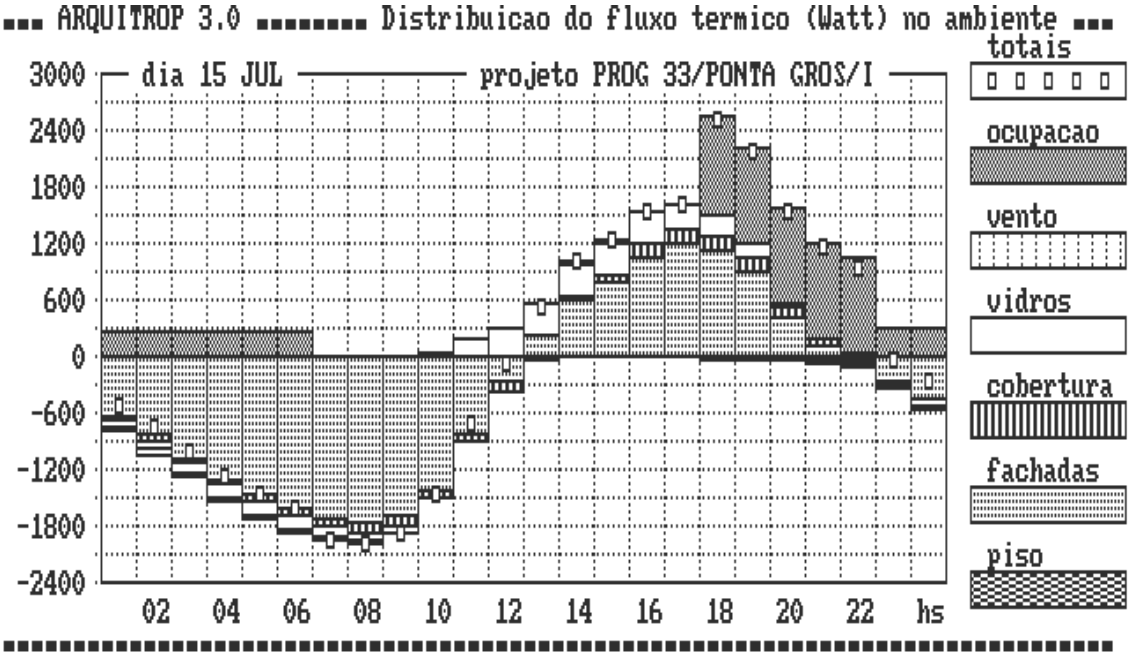
Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 21,0 °C (às 5:00h) e 32,0 °C (às 14:00h)

Interior: 25,0 °C (às 5:00h) e 32,0 °C (às 18:00h)

- **Ponta Grossa – Julho – Sem ventilação e com a carga térmica de equip./ilumin.**





Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 1,5 °C (às 5:00h) e 13,5 °C (às 14:00h)

Interior: 7,0 °C (às 8:00h) e 15,5 °C (às 18:00h)

- **Diagnóstico Z2 (Ponta Grossa)**

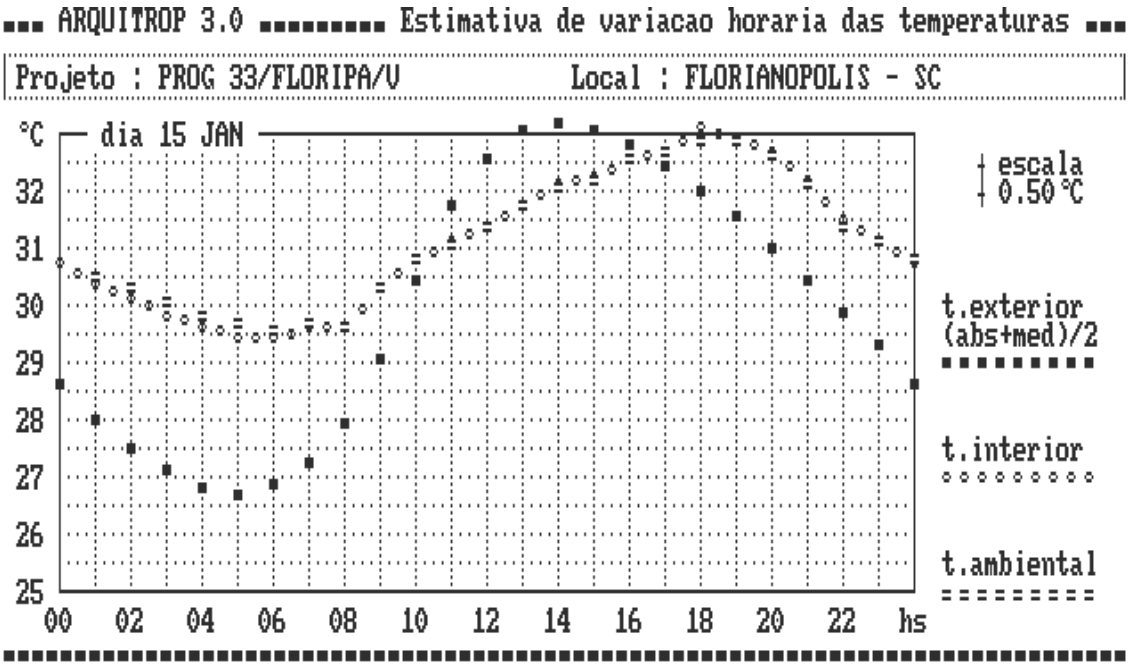
Janeiro: Foi adotada ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) e foi considerada a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial (1500 W). A temperatura máxima interna não ultrapassou a temperatura máxima externa, portanto de acordo com a Tabela 1 do requisito 11.1.1, o desempenho térmico para condições de verão foi atingido.

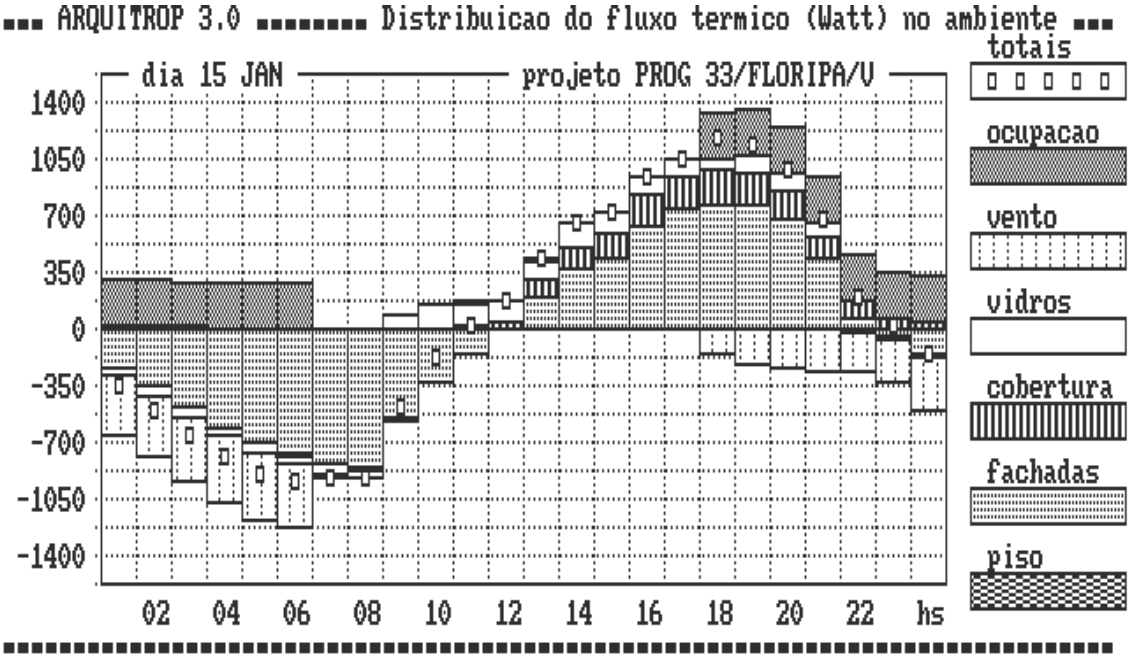
Julho: Mesmo sem ventilação e considerando a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial, as temperaturas internas se apresentam muito baixas durante o dia e à noite. Somente entre 16:00 e 22:00 horas a temperatura interna ultrapassa os 12,0 °C que é a temperatura mínima interna aceitável para condições de inverno, de acordo com o projeto de norma 02:136.01.001/2004 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais - critério 11.2.1, Tabela 2.

É indicada a incidência solar através das aberturas, no período mais frio do ano.

b3) **Simulação para Zona Bioclimática 3**

- **Florianópolis – Janeiro - Ventilação seletiva (das 18:00 às 06:00h) sem equip./ilumin.**



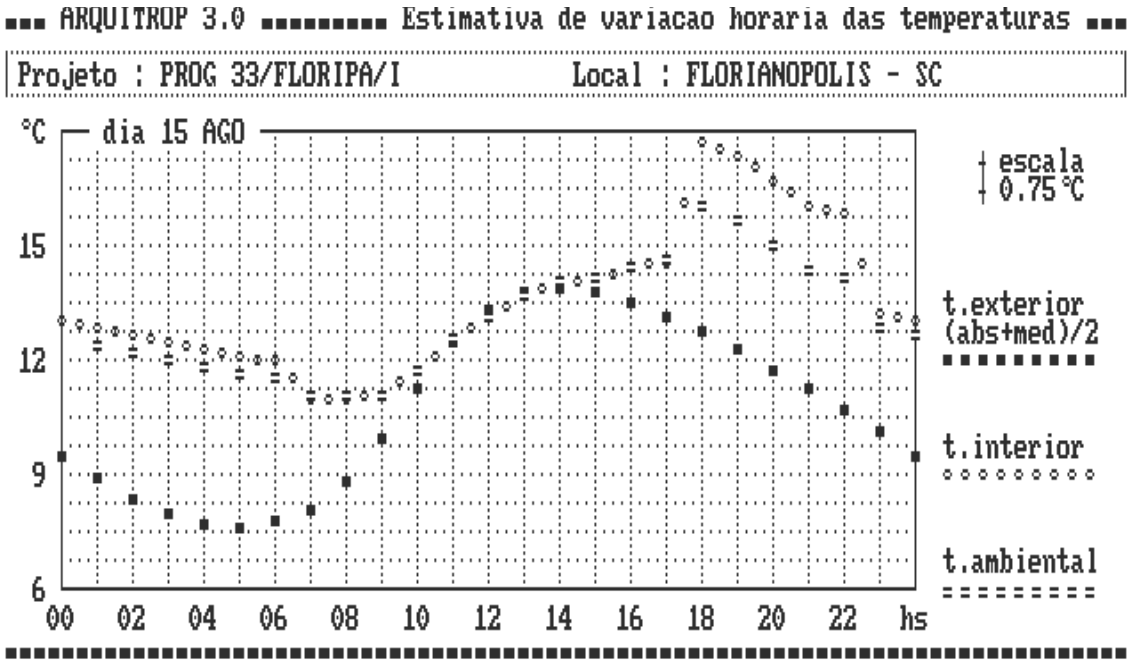


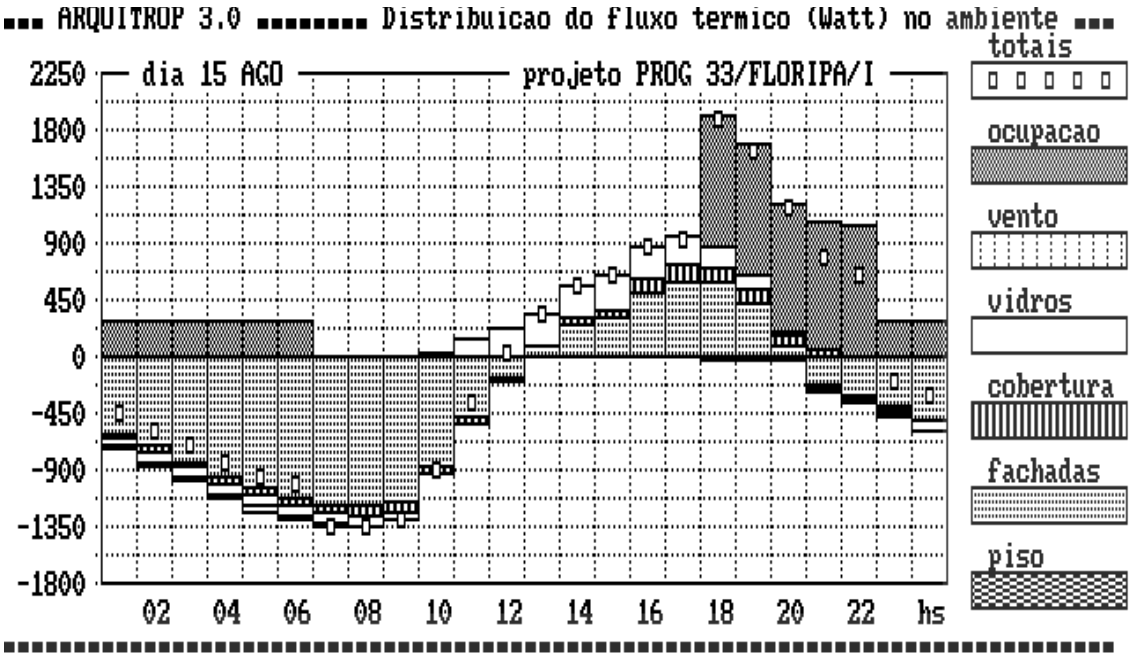
Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 26,5 °C (às 5:00h) e 33,0 °C (às 14:00h)

Interior: 29,5 °C (às 6:00h) e 33,0 °C (às 19:00h)

- **Florianópolis – Agosto – Sem ventilação e com a carga térmica de equip./ilumin.**





Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 7,5 °C (às 5:00h) e 14,0 °C (às 14:00h)

Interior: 10,0 °C (às 8:00h) e 17,5 °C (às 18:00h)

- **Diagnóstico Z3 (Florianópolis)**

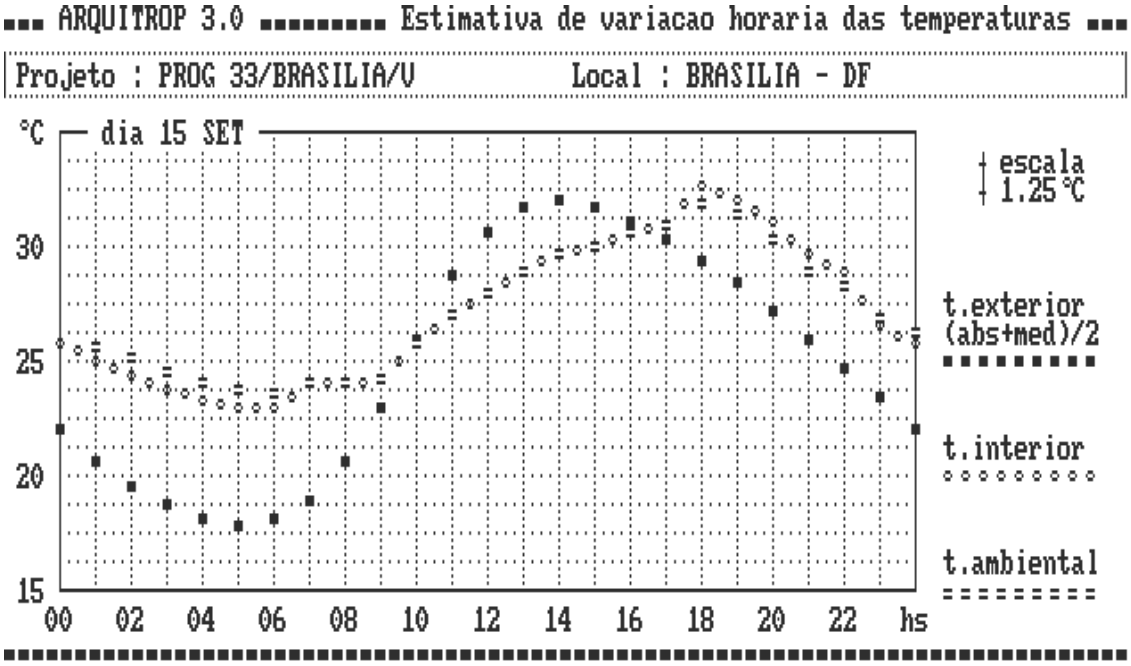
Janeiro: Foi adotada ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) e não foi considerada a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial, como permite o requisito 11.1.1 do projeto de norma 02:136.01.001/2004 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais – Critério e níveis de desempenho para condições de verão – "O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve obedecer as condições estabelecidas na Tabela 1."

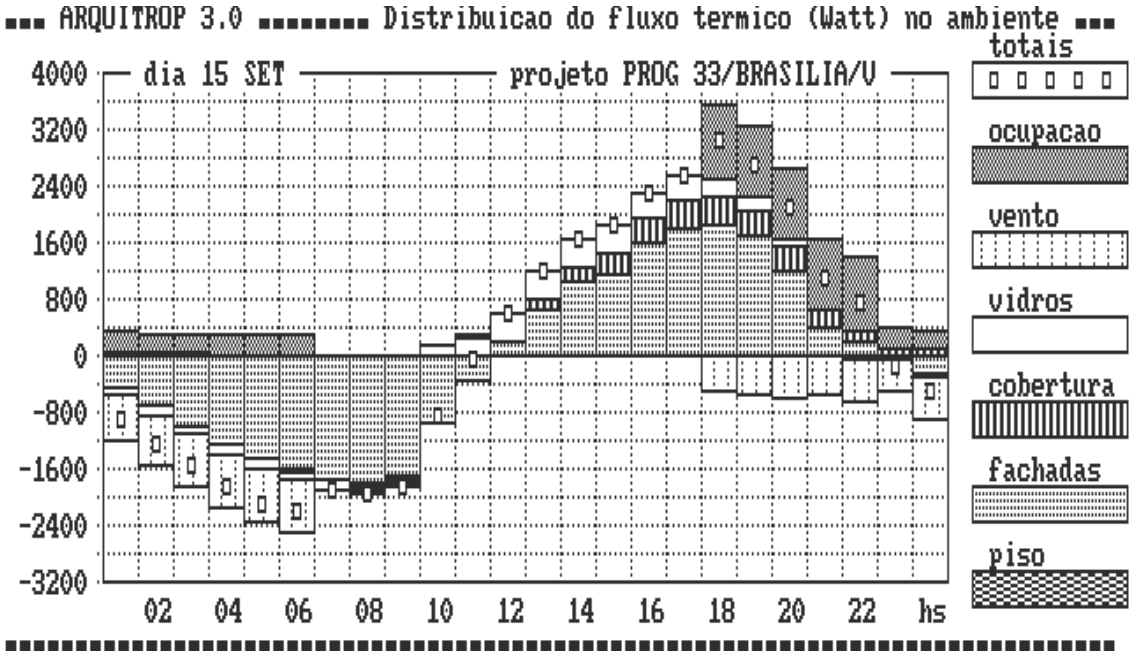
A temperatura máxima interna não ultrapassou a temperatura máxima externa, portanto de acordo com a Tabela 1 do requisito 11.1.1, o desempenho térmico para condições de verão foi atingido.

Agosto: Para condições de inverno, mesmo sem ventilação e considerando a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial, as temperaturas internas ficaram abaixo dos 12,0 °C entre 6:00 e 10:00 horas. No restante do período a temperatura interna ficou acima dos 12,0 °C que é a temperatura mínima interna aceitável para condições de inverno, de acordo com o projeto de norma 02:136.01.001/2004 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais - critério 11.2.1, Tabela 2.

b4) Simulação para Zona Bioclimática 4

- **Brasília – Setembro – Ventilação seletiva (das 18:00 às 06:00h) com equip./ilumin.**





Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 17,5 °C (às 5:00h) e 32,0 °C (às 14:00h)

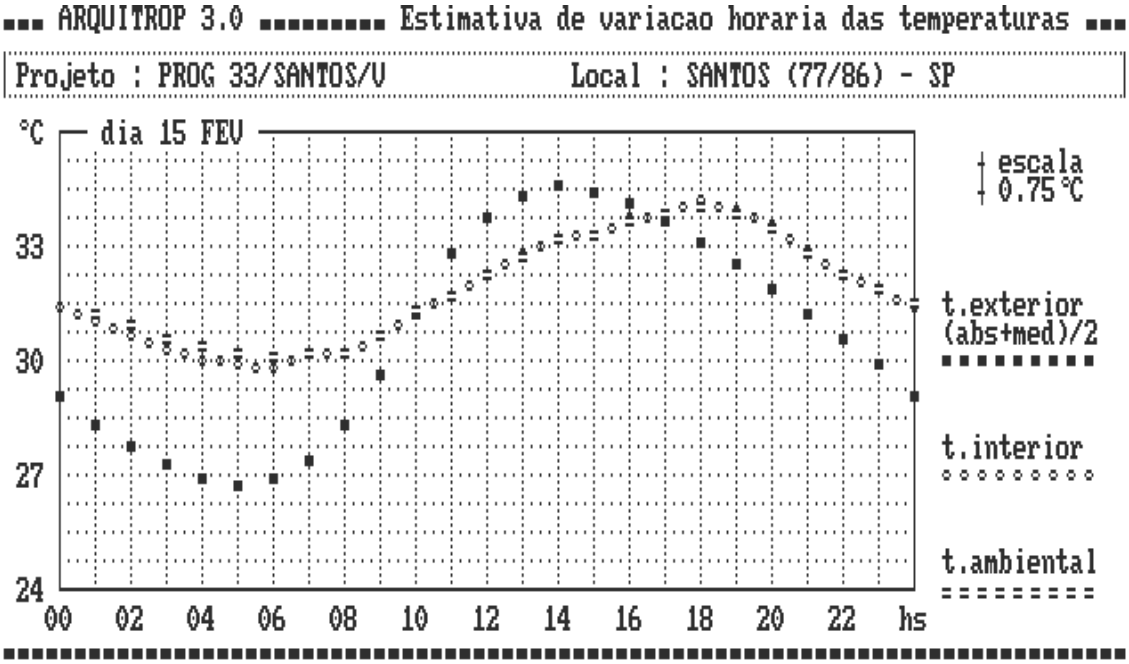
Interior: 23,0 °C (às 5:00h) e 32,5 °C (às 18:00h)

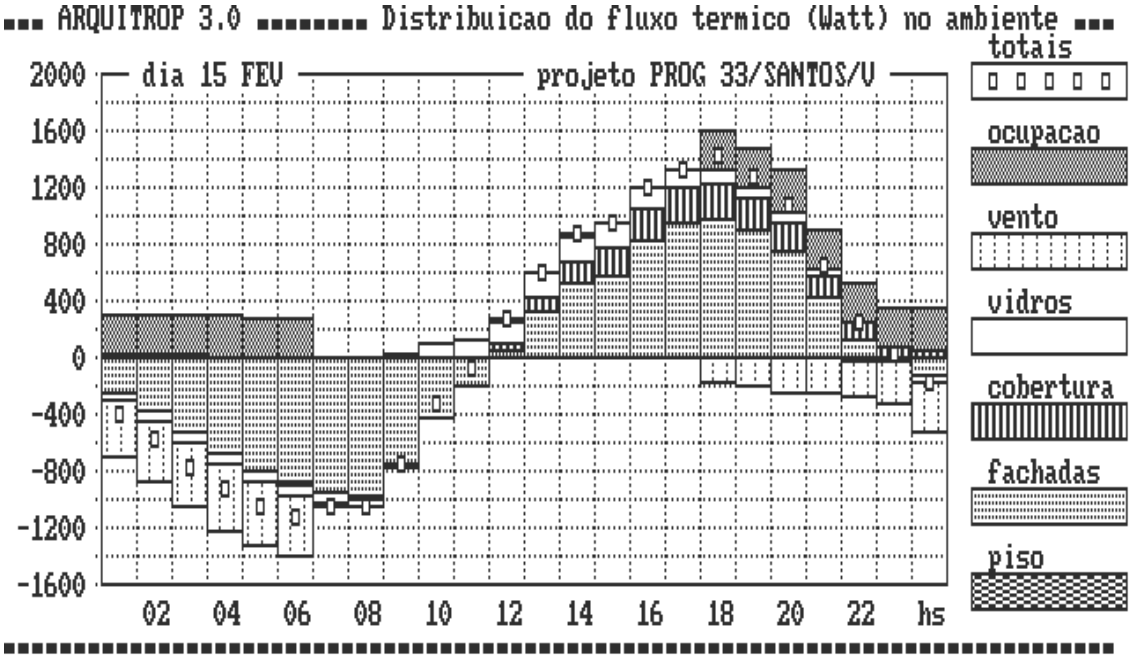
- **Diagnóstico Z4 (Brasília)**

Setembro: Para condições de verão foi adotada ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) e foi considerada a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial (1500 W). A temperatura máxima interna ultrapassou a temperatura máxima externa apenas 0,5 °C por volta das 18:00 horas. Por se tratar de uma diferença muito pequena podemos considerar, de acordo com a Tabela 1 do requisito 11.1.1, que o desempenho térmico para condições de verão foi atingido.

b5) Simulação para Zona Bioclimática 5

- **Santos – Fevereiro – Ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) sem equip./ilumin.**



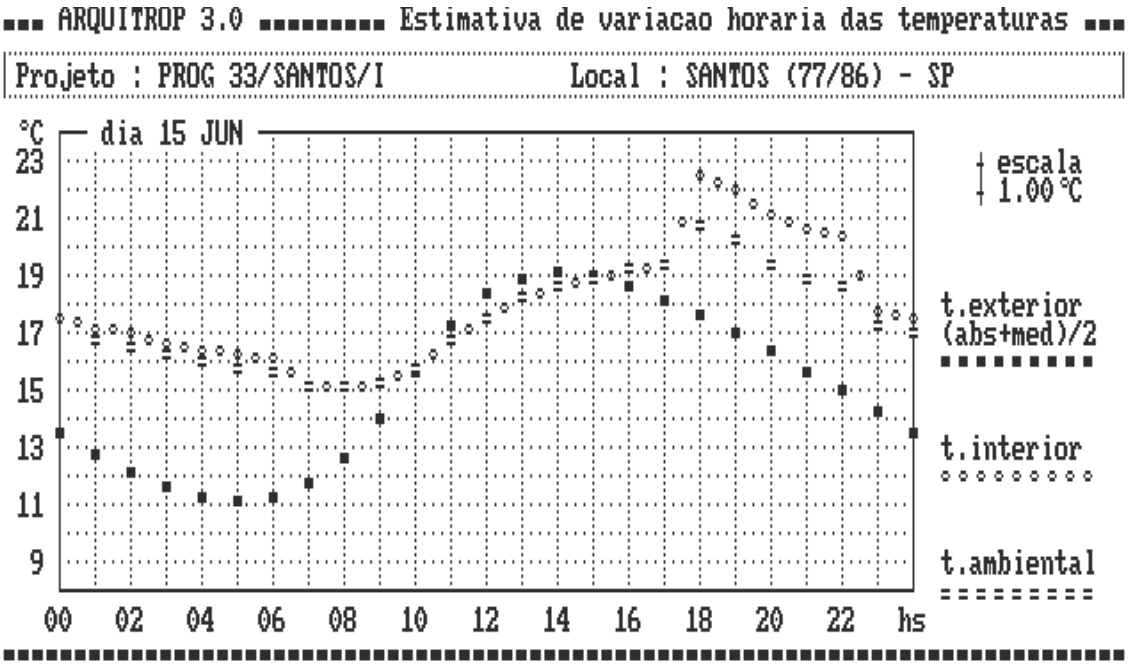


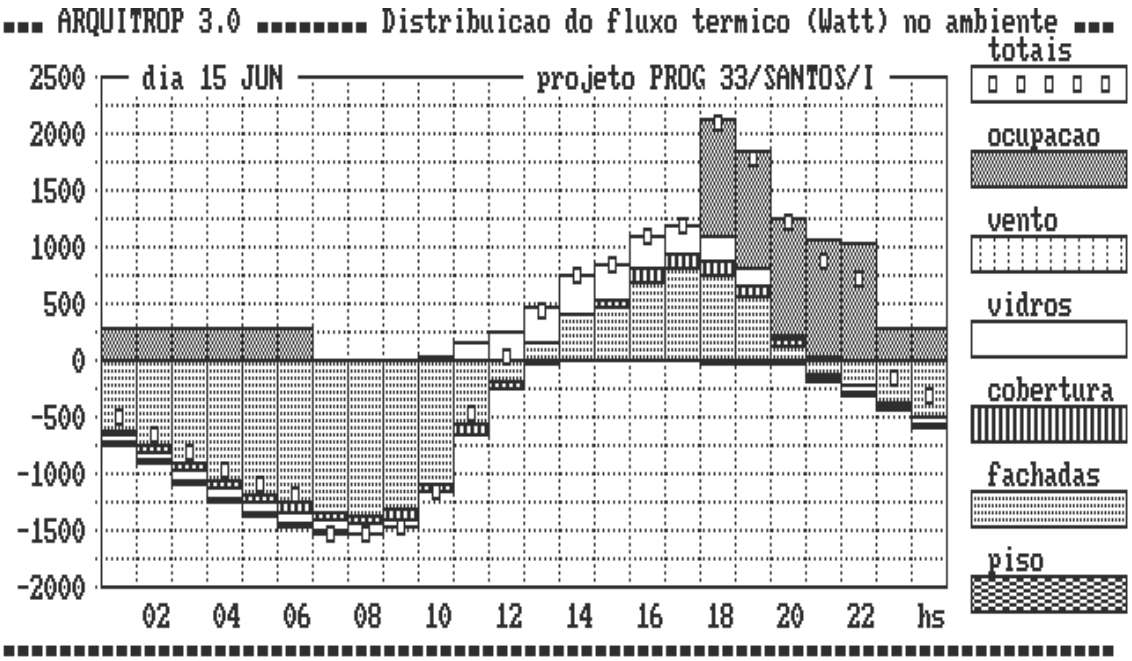
Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 26,5 °C (às 5:00h) e 34,5 °C (às 14:00h)

Interior: 30,0 °C (às 6:00h) e 34,0 °C (às 18:00h)

- **Santos – Junho – Sem ventilação e com a carga térmica de equip./ilumin.**





Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 11,0 °C (às 5:00h) e 19,0 °C (às 14:00h)

Interior: 15,0 °C (às 8:00h) e 22,5 °C (às 18:00h)

- **Diagnóstico Z5 (Santos)**

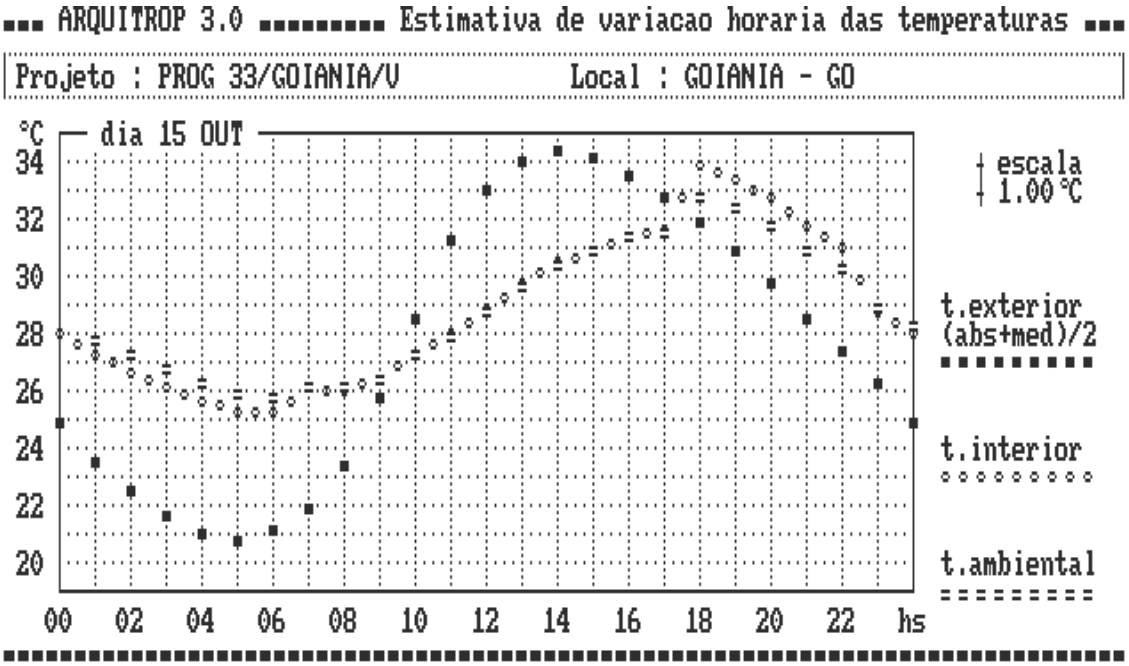
Fevereiro: Foi adotada ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) e não foi considerada a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial, como permite o requisito 11.1.1 do projeto de norma 02:136.01.001/2004 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais – Critério e níveis de desempenho para condições de verão – "O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve obedecer as condições estabelecidas na Tabela 1."

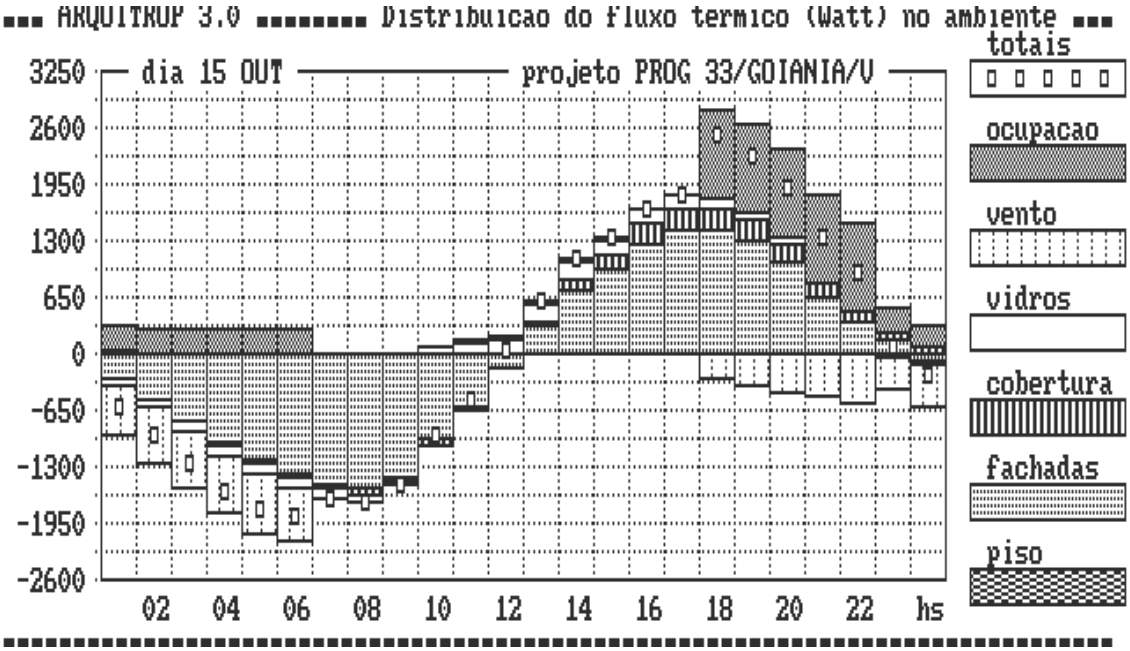
A temperatura máxima interna ficou abaixo cerca de 0,5 °C da temperatura máxima externa, portanto, de acordo com a Tabela 1 do requisito 11.1.1, o desempenho térmico para condições de verão foi atingido.

Junho: Para condições de inverno, essa simulação desconsiderou a ventilação e considerou a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial. Nesse caso, a temperatura mínima interna variou entre 15,0 °C e 22,5 °C, atingindo o nível de desempenho intermediário entre 23:00 e 11:00 horas e nível de desempenho superior no restante do período, de acordo com a tabela 2 do critério 11.2.1 do projeto de norma 02:136.01.001/2004 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais.

b6) Simulação para Zona Bioclimática 6

- **Goiânia – Outubro – Ventilação seletiva das (18:00 às 06:00h) com equip./ilumin.**





Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 21,0 °C (às 5:00h) e 34,5 °C (às 14:00h)

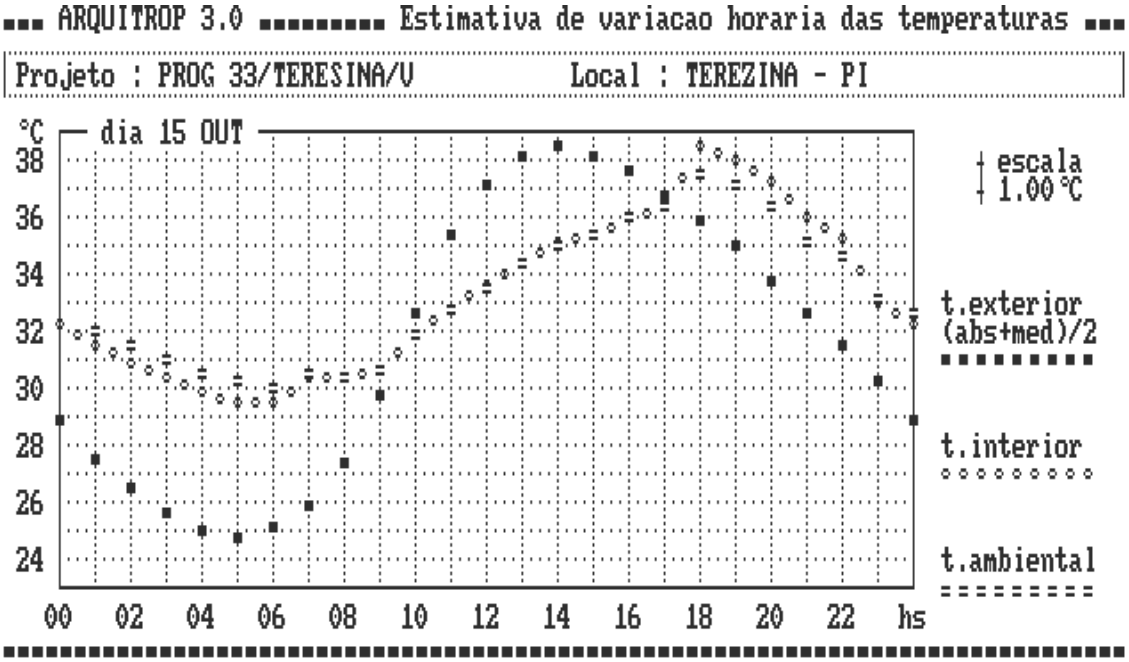
Interior: 25,0 °C (às 6:00h) e 34,0 °C (às 18:00h)

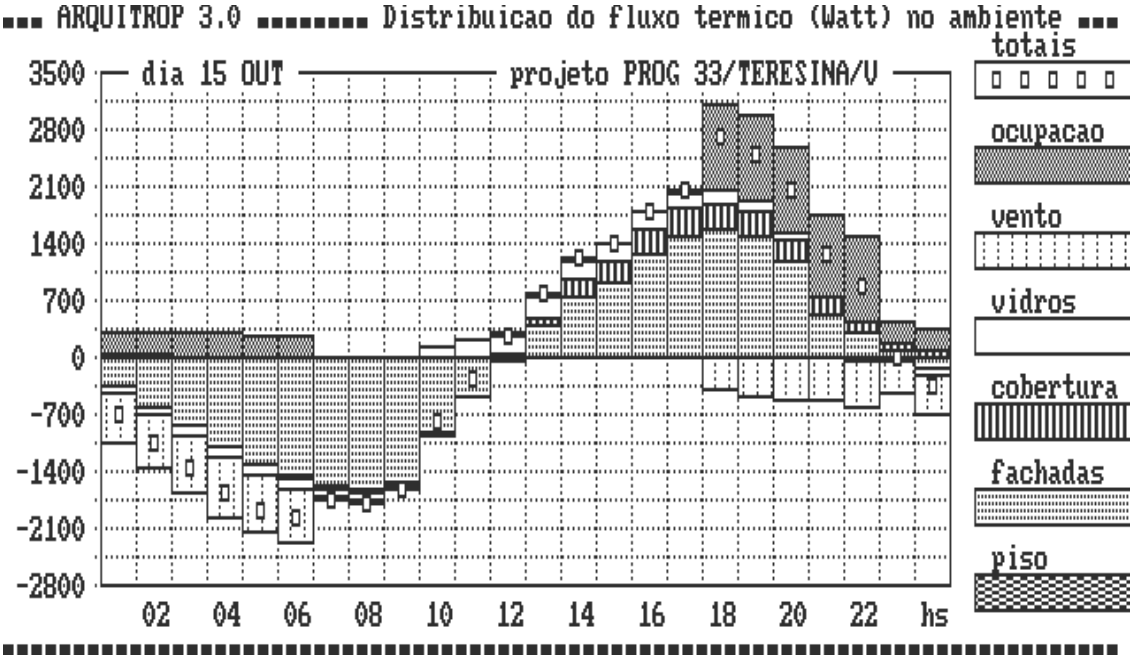
- **Diagnóstico Z6 (Goiânia)**

Outubro: Para condições de verão foi adotada ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) e foi considerada a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial (1500 W). A temperatura máxima interna ficou abaixo da temperatura máxima externa em 0,5 °C, portanto, de acordo com a Tabela 1 do requisito 11.1.1, o desempenho térmico para condições de verão foi atingido.

b7) Simulação para Zona Bioclimática 7

- **Teresina – Outubro – Ventilação seletiva (das 18:00 às 06:00h) com equip./ilumin.**





Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 25,0 °C (às 5:00h) e 38,5 °C (às 14:00h)

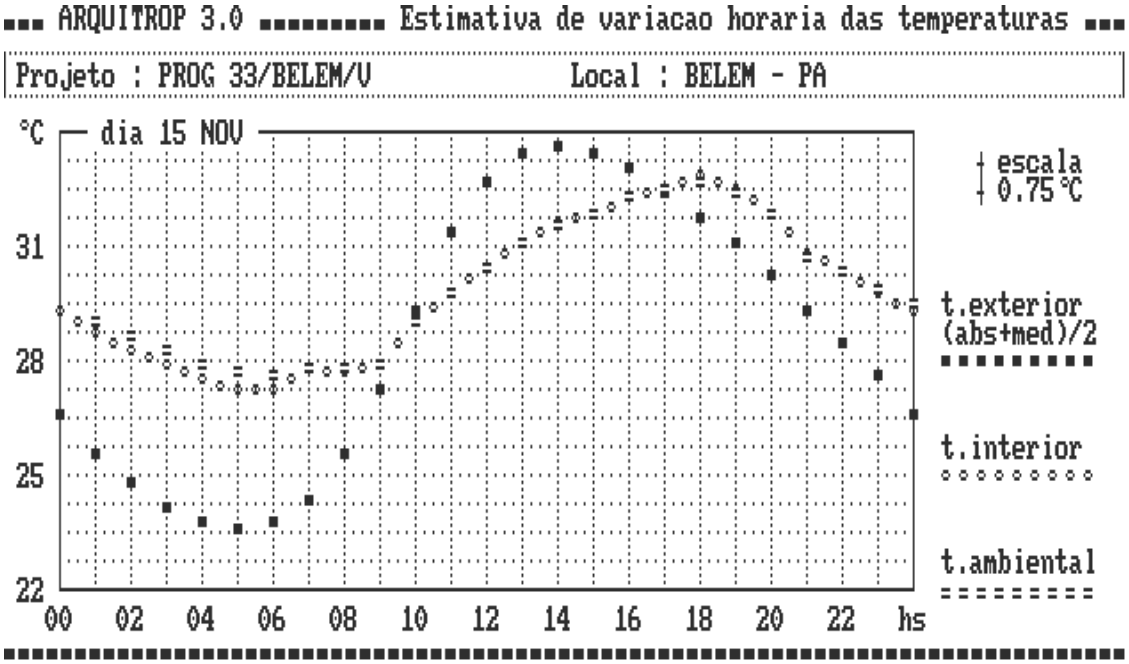
Interior: 29,5 °C (às 6:00h) e 38,5 °C (às 18:00h)

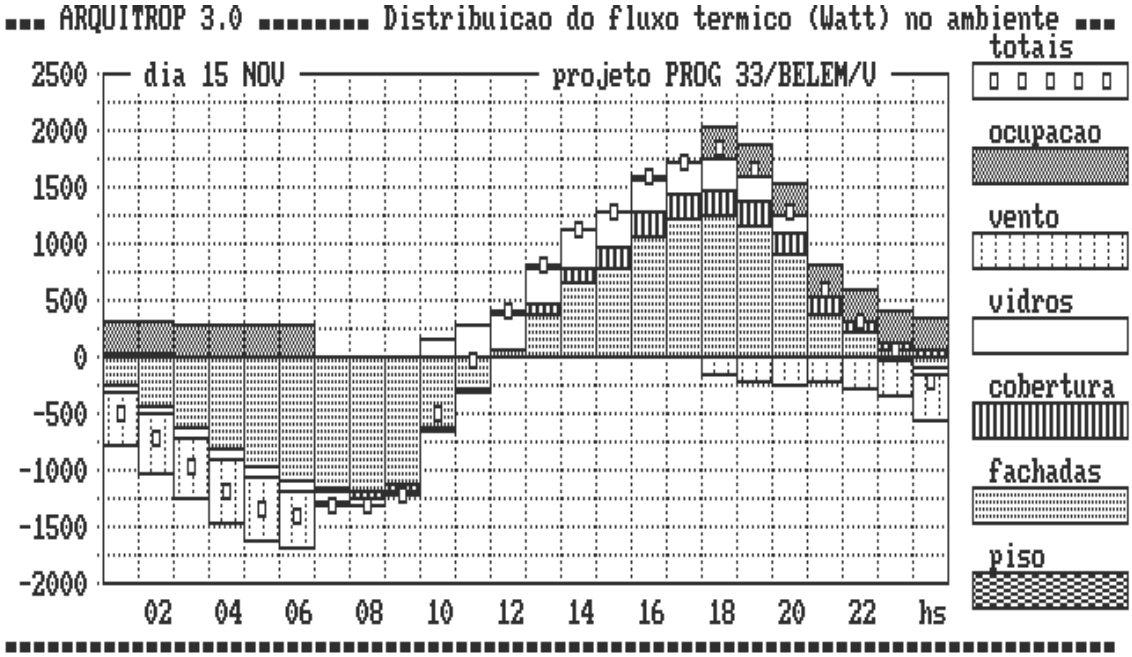
- **Diagnóstico Z7 (Teresina)**

Outubro: Foi adotada ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) e foi considerada a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial (1500 W). A temperatura máxima interna não ultrapassou a temperatura máxima externa, portanto de acordo com a Tabela 1 do requisito 11.1.1, o desempenho térmico para condições de verão foi atingido.

b8) Simulação para Zona Bioclimática 8

- **Belém – Novembro – Ventilação seletiva (das 18:00 às 06:00h) sem equip./ilumin.**





Temperaturas mínima e máxima:

Exterior: 23,5 °C (às 5:00h) e 33,5 °C (às 14:00h)

Interior: 27,0 °C (às 6:00h) e 33,0 °C (às 18:00h)

- **Diagnóstico Z8 (Belém)**

Novembro: Foi adotada ventilação seletiva (das 18:00 às 6:00 horas) e não foi considerada a carga térmica de equipamentos e iluminação artificial, como permite o requisito 11.1.1 do projeto de norma 02:136.01.001/2004 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais – Critério e níveis de desempenho para condições de verão – "O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve obedecer as condições estabelecidas na Tabela 1."

A temperatura máxima interna ficou abaixo cerca de 0,5 °C da temperatura máxima externa, portanto, de acordo com a Tabela 1 do requisito 11.1.1, o desempenho térmico para condições de verão foi atingido.

c) Considerações finais sobre as simulações

Para a zona bioclimática Z1 (Caxias do Sul) o protótipo apresentou, para condições de inverno, temperaturas internas muito baixas, atingindo um desempenho térmico mínimo somente entre 18:00 e 20:00 horas.

Para a zona bioclimática Z2 (Ponta Grossa) o protótipo apresentou, durante o inverno, temperaturas internas baixas, atingindo um desempenho térmico mínimo entre 14:00 e 22:00 horas.

Na zona Z3 (Florianópolis) o protótipo apresentou, para condições de inverno, temperaturas internas baixas (< 12 °C) somente entre 6:00 e 10:00 horas, permanecendo no restante do período no nível de desempenho térmico intermediário, segundo a tabela 2 do critério 11.2.1 do projeto de norma 02:136.01.001/2004.

Na zona Z5 (Santos) o protótipo apresentou, no inverno, temperaturas internas confortáveis, variando entre o nível de desempenho térmico intermediário (>15 °C) e superior (>17 °C), segundo a tabela 2 do critério 11.2.1 do projeto de norma 02:136.01.001/2004.

Para condições de verão o protótipo atingiu, nas oito zonas bioclimáticas, o nível de desempenho mínimo de acordo com a tabela 1 do critério 11.1.1 do projeto de norma 02:136.01.001/2004, ou seja, o valor máximo diário da temperatura do ar interior não ultrapassou o valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

As zonas Z1, Z2, Z4 e Z6 apresentaram temperaturas abaixo de 29 °C durante a madrugada, ou seja, durante esse período atingiram o nível de desempenho térmico intermediário segundo o projeto de norma. A zona Z8 também atingiu o nível de desempenho intermediário durante a madrugada, quando a temperatura interna do ar esteve abaixo dos 28 °C.

Para as zonas Z1 a Z6 a norma NBR 15220-3/2005 orienta para o uso de cobertura do tipo leve isolada, para a Z7 cobertura do tipo pesada e para a Z8 cobertura do tipo leve refletora. No caso do protótipo em estudo, as características da cobertura (transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar) se aproximam mais do tipo pesada, pois apresenta grande atraso térmico (10,54 horas). Apesar desse tipo de cobertura ser mais indicada para a Z7, no protótipo em questão o conjunto (cobertura/fachada/piso) apresentou bons resultados para todas as zonas bioclimáticas.

Em relação às vedações externas, a norma NBR 15220-3/2005 orienta para as zonas Z1 e Z2 parede leve, para as zonas Z3, Z5 e Z8 parede leve refletora (baixa absortância) e para as zonas Z4, Z6 e Z7 parede pesada (grande inércia térmica). No caso do protótipo em estudo, as paredes externas apresentam características (transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar) do tipo leve e leve refletora, ou seja, satisfazem a recomendação para as zonas Z1, Z2, Z3, Z5 e Z8. Apesar da parede não ser do tipo pesada, os resultados obtidos para as zonas Z4, Z6 e Z7 foram satisfatórios, provavelmente isso deve ter ocorrido por se tratar de uma edificação térrea onde a cobertura quase sempre acaba exercendo maior influência no conjunto.

Quanto ao tamanho das aberturas para ventilação efetiva, aqui representado por A (em % da área de piso), a norma orienta para as zonas Z1 a Z6, aberturas médias (15%<A<25%), para a zona Z7 aberturas pequenas (10%<A<15%) e para zona Z8 aberturas grandes (A>40%). O protótipo em estudo apresenta aberturas para ventilação muito pequenas (A<10%), ou seja, não atende nem a recomendação mínima de 10% para as aberturas consideradas, pela norma, como pequenas. Em função da área do protótipo ser de 35,96 m², as aberturas para ventilação teriam que ter no mínimo uma área de 3,60 m², mas só atingiram 1,47 m².

A norma recomenda para as zonas Z1 e Z2 a incidência solar através das aberturas no período mais frio do ano. Porém, para essas duas zonas bioclimáticas, que apresentam climas bastante rigorosos, o condicionamento passivo continua sendo muito importante, mas não conseguirá solucionar totalmente as situações extremas de temperatura. A norma considera que para as zonas Z1 e Z2 será necessário o uso de aquecimento artificial durante o período mais frio do ano, para que se possam atingir os parâmetros de conforto adotados para o restante do país.

5.3.2. Resistência ao Fogo

5.3.2.1. Ensaios em Escala Reduzida

Para determinação da resistência ao fogo do concreto, inicialmente foram moldadas 04 (quatro) placas medindo 1,0 x 1,0 m, com espessuras de 8, 10, 12 e 15 cm. Essas amostras foram ensaiadas de acordo com a Norma ASTM E 119 - “Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials”, que prescreve a exposição do corpo-de-prova a um programa padronizado de elevação de temperatura, verificando-se 3 requisitos: integridade, isolamento térmico e estanqueidade a gases quentes e chamas. A curva de aquecimento utilizada foi a indicada pela NBR 5628/2001 - “Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo”.

Para execução dos ensaios, foi utilizado um forno horizontal composto por chapas de aço isoladas com mantas de fibras cerâmicas. A câmara de combustão do forno possui 100 cm de profundidade e abertura superior de 95 cm x 95 cm (Foto 5.3-3).

Foto 5.3-3 – Forno horizontal

Para medição da temperatura interna do forno e externa das amostras ensaiadas foram empregados termopares de cromel-alumel e, para a aquisição dos dados, foi utilizado um software específico.

A instalação das amostras foi realizada sobre suporte horizontal de chapas metálicas reforçadas com perfis, vazado em sua região central, na forma quadrada com 100 cm de lado e protegido com manta cerâmica. Desta forma, a área das amostras exposta ao fogo foi de 85 cm x 85 cm.

5.3.2.1.1. Condicionamento

As amostras não receberam condicionamento especial, permanecendo protegidas das intempéries naturais dentro do ambiente do laboratório.

5.3.2.1.2. Medidas de temperatura do forno

A temperatura do forno foi medida através de cinco termopares distribuídos simetricamente no interior da câmara e mantidos à distância de 10 cm da face da amostra exposta ao fogo.

Os termopares utilizados para esse fim eram do tipo K (cromel-alumel) com isolação mineral e bainha metálica, tendo os fios condutores 0,65 mm de diâmetro.

5.3.2.1.3. Medidas de temperatura e deformação da face não exposta ao fogo

A temperatura da face não exposta ao fogo foi medida em 5 pontos distintos, sendo um no centro geométrico e um no centro de cada quarto da amostra (Foto 5.3-4). Os termopares utilizados para essa finalidade eram do tipo K (cromel-alumel)/24AWG, possuindo a junta de medida fixada no centro de um disco de cobre de 12 mm de diâmetro e 0,2 mm de espessura. Os discos foram cobertos com pastilhas de fibra cerâmica secas em estufa a 105ºC. A deformação de cada amostra durante o ensaio foi medida em seu centro geométrico, junto ao termopar central (Foto 5.3-5).

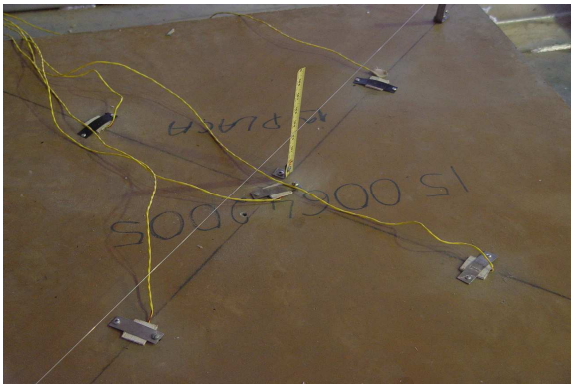


Foto 5.3-4 – Termopares tipo K instalados

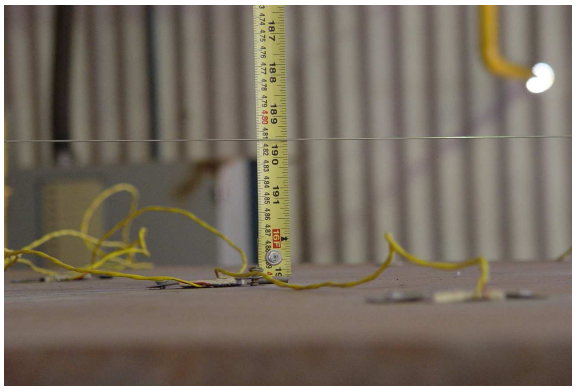


Foto 5.3-5 – Sistema de medida de deformação

5.3.2.1.4. Resultados dos ensaios em escala reduzida

Os resultados do ensaio de resistência ao fogo em escala reduzida realizado na amostra de concreto armado medindo 1,00 x 1,00 x 0,08 m (registro 15.0064.2005) estão apresentados na Tabela 5.3-2, a seguir.

Tabela 5.3-2 – Ensaio de Resistência ao Fogo em Escala Reduzida - Registro 15.0064.2005 - Data: 11/08/2005

Tempo decorrido de ensaio (min)	Principais Ocorrências	Deformação no centro da amostra (mm/m)	Desvio de temperatura interna registrado (%)	Desvio máximo permitido pela NBR 5628 (%)
5		1		
10	Afloramento de água sobre a placa	2	0,70%	±15%
15		2		
20		3		
25		4		
30		5	0,60%	±10%
40		5		
50		6		
60		6		
68	Liberação de vapor pelas laterais	7		
70		7		
80		8		
90		8		
100		9		
106	Atingiu temperatura média externa máxima (166ºC)	9	0,50%	±5%
110		9		
120		10		
123	Atingiu temperatura isolada externa máxima (206ºC)	10		
130		10		
135		11		
Informações adicionais: Massa do corpo-de-prova antes do ensaio: 194,25 kg. Temperatura ambiente no início do ensaio: 26°C				

O Gráfico 5.3-1 apresenta as médias das temperaturas no interior do forno e na face não exposta da amostra (registro 15.0064.2005).

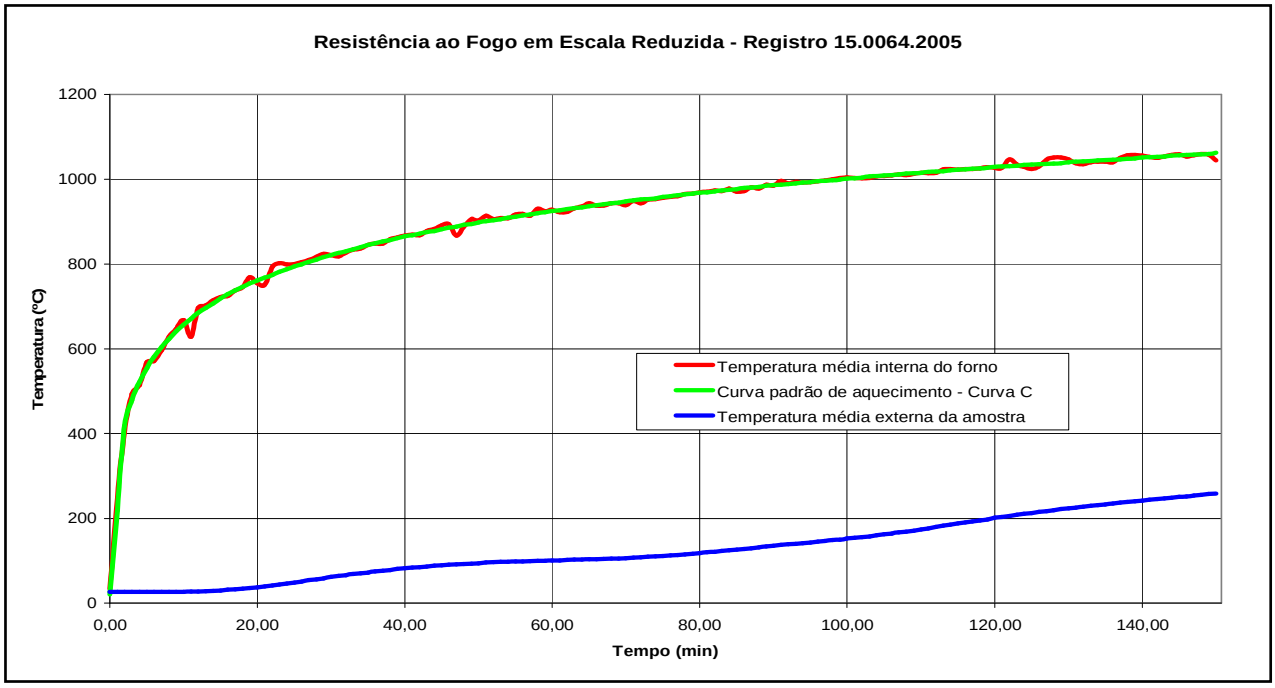


Gráfico 5.3-1 – Gráfico de evolução das temperaturas - Médias de Temperatura

Os resultados do ensaio de resistência ao fogo em escala reduzida realizado na amostra de concreto armado medindo 1,00 x 1,00 x 0,10 m (registro 15.0065.2005) estão apresentados na Tabela 5.3-3, a seguir.

Tabela 5.3-3 – Ensaio de Resistência ao Fogo em Escala Reduzida - Registro 15.0065.2005 - Data: 12/08/2005

Tempo decorrido de ensaio (min)	Principais Ocorrências	Deformação no centro da amostra (mm/m)	Desvio de temperatura interna registrado (%)	Desvio máximo permitido pela NBR 5628 (%)
5		1		
10		1	-1,70%	±15%
14	Afloramento de água sobre a placa	1		
15		1		
20		2		
25		2		
30		3	-0,50%	±10%
40		3		
50		3		
70		3		
100		3		
120		4		
140		4		
151	Atingiu temperatura externa média máxima (169 °C)	5		
160		5		
170	Atingiu temperatura isolada externa máxima (209 °C)		0,10%	±5%
Informações adicionais: Massa do corpo-de-prova antes do ensaio: 242,15 kg. Temperatura ambiente no início do ensaio: 29°C				

O Gráfico 5.3-2 apresenta as médias das temperaturas no interior do forno e na face não exposta da amostra (registro 15.0065.2005).

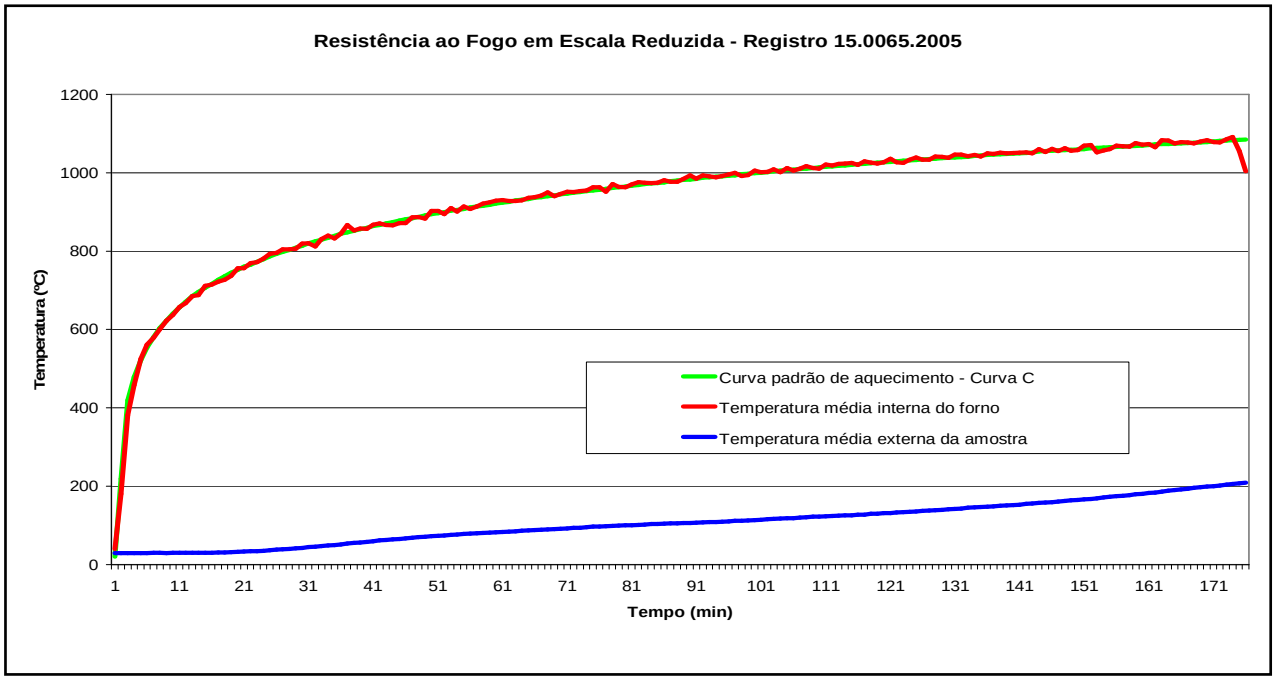


Gráfico 5.3-2 – Gráfico de evolução das temperaturas - Médias de Temperatura

Os resultados do ensaio de resistência ao fogo em escala reduzida realizado na amostra de concreto armado medindo 1,00 x 1,00 x 0,12 m (registro 15.0066.2005) estão apresentados na Tabela 5.3-4, a seguir.

Tabela 5.3-4 – Ensaio de Resistência ao Fogo em Escala Reduzida - Registro 15.0066.2005 - Data: 15/08/2005

Tempo decorrido de ensaio (min)	Principais Ocorrências	Deformação no centro da amostra (mm/m)	Desvio de temperatura interna registrado (%)	Desvio máximo permitido pela NBR 5628 (%)
5		0		
10		0	-3,10%	±15%
15		0		
20		0		
25		1		
30		1	-6,20%	±10%
40		2		
50		3		
70		3		
90		4		
100		4		
120		5		
140		5		
160		5		
180		6		
200		6		
204	Atingiu temperatura externa média máxima (168 °C)	6	-0,80%	±5%
Informações adicionais: Massa do corpo-de-prova antes do ensaio: 288,55 kg. Temperatura ambiente no início do ensaio: 28°C				

O Gráfico 5.3-3 apresenta as médias das temperaturas no interior do forno e na face não exposta da amostra (registro 15.0066.2005).

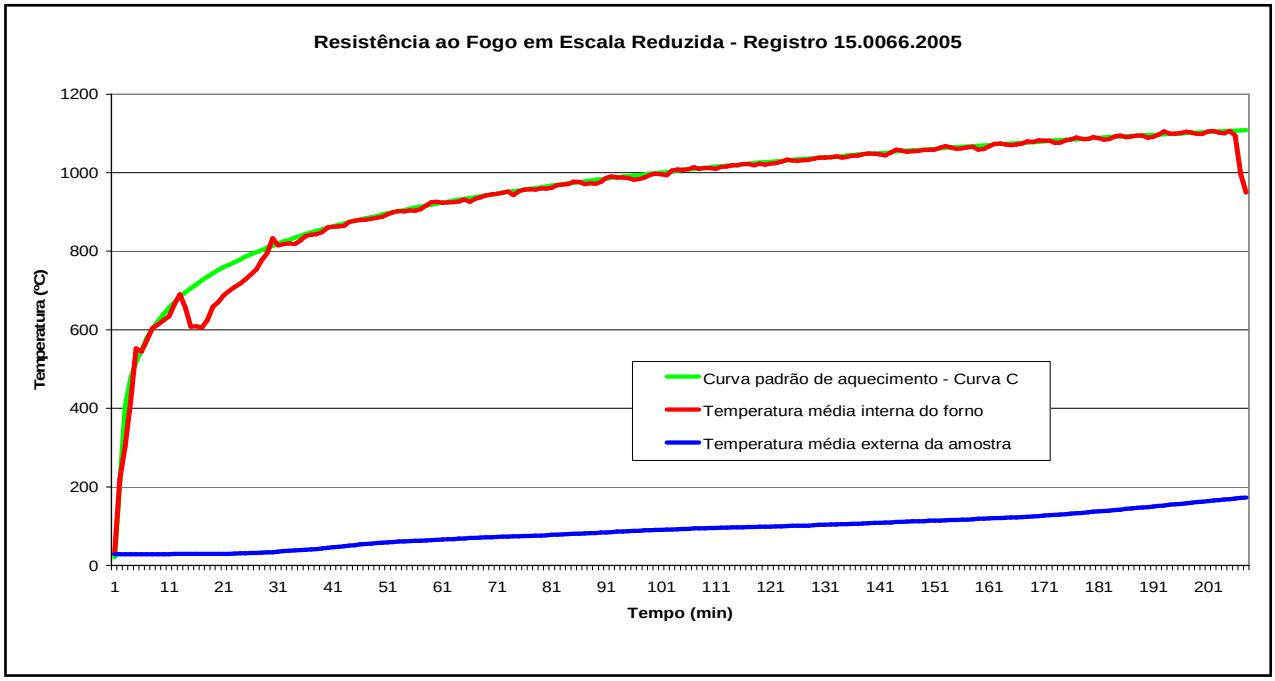


Gráfico 5.3-3 – Gráfico de evolução das temperaturas - Médias de Temperatura

O corpo-de-prova de concreto medindo 1,00 x 1,00 x 0,15 m (registro 15.0067.2005) não foi ensaiado, pois o tempo de resistência ao fogo das amostras 15.0065.2005 e 15.0066.2005 já atenderam às necessidades do cliente.

5.3.2.2. Ensaio de Resistência ao Fogo

Para determinação da resistência ao fogo do sistema construtivo em concreto estrutural foi construída uma amostra formada por duas placas de concreto medindo 2,02 x 2,95 x 0,10 m, montadas no pórtico de ensaio pelo sistema tilt-up, unidas verticalmente na região central com argamassa de cimento e areia, e vedadas com adesivo selante à base de poliuretano.

O ensaio foi realizado segundo a norma NBR 5628/2001, que determina a exposição do corpo-de-prova, sob carregamento típico, a um programa padronizado de elevação de temperatura, verificando-se três requisitos: resistência mecânica e deformações, isolamento térmico e estanqueidade a gases quentes e chamas.

Para realização do ensaio, foi utilizado um forno vertical composto por chapas de aço isoladas com mantas de fibras cerâmicas. Este apresenta uma câmara de combustão com 90 cm de profundidade e abertura frontal de 4,0 m x 3,0 m (largura x altura) e é equipado com quatro queimadores laterais a gás GLP, capazes de proporcionar um aquecimento até cerca de 1.300 °C (Foto 5.3-6).

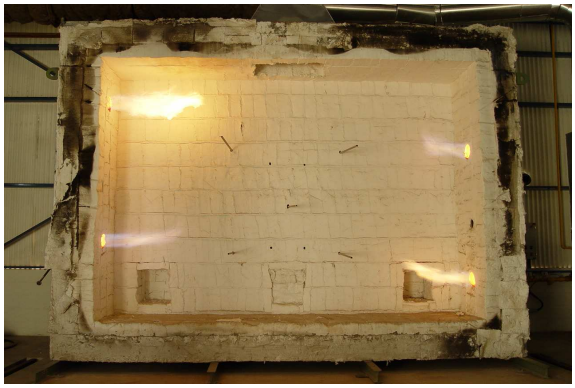


Foto 5.3-6 – Forno vertical

Para medição da temperatura interna do forno e externa da amostra ensaiada foram utilizados termopares de cromel-alumel e para a aquisição dos dados foi utilizado um software específico.

A instalação da amostra foi realizada sobre pórtico metálico, com área interna de 4,13 m x 2,96 m, protegido por manta cerâmica, de modo que toda a área da amostra (4,04 m x 2,95 m) foi exposta ao fogo.

5.3.2.2.1. Condicionamento

A amostra não recebeu condicionamento especial, permanecendo protegida dentro do ambiente do laboratório desde o dia 22/12/2005 até o dia da realização do ensaio, em 06/01/2006.

5.3.2.2.2. Medidas da velocidade do ar no interior do laboratório

Para determinação da velocidade do ar no interior do laboratório foi utilizado um anemômetro do tipo ventoinha com escala de 0,0 a 25 m/s e resolução de 0,1 m/s (Foto 5.3-7).

Foto 5.3-7 – Anemômetro

5.3.2.2.3. Medidas de temperatura e pressão no interior do forno

A temperatura do forno foi medida através de 9 termopares distribuídos no interior da câmara e mantidos à distância de 10 cm da face do corpo-de-prova exposta ao fogo. Sua distribuição está esquematizada no Anexo C.

Os termopares utilizados para esse fim eram do tipo K (cromel-alumel) com isolação mineral e bainha metálica, tendo os fios condutores 0,65 mm de diâmetro.

A pressão interna foi medida em dois pontos, através de tubos de ferro galvanizado com diâmetro de ¾” conectados a dois manômetros diferenciais com resolução de 2 Pa e escala de - 20 a + 150 Pa. Os tubos foram instalados a 1/3 e 2/3 da altura do corpo-de-prova e apresentavam abertura interna em forma de T, protegidos por abas metálicas.

5.3.2.2.3. Medidas de temperatura e deformação na face não exposta ao fogo

A temperatura da face não exposta ao fogo também foi medida em 9 pontos distintos. A localização dos termopares está esquematizada no Anexo C e sua distribuição sobre a superfície da amostra pode ser visualizada na Foto 5.3-8. Os termopares utilizados para essa finalidade eram do tipo T (cobre-constantan)/24AWG, possuindo a junta de medida fixada no centro de um disco de cobre de 12 mm de diâmetro e 0,2 mm de espessura. Os discos foram cobertos com pastilhas de amianto secas em estufa a 105ºC.

Para medida das deformações, foi utilizada uma régua metálica posicionada no centro geométrico da amostra, ao lado do termopar central. A medição das deformações foi realizada por meio de um teodolito instalado no pórtico metálico de suporte (Foto 5.3-9).

Foto 5.3-8 – Termopares instalados

Foto 5.3-9 – Teodolito para medição das deformações

5.3.2.2.4. Verificação da estabilidade estrutural (carregamento vertical)

O pórtico suporte do corpo-de-prova dispõe, em sua parte inferior, de uma viga de distribuição de carga, sobre a qual foi construída a parede. Essa viga é acionada por 3 cilindros hidráulicos posicionados sobre uma viga de reação instalada no piso sob o pórtico e presa a este por meio de tirantes em aço (Foto 5.3-10).

Foi aplicada uma carga tal que o esforço atuante sobre o corpo-de-prova fosse de 1,0 MPa, conforme solicitação do cliente.

Foto 5.3-10 – Sistema de aplicação da carga

5.3.2.2.5. Resultados do Ensaio

Os resultados do ensaio de resistência ao fogo do sistema construtivo estrutural em concreto armado medindo 4,04 x 2,95 x 0,10 m (registro 15.0088.2005) estão apresentados na Tabela 5.3-5, a seguir.

Tabela 5.3-5 – Ensaio de Resistência ao Fogo em Componente Estrutural - Registro 15.0088.2005 - Data: 06/01/2006

Tempo decorrido de ensaio (min)	Principais Ocorrências	Deformação no centro da amostra (mm/m)	Desvio de temperatura interna registrado (%)	Desvio máximo permitido pela NBR 5628 (%)
5		5		
10		10	-8,60%	±15%
15	Eliminando água pelas fissuras	16		
16	Saída de vapor na junta vertical			
20		21		
25		26		
30		25	-6,60%	±10%
38	Ruído interno tipo estouro. Amostra visualmente abaulada.	---		
40		29		
50		38		
65	Segundo estouro.	49		
70		53		
80	Diminuição da quantidade de água e vapores expelidos.	59		
85	Mais estouros internos.	63		
90		69		
100		82		
115	Mais 1 estouro	97		
120		99		
125	Atingiu temperatura externa média máxima (165 °C).	101	-4,70%	±5%

Informações adicionais:
Carga vertical atuante no corpo-de-prova: 1,0 MPa
Velocidade do ar no início do ensaio: 0,0 m/s
Temperatura ambiente no início do ensaio: 25 °C

O Gráfico 5.3-4 apresenta as médias das temperaturas no interior do forno e na face não exposta da amostra (registro 15.0088.2005). As temperaturas registradas durante o ensaio estão apresentadas no Anexo C.

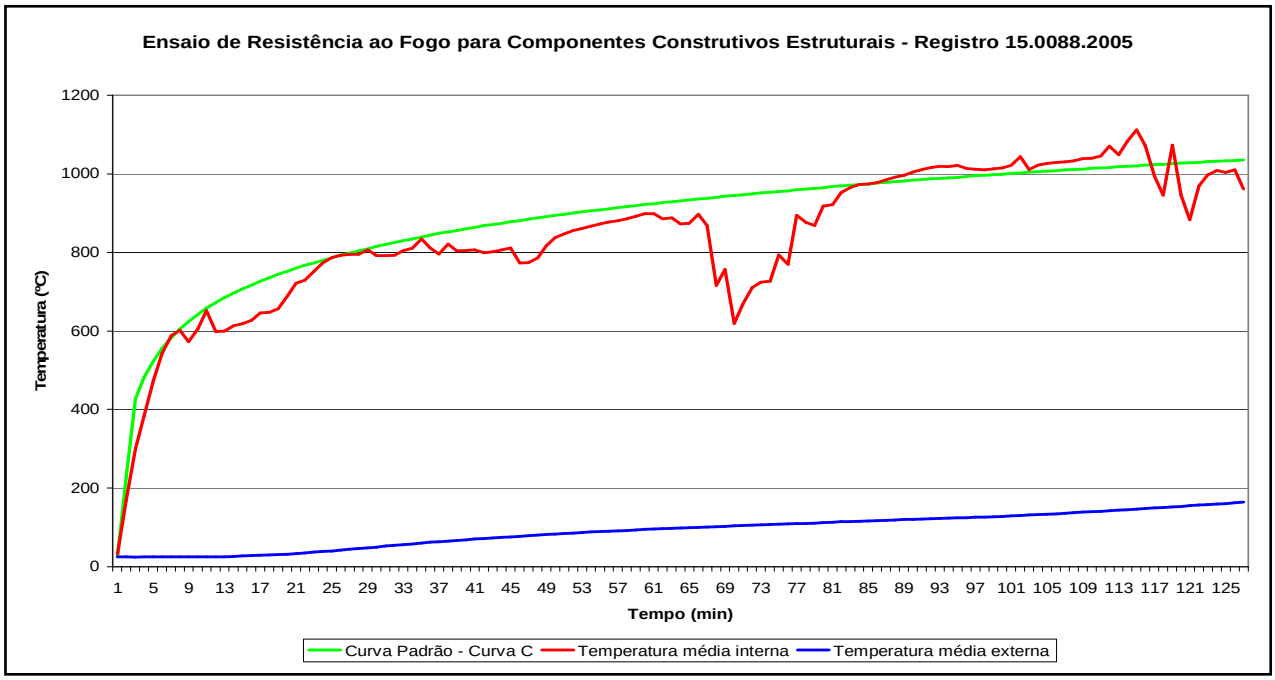


Gráfico 5.3-4 – Gráfico de evolução das temperaturas - Médias de Temperatura

A partir dos resultados apresentados pelo corpo-de-prova no ensaio para "Determinação da resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais" podemos classificá-lo como resistente ao fogo por 125 minutos. Durante esse tempo, o corpo-de-prova manteve as qualidades de resistência mecânica e de estanqueidade a chamas, atingindo a temperatura limite de 140 ºC + T_0, na média dos 9 pontos da face não exposta, decorridos 125 minutos do início do ensaio, não apresentando qualquer tipo de ocorrência quando da reaplicação do carregamento, 24 h após o término do aquecimento.

5.3.3. Durabilidade

O ensaio para verificação do comportamento de paredes expostas à ação do calor e choque térmico foi realizado conforme diretrizes gerais da publicação "Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social", do IPT.

O ensaio consiste no aquecimento do corpo-de-prova, através de um painel radiante, até que se atinja a temperatura de 80 ± 3 °C em toda sua superfície, sendo mantida constante durante uma hora. Após esse período, é feito o resfriamento da parede, através da aspersão de água, até que seja atingida a temperatura superficial de 20 ± 3 °C na amostra. Na face oposta à de aquecimento/resfriamento, é instalado um sistema para medida do deslocamento horizontal da parede, em seu ponto central.

São realizados 10 (dez) ciclos de aquecimento e resfriamento, sendo registradas a ocorrência de fissuras, trincas, descolamentos e outras deteriorações em ambas as faces do corpo-de-prova, além da medida do deslocamento horizontal após 45 minutos de estabilização da temperatura de 80 ± 3 °C e imediatamente após o resfriamento.

A parede de concreto utilizada como corpo-de-prova para este ensaio possuía dimensões totais de 1,00 x 1,20 x 0,10 m, sendo formada por duas placas pré-moldadas de 0,50 x 1,20 x 0,10 m, montadas no pórtico de ensaio pelo sistema tilt-up, unidas verticalmente na região central com adesivo selante à base de poliuretano.

Os resultados do ensaio para verificação do comportamento de paredes expostas à ação de calor e choque térmico, realizados na parede de concreto armado de 1,00 x 1,20 x 0,10 m (registro 15.0015.2006), Fotos 5.3-11 e 5.3-12, estão apresentados na Tabela 5.3-6.

Foto 5.3-11 – Aquecimento do corpo-de-prova

Foto 5.3-12 – Resfriamento com aspersão de água

Tabela 5.3-6 – Verificação do comportamento de paredes sob ação de calor e choque térmico - Registro 15.0015.2006

Ciclo	Data	Deslocamento horizontal (mm)		Observações	Critérios de Desempenho
1°	26/04/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	As paredes externas, incluindo seus revestimentos, submetidas a dez ciclos sucessivos de exposição ao calor e resfriamento por meio de jato de água, não devem apresentar: - ocorrência de falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloração e outros danos; - deslocamento horizontal instantâneo (flecha), no plano perpendicular ao corpo-de-prova, superior a h/300, onde h é a altura do corpo-de-prova. Neste ensaio temos: - h = 1200 mm - h/300 = 4,0 mm
		45 min após estabilização	0,230		
		60 min após estabilização	0,230		
		Após resfriamento	-0,206		
2°	28/04/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,243		
		60 min após estabilização	0,243		
		Após resfriamento	-0,373		
3°	02/05/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,247		
		60 min após estabilização	0,247		
		Após resfriamento	-0,378		
4°	03/05/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,194		
		60 min após estabilização	0,194		
		Após resfriamento	-0,423		
5°	04/05/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,274		
		60 min após estabilização	0,274		
		Após resfriamento	0,302		
6°	05/05/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,228		
		60 min após estabilização	0,228		
		Após resfriamento	-0,430		
7°	08/05/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,217		
		60 min após estabilização	0,217		
		Após resfriamento	-0,270		
8°	09/05/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,248		
		60 min após estabilização	0,248		
		Após resfriamento	-0,431		
9°	10/05/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,240		
		60 min após estabilização	0,240		
		Após resfriamento	-0,400		
10°	11/05/2006	Leitura inicial	0,000	Nenhuma ocorrência	
		45 min após estabilização	0,274		
		60 min após estabilização	0,274		
		Após resfriamento	-0,287		

6. NORMAS E DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

NBR 5628/2001 – “Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo”;

NBR 6118/2003 – “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento”;

NBR 8051/1983 – “Porta de madeira de edificação - Verificação da resistência a impactos da folha”;

NBR 8054/1983 – “Porta de madeira de edificação - Verificação do comportamento da folha submetida a manobras anormais”;

NBR 11675/1990 – “Divisórias leves internas moduladas - Verificação da resistência a impactos”;

NBR 11678/1990 – “Divisórias leves internas moduladas - Verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas”;

NBR 10151/2000 – “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento”;

NBR 10152/1987 – “Níveis de ruído para conforto acústico”;

NBR 12655/2006 – “Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento”;

NBR 15220-1/2005 – “Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades”;

NBR 15220-2/2005 – “Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações”;

NBR 15220-3/2005 – “Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social”;

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – “Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social”, Texto para discussão, São Paulo/SP, 1998;

Procedimento FURNAS 15.072.003 – “Medição do tempo de reverberação em auditórios e salas fechadas, em geral”;

ISO 104-4/1998 – “Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms”;

ISO 104-5/1998 – “Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades”;

ISO 717-1:1996 – “Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation”;

ISO 8990/94 – “Thermal insulation - Determination of steady-state thermal transmission properties - Calibrated and guarded hot box”;

ASTM E 119/1995 – “Standard test methods for fire tests of building construction and materials”;

ABNT - Projeto de Norma 02:136.01.001:Jul/2004 - “Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 1: Requisitos gerais”;

ABNT - Projeto de Norma 02:136.01.002:Jul/2004 - “Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 2: Estrutura”;

ABNT - Projeto de Norma 02:136.01.003:Jul/2004 - “Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 3: Pisos internos”;

ABNT - Projeto de Norma 02:136.01.004:Jul/2004 - “Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 4: Fachadas e paredes internas”;

ABNT - Projeto de Norma 02:136.01.007:Jul/2004 - “Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 5: Coberturas”.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

|1| Equipe de FURNAS - Editor Walton Pacelli de Andrade - Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo - ensaios e propriedades - Editora Pini, São Paulo - SP, 1997.

|2| HABITARE - PROGRAMA DE TECNOLOGIA DE HABITAÇÃO, Habitação e Meio Ambiente: Abordagem integrada em empreendimentos de interesse social / Carlos Geraldo Luz de Freitas (coordenador) … [et al.]. - São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 2001.

|3| ZENHA, ROS MARI - Catalogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação / Ros Mari Zenha, Cláudio Vicente Mittidieri Filho, Fernando Bontorim Amato, Fulvio Vittorino. São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1998.

ANEXO A

PLANTA BAIXA E PROJETO DE FUNDAÇÃO DO PROTÓTIPO MOLDADO IN LOCO

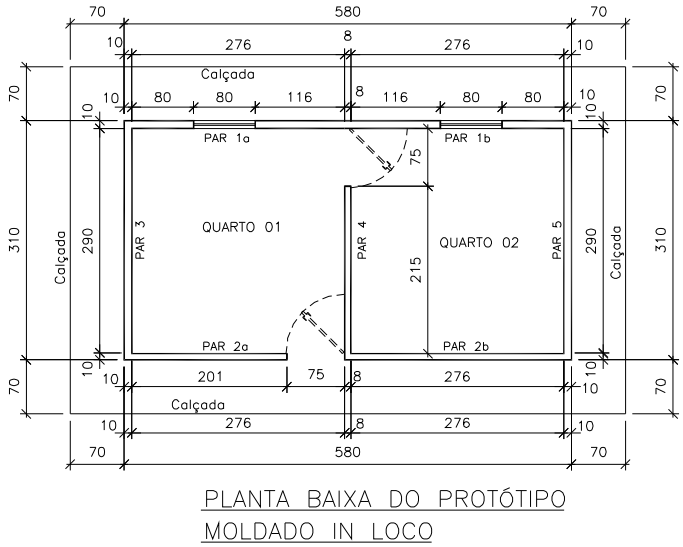


Figura A.1 – Planta baixa do protótipo em concreto moldado in loco

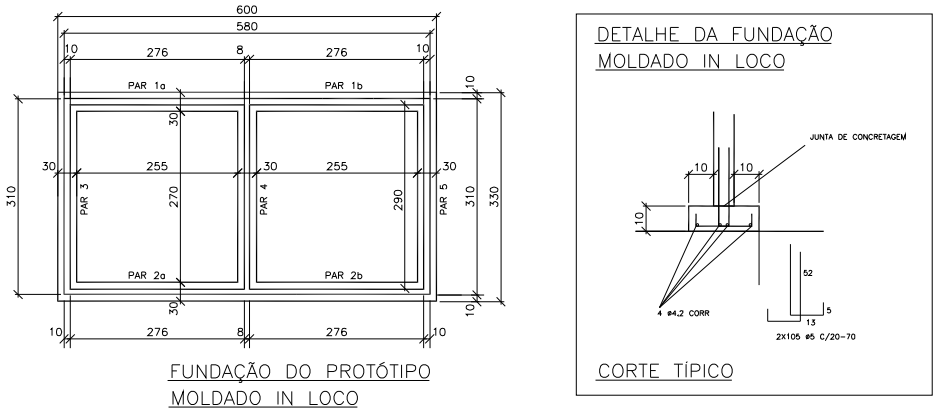


Figura A.2 – Projeto de fundação do protótipo em concreto moldado in loco

ANEXO B

PLANTA BAIXA E PROJETO DE FUNDAÇÃO DO PROTÓTIPO NO SISTEMA TILT-UP

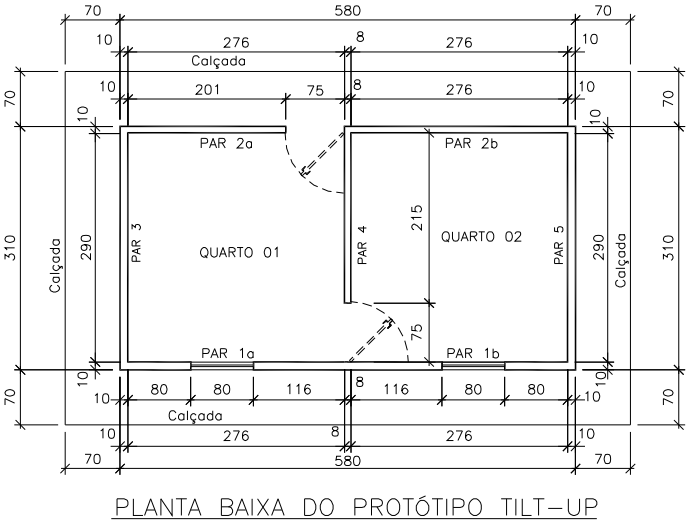


Figura B-1 – Planta baixa do protótipo no sistema tilt-up

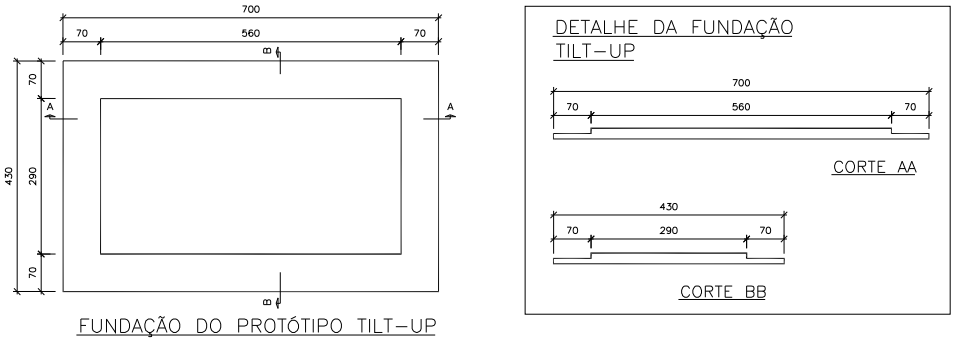


Figura B-2 – Projeto de fundação do protótipo no sistema tilt-up

ANEXO C

RESISTÊNCIA AO FOGO - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIDA E TABELA DAS TEMPERATURAS REGISTRADAS

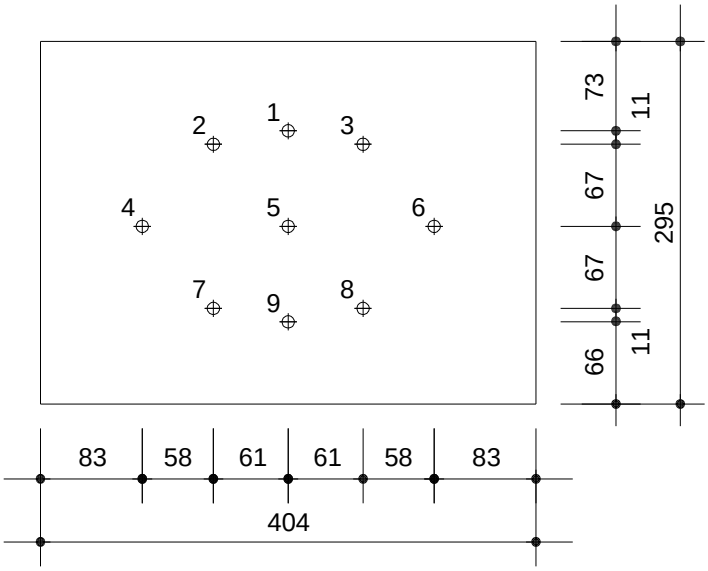


Figura C-1 – Pontos de medida de temperatura na face exposta ao fogo do corpo-de-prova (a 10 cm da face)

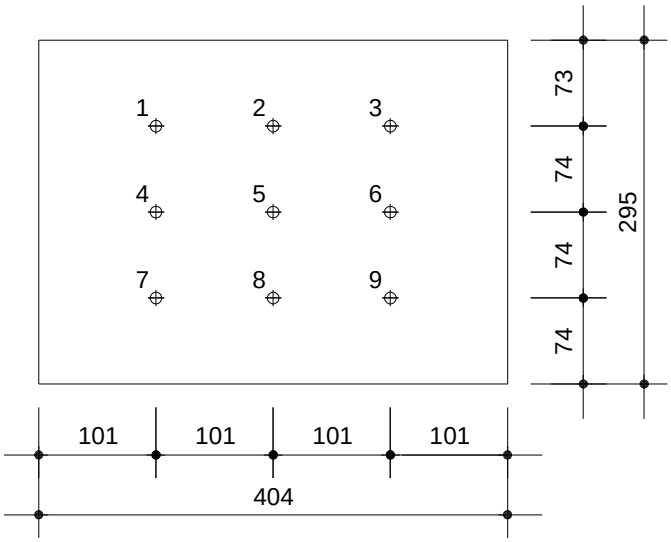


Figura C-2 – Pontos de medida de temperatura na face não exposta ao fogo do corpo-de-prova

Tabela C-1 – Temperaturas registradas na face não exposta da amostra e temperatura média do forno

Tempo (min)	Curva Padrão (T-To) (ºC)	Temp. Média do Forno (ºC)	Temperatura da face não exposta ao fogo (ºC)									
			Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 7	Pt 8	Pt 9	Média Externa
0	26	33	25	27	25	25	24	24	25	25	24	25
1	226	169	25	27	25	25	24	24	25	25	24	25
2	426	300	25	27	25	24	24	24	25	25	24	25
3	482	383	25	28	25	24	24	24	25	25	24	25
4	523	473	25	28	25	24	24	24	25	25	24	25
5	555	543	25	28	25	24	25	24	25	25	24	25
6	582	588	25	28	25	24	25	24	24	25	24	25
7	605	602	25	28	25	24	25	24	24	25	24	25
8	624	573	25	28	25	24	25	24	24	25	24	25
9	642	605	25	28	25	24	25	25	24	25	25	25
10	658	652	25	28	25	24	25	25	24	26	25	25
11	672	598	25	28	25	25	25	25	25	26	25	25
12	685	600	26	28	25	25	26	25	25	26	25	26
13	696	613	26	29	25	25	28	25	25	26	25	26
14	707	619	26	29	26	26	31	25	26	27	25	27
15	717	628	27	30	26	26	33	26	26	28	26	28
16	727	645	28	31	27	27	35	26	27	29	26	28
17	736	647	29	32	28	28	37	27	28	30	26	29
18	745	656	30	33	28	30	40	27	29	31	27	31
19	752	689	31	35	29	31	42	28	30	33	27	32
20	760	721	32	36	30	32	46	29	32	35	28	33
21	767	730	34	38	32	34	48	30	33	37	29	35
22	773	752	37	39	33	36	50	31	35	39	30	37
23	780	772	40	41	34	38	51	32	38	42	31	39
24	786	787	42	42	36	40	53	33	39	44	32	40
25	793	792	45	44	38	43	56	34	41	46	33	42
26	798	795	47	46	40	45	58	36	44	49	34	44
27	804	795	50	47	41	48	60	37	45	51	35	46
28	809	806	52	49	44	50	61	39	47	53	37	48
29	815	791	54	51	46	52	63	40	49	56	38	50
30	820	791	56	53	49	55	63	42	51	58	40	52
31	825	792	58	54	50	57	64	45	53	61	41	54
32	830	805	60	56	53	59	67	47	55	63	43	56
33	834	811	62	58	54	61	71	49	57	65	45	58
34	839	834	64	59	56	63	75	51	59	67	47	60
35	844	812	65	61	58	65	76	53	61	70	50	62
36	848	796	67	62	60	67	76	55	62	72	51	64
37	852	822	69	64	62	68	77	57	64	74	53	65
38	856	804	70	65	64	70	77	59	65	76	55	67
39	860	805	71	67	66	72	77	60	67	79	57	68
40	864	806	72	69	67	73	78	62	68	81	59	70
41	868	799	74	71	69	75	78	63	69	83	61	71
42	871	802	75	72	70	78	78	64	70	85	63	73
43	874	806	76	74	72	80	79	66	73	87	65	75
44	878	812	77	75	73	82	79	67	74	89	66	76
45	881	773	79	77	75	83	79	68	76	91	68	77

Tabela C-1 – Temperaturas registradas na face não exposta da amostra e temperatura média do forno (cont.)

Tempo (min)	Curva Padrão (T-To) (ºC)	Temp. Média do Forno (ºC)	Temperatura da face não exposta ao fogo (ºC)									
			Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 7	Pt 8	Pt 9	Média Externa
46	884	773	80	78	77	85	79	69	78	92	70	79
47	888	786	82	80	78	87	80	70	79	94	72	80
48	891	817	83	81	81	89	80	72	81	95	73	82
49	894	837	84	83	82	90	82	73	82	95	75	83
50	897	848	86	83	83	92	82	76	83	97	77	84
51	900	856	87	84	85	94	81	77	85	98	78	85
52	903	861	89	85	86	95	81	78	86	101	80	87
53	906	866	91	86	87	97	81	80	88	102	82	88
54	908	873	92	87	89	98	81	81	90	103	84	89
55	911	877	92	88	90	99	82	83	91	104	86	91
56	914	880	93	89	91	99	82	84	92	105	86	91
57	916	885	95	89	93	101	82	85	94	106	85	92
58	919	892	97	90	94	102	82	87	95	107	86	93
59	922	899	98	90	95	103	82	88	96	108	88	94
60	924	899	100	91	96	103	83	89	98	108	90	95
61	927	885	100	93	97	104	83	91	99	110	92	97
62	929	888	101	93	98	105	83	92	100	110	94	97
63	931	873	102	94	99	106	83	93	100	111	96	98
64	933	873	103	94	101	106	83	94	101	112	98	99
65	936	897	104	95	102	107	84	95	102	113	100	100
66	938	869	106	96	103	108	84	97	103	114	101	101
67	940	716	106	96	104	108	85	97	104	115	103	102
68	943	756	107	97	105	109	85	98	105	116	104	103
69	945	620	108	98	106	110	85	99	106	118	105	104
70	947	669	109	98	107	110	85	100	107	118	105	104
71	949	710	110	99	108	111	85	101	108	119	107	105
72	951	724	111	100	108	112	85	102	109	120	108	106
73	953	727	112	101	109	113	85	103	110	121	109	107
74	955	794	113	102	110	114	85	104	111	122	110	108
75	957	770	114	102	111	115	86	105	112	123	111	109
76	959	894	114	103	112	116	86	106	114	124	111	110
77	961	877	115	104	112	116	86	107	115	125	112	110
78	963	868	116	105	113	117	87	108	117	126	113	111
79	965	918	116	106	114	118	87	109	118	127	114	112
80	967	921	117	107	115	119	87	110	120	128	115	113
81	969	952	118	109	116	120	88	110	121	129	116	114
82	971	966	118	110	116	120	88	111	124	130	116	115
83	973	973	119	111	117	121	88	112	125	131	117	116
84	974	974	119	112	118	122	89	113	127	132	118	117
85	976	977	120	112	119	123	89	113	129	133	119	117
86	978	984	121	113	119	123	89	114	130	134	120	118
87	980	991	121	114	120	124	90	114	131	135	120	119
88	982	996	122	115	121	125	90	115	132	136	121	120
89	984	1005	122	116	121	126	90	115	133	137	122	120
90	985	1010	123	117	122	127	91	116	134	138	123	121
91	987	1016	124	118	123	127	91	116	134	139	123	122

Tabela C-1 – Temperaturas registradas na face não exposta da amostra e temperatura média do forno (cont.)

Tempo (min)	Curva Padrão (T-To) (ºC)	Temp. Média do Forno (ºC)	Temperatura da face não exposta ao fogo (ºC)									
			Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 7	Pt 8	Pt 9	Média Externa
92	988	1018	124	119	123	128	91	117	135	140	124	122
93	990	1018	125	121	125	129	92	117	136	141	125	123
94	991	1021	126	121	126	130	92	117	137	142	126	124
95	993	1014	126	123	127	131	92	118	137	143	126	125
96	995	1012	127	124	128	132	93	119	138	145	127	126
97	996	1010	128	125	128	132	93	119	139	146	128	126
98	998	1013	129	126	129	133	94	120	139	148	129	127
99	999	1015	130	127	130	134	94	121	140	149	130	128
100	1001	1022	131	128	131	136	95	122	140	150	130	129
101	1002	1043	132	129	132	137	96	123	141	151	131	130
102	1004	1011	133	130	133	138	97	123	142	153	132	131
103	1005	1022	134	131	134	139	99	124	142	154	133	132
104	1007	1026	134	132	135	140	101	125	143	155	133	133
105	1008	1029	136	133	136	141	104	125	144	157	134	134
106	1010	1030	137	134	137	142	107	126	145	159	135	136
107	1011	1034	139	135	138	144	109	127	146	160	136	137
108	1012	1039	140	136	140	145	112	128	146	162	137	138
109	1014	1039	141	137	141	146	115	129	147	164	138	140
110	1015	1045	142	138	142	148	117	129	148	166	138	141
111	1016	1070	143	139	143	149	120	130	149	168	139	142
112	1018	1049	144	140	144	152	123	131	151	170	140	144
113	1019	1083	146	141	145	153	125	132	152	172	141	145
114	1020	1111	147	142	146	154	127	133	152	174	141	146
115	1022	1072	148	143	147	156	130	134	154	177	142	148
116	1023	994	149	145	148	158	132	135	155	179	143	149
117	1024	945	150	146	150	159	134	135	156	181	143	150
118	1026	1073	152	148	151	161	136	137	158	182	144	152
119	1027	946	153	149	152	163	138	137	159	182	145	153
120	1028	883	154	150	153	165	140	138	160	187	145	155
121	1029	969	156	152	154	167	142	139	162	190	146	156
122	1031	997	157	153	155	169	144	140	163	192	147	158
123	1032	1009	159	155	156	171	145	141	164	194	148	159
124	1033	1004	160	157	158	174	147	142	166	196	148	161
125	1034	1010	162	159	159	176	149	144	167	198	149	163
126	1035	961	164	161	160	178	150	145	169	201	150	164

Goiânia, 17 de abril de 2008.

Rogério Gama Peres
Engenheiro do Laboratório de Solos

Emídio Neto de Souza Lira, *M.Sc.*
Laboratório de Solos

Rubens Machado Bittencourt
Departamento de Apoio e Controle Técnico

Participaram deste trabalho:

- Simone Maria de Oliveira - Arquiteta
- Lúcio Sant'Ana Zimbres - Técnico