

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS  
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CONCEIÇÃO DE MARIA PINHEIRO CORREIA

**CONFORTO TERMO – ACÚSTICO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO CUSTO**

São Carlos

2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CONCEIÇÃO DE MARIA PINHEIRO CORREIA

**CONFORTO TERMO – ACÚSTICO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO CUSTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Orientador: Professor Dr. Milton Ferreira de Souza

São Carlos

2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca e Informação IFSC/USP

Correia, Conceição de Maria Pinheiro.

Conforto termo – acústico de uma habitação de baixo custo /  
Conceição de Maria Pinheiro Correia; orientador Milton Ferreira de  
Souza -- São Carlos, 2009.

93 p.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação  
Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais. Área de  
Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de  
Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de  
Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da  
Universidade de São Paulo.

1. Novogesso. 2. Condutividade térmica. 3. Conforto termo-  
acústico. 4. Compósito. 5. Habitação experimental. I. Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho*

*À minha família, que sempre me motivou crescer*

*Aos meus filhos, pelo amor e pela paciência*

*Ao meu querido amigo Evandro por tudo....*

*Ao meu orientador pelo aprendizado e paciência*

## **AGRADECIMENTOS**

*A DEUS, acima de tudo*

*Ao Professor Milton, pela incontestável paciência, disponibilidade,  
por seu empenho e pelo exemplo de profissionalismo*

*Aos colegas de laboratório Vinícius, Heberth, Rejane,  
Márcio, Wellington, Pedro e Wagner, pelas contribuições constantes.*

*À Professora e Amiga Ângela Giampetro, pelo aprendizado e amizade*

*Aos amigos que dentro e fora da Universidade me apoiaram*

*Aos membros da banca de qualificação, pelas contribuições*

*Ao CNPQ pela concessão da Bolsa*

*“O Princípio da sabedoria é:  
Adquire a sabedoria;  
Sim, com tudo que possuis,  
Adquire o entendimento.  
Estima-a, e ela te exaltará;  
Se a abraçares, ela te honrará;  
Dará à tua cabeça um diadema de graça  
E uma coroa de glória te entregará.”*

*Provérbios 4*



## RESUMO

A utilização de novas tecnologias associada a novos materiais é uma contribuição para a indústria da construção civil diminuir o déficit habitacional e reduzir os impactos ambientais gerados pelas técnicas construtivas tradicionais. Esses novos materiais estão entre as alternativas para enfrentar a atual escassez de materiais para construção, que tem pressionado os índices de preços da construção civil em nosso país. O novogesso está entre as novas tecnologias que disputarão espaço nesse vasto mercado, em função do que oferece. A contribuição desse trabalho está centrada no estudo da condutividade térmica desse novo material e no compósito novogesso – celulose, obtido a partir do gesso, produzido através de tecnologia originalmente desenvolvida no LCM / IFSC / USP. O gesso é um material com grande abundância em nosso país: jazidas minerais no Norte e Nordeste e de fosfogesso estocadas no centro-sul. O processo inovador utilizado para preparação de peças do novogesso para componentes construtivos, consiste em empregar a menor quantidade de água necessária para a hidratação do gesso, o que corresponde a cerca de 20% da massa do hemihidrato. O pó umedecido é submetido à compactação por compressão uniaxial que por sua vez resulta em peças com propriedades mecânicas elevadas. O conhecimento da condutividade térmica desse material foi de grande importância para a avaliação do seu desempenho na construção da habitação experimental. A condutividade térmica foi medida pelo método do fio quente. Estudamos placas do novo material, tendo como variáveis o nível de compactação e o teor de fibras de celulose. A baixa condutividade térmica dessas placas influenciou o comportamento térmico dos

ambientes da habitação experimental, montada por um sistema construtivo inovador. Outro aspecto avaliado foi o comportamento acústico dos ambientes da habitação experimental, que de acordo com os materiais empregados se mostrou bastante adequado. Portanto, podemos concluir pela viabilidade da construção da habitação experimental tanto do ponto de vista dos materiais empregados quanto do conforto termo-acústico e do seu baixo custo.

Palavras-chave: Novogesso., Condutividade térmica. Conforto termo-acústico.

Compósito. Habitação experimental.

## ABSTRACT

The use of new technologies associated with new materials is a contribution to the building industry, decreasing the housing deficit and reducing the environmental impacts generated by traditional design techniques. These new materials are alternatives to the current shortage of materials for construction, which has raised the prices of construction in our country. The 'novogesso' is among the new technologies that will be included in the vast market in function of the offers. In this context, the present thesis focuses on the study of the thermal conductivity of this new material and the 'novogesso' – cellulose composite obtained from gypsum and produced using a technology originally developed in LCM / IFSC / USP. Gypsum is an abundant material in our country, as there are mineral deposits in the North and Northeast and phosphogypsum stored in the center-south. The innovative process used for the preparation of parts of 'novogesso' for building components is the employment of the smallest amount of water needed for the hydration of plaster, which represents approximately 20% of the hemihydrate's weight. The moistened powder is subjected to compaction by uniaxial compression, which results in parts with high mechanical properties. The Knowledge of the thermal conductivity of this material was of great importance for the assessment of its performance in the construction of an experimental prototype of housing. Its thermal conductivity was measured by hot wire technique. Plates of this new material were studied, considering the level of compaction and the content of cellulose fibers. The low thermal conductivity of the plates influences the thermal behavior of the environments of the experimental house built by an innovative constructive system. Another aspect

evaluated was the acoustic behavior of the experimental environments of the house, which, according to the material used, was quite appropriate. It was possible to conclude that the experimental house is feasible for construction taking into account the materials used in its thermo-acoustic comfort and low-cost.

Keywords: Novogesso. Thermal conductivity. Thermo - acoustic comfort.

Composite. Experimental house.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Casa experimental construída com placas do Novogesso	24
Figura 2.	Esquema de medida para o método do fio quente	28
Figura 3.	Condução unidirecional em paredes planas	30
Figura 4.	Vários níveis de ruídos em decibéis	38
Figura 5.	Instrumentação usada para medição da condutividade térmica pelo método do fio quente.	46
Figura 6.	Amostras das placas do novogesso usadas para medir a condutividade térmica: a) Placa por onde passa o fio quente e o termopar, destaque para essa região. b) Montagem das placas.	48
Figura 7.	Caixa térmica usada para manter constante a temperatura do ambiente de medida das amostras	49
Figura 8.	Planta baixa da casa experimental de placas do novogesso	50
Figura 9.	Detalhe da fundação tipo radier e início da colocação dos perfis metálicos para compor estrutura da parede	52
Figura 10.	Detalhe da estrutura portante das paredes, “Light Steel Frame”	53
Figura 11.	Detalhe do fechamento das paredes com placas do novogesso, parafusadas em barrotes de madeira e nos perfis da estrutura metálica “Light Steel Frame”	53
Figura 12.	Detalhe da posição das mantas isolantes termo - acústicas	

e das instalações elétricas nos espaços vazios entre as placas do novogesso	54
Figura 13. Detalhe da cobertura; Detalhe das telhas “Shingle”.	55
Figura 14. Detalhe do acabamento das paredes da sala de estar e cozinha ao fundo	57
Figura 15. Detalhe do acabamento das paredes do banheiro	57
Figura 16. Detalhe das paredes e do forro do novogesso em um dos dormitórios	58
Figura 17. Detalhe das paredes sem acabamento do quarto 02	59
Figura 18. Monitoramento da temperatura da sala de estar, com destaque para o ponto de leitura do termopar	62
Figura 19. Monitoramento da temperatura acima da cobertura, com destaque para o ponto de fixação do termopar	62
Figura 20. Pontos de emissão e recepção do som, locados na planta baixa	64
Figura 21. Instrumental utilizado para realização das medidas acústicas: a) decibelímetro digital, b) calibrador, c) gerador de função digital, d) subwoofer e alto-falantes, e) tubo para direcionamento do som	65
Figura 22. Curva teórica e real e a dependência da temperatura com o log do tempo	68
Figura 23. Comportamento da condutividade térmica das placas do novogesso sem adição de celulose. Densidade ( $\rho$ ) =1,90 g/cm <sup>3</sup>	69
Figura 24. Comportamento da condutividade térmica das placas do	

novogesso com adição de celulose. Densidade ( $\rho$ ) = 1,62 g/cm <sup>3</sup>	70
Figura 25. Dependência da temperatura com o tempo durante as medidas da condutividade térmica dos compósitos novogesso – celulose	71
Figura 26. Comportamento da condutividade térmica do novogesso com 5% de celulose	72
Figura 27. Comportamento da condutividade térmica do novogesso com 10% de celulose	72
Figura 28. Comportamento da condutividade térmica do novogesso com 20% de celulose	73
Figura 29. Comportamento da condutividade térmica do novogesso com 30% de celulose	73
Figura 30. Temperatura da parede da sala de estar	76
Figura 31. Temperatura da parte inferior do teto da sala de estar	76
Figura 32. Temperatura ambiente da sala de estar	77
Figura 33. Temperatura ambiente do quarto 1	77
Figura 34. Temperatura da parede do quarto 1	78
Figura 35. Temperatura ambiente do quarto 2	78
Figura 36. Temperatura da parede do quarto 2	79
Figura 37. Temperatura ambiente da cozinha	79
Figura 38. Temperatura da parede da cozinha	80
Figura 39. Temperatura acima da cobertura (próximo ao telhado)	80
Figura 40. Temperatura ambiente ao ar livre	81
Figura 41. Comparação entre a temperatura interna e externa (acima	

	do teto) da habitação experimental (27/02/07)	81
Figura 42.	Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (05/03/07)	82
Figura 43.	Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (06/03/07)	82
Figura 44.	Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (07/03/07)	83
Figura 45.	Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (08/03/07)	83
Figura 46.	Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (19/03/07)	84
Figura 47.	Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (20/03/07)	84
Figura 48.	Nível sonoro em função da frequência: parede do quarto com revestimento	86
Figura 49.	Nível sonoro em função da frequência: parede do quarto sem revestimento	86



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Consumo energético de diversos materiais de construção	22
Tabela 2 -	Condutividade térmica (K) de alguns materiais de construção	35
Tabela 3 -	Níveis de ruídos máximos permitidos para cada ambiente	37
Tabela 4 -	Composição dos constituintes químicos da madeira	43
Tabela 5 -	Dependência da densidade e resistência mecânica com a pressão de compactação (60s) do novogesso sem adição de celulose (7.0 x 3.0 x 1.3) cm <sup>3</sup> . Para cada pressão de compactação 10 amostras foram preparadas e medidas	69
Tabela 6 -	Condutividade térmica e densidade do compósito novogesso - celulose	70
Tabela 7-	Valores da condutividade térmica das mantas de fibras de tecido	74
Tabela 8 -	Valores da condutividade térmica das mantas de fibras de polipropileno	74
Tabela 9 -	Temperaturas médias mensais dos ambientes da habitação experimental – Janeiro a junho,2006/ 2007	75
Tabela10 -	Temperaturas médias mensais dos ambientes da habitação experimental – julho a dezembro, 2006/ 2007	75
Tabela11 -	Nível sonoro absorvido (NS) e Fração absorvida da parede com revestimento localizada entre quarto 1 e sala com paredes de placas do novogesso e manta isolante termo – acústica entre as placas	87
Tabela12 -	Nível sonoro absorvido (NS) e Fração absorvida na parede sem revestimento localizada entre quarto e sala com paredes de placas do novogesso e manta isolante termo – acústica entre as placas	87

## **SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

IFSC - Instituto de Física de São Carlos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LCM - Laboratório de Ciências dos Materiais

NBR - Norma Regulamentadora Brasileira

WHO - World Health Organization

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	19
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	19
1.2	MOTIVAÇÕES	21
2	<b>OBJETIVO.</b>	25
3	<b>PESQUISA BIBLIOGRÁFICA</b>	26
3.1	MÉTODO DO FIO QUENTE	26
3.2	TÉCNICA DE FIO QUENTE PARALELO	27
3.3	LEI DE FOURIER	28
3.3.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	28
3.3.2	ANÁLISE DO TRANSIENTE TÉRMICO DOS MATERIAIS	31
3.4	CONDUTIVIDADE TÉRMICA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	34
3.5	ACÚSTICA DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS	36
4	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	39
4.1	MATERIAIS	39
4.1.1	NOVOGESSO	39
4.1.2	CELULOSE	43
4.2	MÉTODOS	45
4.2.1	MÉTODO DE MEDIDA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA	45
4.2.2	CONSTRUÇÃO DA HABITAÇÃO EXPERIMENTAL DO NOVOGESSO	49
4.2.3	COLETA DE DADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS AMBIENTES	60

4.2.3.1	MEDIÇÕES IN LOCO	61
4.2.4	COLETA DE DADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DOS AMBIENTES	63
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	67
5.1	CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO NOVOGESSO	67
5.1.1	EFEITO DA PRESSÃO DE COMPACTAÇÃO NO PROCESSO DE PREPARAÇÃO DAS PEÇAS DO NOVOGESSO: RESISTÊNCIA MECÂNICA E CONDUTIVIDADE TÉRMICA	68
5.1.2	CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS PLACAS DO NOVOGESSO SEM ADIÇÃO DE CELULOSE	69
5.1.3	CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS PLACAS DO NOVOGESSO COM ADIÇÃO DE CELULOSE	70
5.1.4	CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS MANTAS ISOLANTES	74
5.2	AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA HABITAÇÃO EXPERIMENTAL	75
5.3	AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DA HABITAÇÃO EXPERIMENTAL	85
6	<b>CONCLUSÕES</b>	88
	<b>REFERÊNCIAS</b>	90

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As mudanças de ordem social e econômica em nosso país têm se refletido diretamente sobre a indústria da construção civil conduzindo ao encaminhamento de algumas soluções. O grande déficit habitacional resulta do acelerado crescimento urbano e da demanda por novas e melhores habitações. A necessidade imediata de novas moradias, uma contribuição para solução dos problemas sociais, foi detectada por órgãos como o IBGE. A qualidade da habitação tem reflexo direto sobre a qualidade de vida e no avanço cultural dos brasileiros. Estes problemas estão diretamente relacionados ao dimensionamento do estoque de habitações e das suas especificidades como: densidade excessiva, inadequação fundiária urbana, carência de serviços de infra-estrutura básica, inexistência de unidade sanitária domiciliar exclusiva etc.

A dificuldade do setor habitacional em fornecer respostas quantitativas e qualitativas a esta questão está espelhada no déficit habitacional (7,9 milhões de unidades habitacionais) e na requalificação de moradias (16 milhões) de favelas e cortiços. 83% desse déficit está concentrado em famílias com renda de até 3 salários mínimos (AGÊNCIA , 2007).

Desta forma, segundo Amorim, 1998, a moradia industrializada deveria, em sua concepção básica, ser uma alternativa capaz de oferecer uma habitação digna a

custo razoável além de oferecer segurança e qualidade de vida, entretanto isto não ocorre de forma sistemática.

A necessidade de provisão de um número cada vez maior de habitações tem gerado, por sua vez, a busca de novos sistemas construtivos que se estabelecem ao lado dos processos tradicionais, com o objetivo de reduzir custos (SANTOS, 1995). As políticas habitacionais que foram desenvolvidas estimularam a produção de forma centralizada, com a construção de grandes conjuntos habitacionais, utilizando materiais de baixa qualidade e reduzindo o espaço da moradia, entre outros graves problemas.

Considerando esta problemática e levando em conta a existência de grandes reservas minerais de gesso de alta qualidade em nosso país e de gesso de origem industrial, principalmente no sudeste, essa substância, sulfato de cálcio, foi pesquisada tanto do ponto de vista científico quanto tecnológico no Laboratório de Ciências dos Materiais do Instituto de Física de São Carlos LCM / IFSC-USP. Esse projeto de pesquisa e desenvolvimento, P&D, desenvolveu um material com alta resistência mecânica e baixa porosidade que chamamos de novogesso. Assim, tornou possível desenvolver elementos construtivos de gesso com densidade de  $1,80 \text{ g/cm}^3$  para diversas partes da habitação e resistência mecânica elevada (25,0 MPa e 70,0 MPa em flexão e compressão, respectivamente) com custo de industrialização potencialmente baixo. Neste trabalho esse material foi caracterizado e medida a sua condutividade térmica medida.

As características deste material motivaram a construção de uma habitação experimental com placas do novogesso, estruturadas em aço "Light Steel Frame", que foi avaliada quanto ao seu comportamento térmico e acústico e ao desempenho das paredes externas e internas da habitação.

## 1.2 MOTIVAÇÕES

O conforto ambiental em habitações tem sido discutido com mais intensidade nos últimos anos, dada a sua importância no conceito de qualidade global do ambiente construído, desta forma constata-se que cada vez mais pesquisadores preocupam-se com este tema (AMORIM, 1998).

Ao discutir a qualidade dos projetos institucionais de habitação popular, Labaki, 1995, afirma: “é fato reconhecido pelos profissionais que se preocupam com a habitação popular que, em geral, no Brasil a moradia para a população de baixa renda apresenta sérios problemas devido à falta de conforto térmico”. Conforto térmico como definido em ASHRAE (1993), é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico .

Trabalhos que se preocupam com o conforto ambiental nas habitações sem o uso de meios de aquecimento e resfriamento artificiais, têm se avolumado devido às restrições energéticas, que já há algum tempo são temas de discussões importantes no Brasil e no mundo. Alguns autores apontam, também, a importância da adoção de estratégias que conduzam à redução do consumo de energia na edificação e na industrialização dos produtos usados na construção civil.

A conscientização ambiental surgiu de forma generalizada na década de 90 e fez o homem começar utilizar os recursos naturais de maneira mais racional. Portanto, iniciativas voltadas à criação de construções eficientes, com foco no

consumo energético, que sejam confortáveis e que tenham maior vida útil, conduzem a novos métodos e produtos para uso na construção civil. No entanto, como afirma Oliveira (2008) tal eficiência das construções é discutível quando nada se faz para reduzir o uso indiscriminado de certos materiais constituintes, como a argila e as madeiras nobres. Assim, ao analisarmos os dados de consumo energético na manufatura ou no beneficiamento dos materiais desse vasto setor, tabela 1, observa-se o quanto o uso indiscriminado de alguns materiais e produtos, podem influenciar nessa questão. Alguns materiais causam alto impacto financeiro e ambiental, como é o caso do aço, PVC, alumínio e concreto armado.

Tabela 1. Consumo energético de diversos materiais de construção

<b>Materiais de Construção</b>	<b>Consumo Energético</b> (kwh / kg)
Gesso	0,06
Madeira Serrada	0,70
Concreto	0,30
Tijolo	0,80
Cimento	1,40
Madeira Laminada - colada	2,40
Aço	5,90
Plástico/PVC	18,00
Alumínio	52,00

(Fonte: OLIVEIRA,2008)

Fatores como a localização em relação ao movimento do sol, o projeto arquitetônico e o parcelamento do solo, o tratamento superficial e outros, também podem contribuir para obtenção do conforto do ambiente construído corroborando as idéias já discutidas.



Um ambiente agradável contribui para o aperfeiçoamento da relação familiar e para o desenvolvimento cultural da família. Considerando os enfoques acima, a localização tropical de grande parte do território nacional e o desafio posto pela arquitetura de menor impacto ambiental, porém de qualidade, foi desenvolvido um projeto de habitação experimental a partir da utilização de placas do novogesso.

O estudo do gesso, que levou a um novo processo para sua preparação, foi desenvolvido por Souza et al, 2003, no LCM/IFSC, dando origem ao novogesso e à obtenção de compósitos novogesso - fibras naturais celulósicas, este um material abundante e renovável na superfície da terra especialmente em nosso país. Dando continuidade a esse projeto de P & D foram desenvolvidos componentes do novogesso para uso em várias partes da habitação, como pisos, forros, vigas, colunas e paredes externas e internas, com custo potencialmente baixo. Por fim, uma habitação experimental foi construída, ilustrada na figura1, com finalidade de demonstrar a viabilidade do projeto em sua totalidade, com apoio do programa Habitare da FINEP, da FAPESP e da empresa Inovamat Ltda. A adoção generalizada das inovações que resultaram do desenvolvimento do 'novogesso' encontrará as dificuldades usuais que resultam da introdução de um novo material no mercado. Vencer procedimentos bem enraizados na nossa cultura, como a utilização de madeiras nobres tanto nos telhados como nas paredes e de produtos de argila é uma tarefa árdua, porém com perspectivas de sucesso, uma vez que contribuirá para a sustentabilidade e para redução da emissão de gás carbônico. Alcançar a industrialização dos produtos novogesso e o emprego da tecnologia que daí deriva, torna-se necessário, para que o novo método seja sistematizado e utilizado em habitações ambientalmente corretas, confortáveis e de baixo custo.



Figura 1. Casa experimental construída com placas do Novogesso (Fonte: Imagem cedida pela Inovamat – Inovação em Materiais Ltda. São Carlos - SP)

## 2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo o estudo da condutividade térmica do novogesso e os efeitos que daí derivam na habitação:

(a) Efeito da pressão de compactação no processo de preparação das peças do Novogesso: resistência mecânica e condutividade térmica.

(b) Influência do teor de fibras naturais celulósicas na condutividade térmica do compósito Novogesso - Celulose.

(c) Comportamento térmico, estabilidade estrutural e resistência das paredes externas e internas às intempéries da habitação experimental construída com placas do Novogesso.

(d) Avaliar o isolamento acústico das paredes, das fachadas e de partições internas da habitação experimental e sua influência no conforto do ambiente construído.

(e) Considerando que a habitação experimental é inovadora tanto na utilização do novo material quanto no processo construtivo, compara-se o comportamento térmico e acústico da habitação experimental com o das habitações convencionais brasileiras.

### 3 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MÉTODO DO FIO QUENTE

O método do fio quente é uma técnica experimental com a qual é possível medir condutividades térmicas até aproximadamente  $25\text{W/mk}$ , o que atinge a grande maioria dos produtos empregados na engenharia civil (HAGEMANN; PETERS, 1982). Considerando-se as dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios, o método empregado na medida da condutividade térmica é, também, adequado às necessidades industriais. Tal método – método do fio quente - foi empregado, pela primeira vez, na determinação da condutividade térmica de materiais cerâmicos por HAUPIN, em 1960, formando a base de todas as variantes do método.

O método do fio quente possui quatro variações técnicas: (a) padrão de fio quente (cruz de medição); (b) resistência do fio quente; (c) dois termopares; (d) fio quente paralelo, esta última, a empregada neste trabalho. A diferença básica entre as respectivas variações consiste no método de medição da temperatura (SANTOS, 1987).

### 3.2 A TÉCNICA DO FIO QUENTE PARALELO

A técnica do fio quente paralelo foi desenvolvida em conjunto, na Alemanha Ocidental e na Holanda em cooperação com a Clausthal Technical University (DAVIS, MOORE; DOWNS, 1980). É um método normalizado pela DIN 51046-Parte 2. O método é igualmente bem aplicado a amostras homogêneas, porosas ou densas, com densidades acima de  $500 \text{ Kg/m}^3$ , bem como para materiais pulverulentos, grãos e espumas inorgânicas (STAFF, 1980).

Nesta técnica, como pode ser observado na figura 2, são utilizadas duas amostras, com dimensões aproximadas de  $(230 \times 114 \times 65) \text{ mm}^3$ . No caso de materiais densos, em uma das faces de uma das amostras, são usinadas duas ranhuras paralelas para receber o fio quente e o termopar. Pela ranhura central passa o fio quente e pela outra localizada a uma distância  $r$  do fio quente passa o termopar. A profundidade desses sulcos deve corresponder aproximadamente ao diâmetro dos fios a serem inseridos nos mesmos. Após a colocação desses fios, os sulcos são preenchidos com uma massa feita com pó da mesma amostra, misturado com água. Sobre essa amostra é então colocado o segundo corpo de prova. As superfícies dessas amostras devem ser bem lisas, para proporcionar o melhor contato possível entre as mesmas. A junção de referência do termopar é mantida a uma temperatura constante.

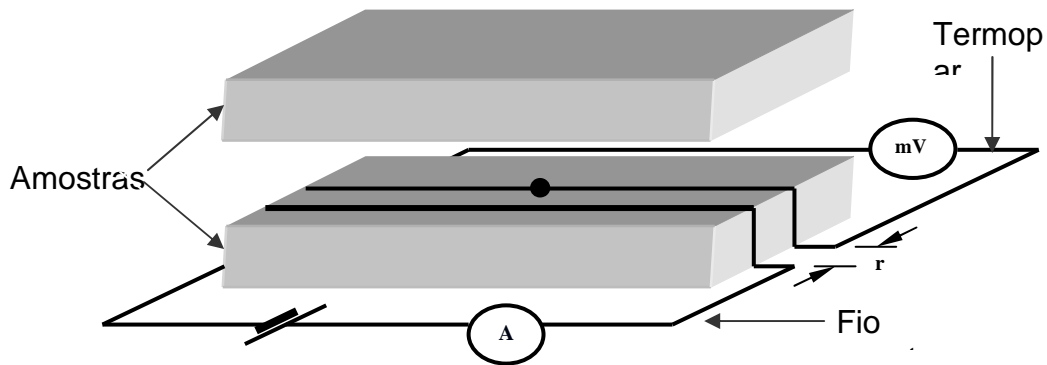


Figura 2. Esquema de medida para o método do fio quente

Para medir a condutividade térmica faz-se passar uma corrente elétrica constante através do fio, e registra-se o aumento de temperatura no ponto P a uma distância  $r$  do fio quente, a partir da temperatura inicial de equilíbrio. No caso de medidas em temperaturas superiores à ambiente, os corpos de prova e o dispositivo de medida deverão ser colocados no interior de uma estufa ou de um forno, conforme for o caso, com o objetivo de manter constante a temperatura externa.

### 3.3 LEI DE FOURIER

#### 3.3.1 Considerações gerais

Em 1822 J.J.Fourier, baseado em evidências experimentais, conseguiu traduzir, através de fórmulas e equações, a fundamentação científica da condução

do calor. Suas primeiras experiências foram realizadas utilizando-se paredes planas, submetendo diversos materiais às mesmas diferenças de temperatura e medindo o fluxo de calor (Q).

Considerando-se o fluxo como unidirecional, o seu valor é proporcional a diferença de temperatura ( $T_1 - T_2$ ) entre as faces paralelas, a área (A) e inversamente proporcional à espessura da parede (x), figura 3. Assim:

$$Q \propto A \frac{T_1 - T_2}{x} \quad (1)$$

Ao ensaiar diversos materiais sob as mesmas condições, fluxos diferentes foram encontrados, conduzindo à introdução de um coeficiente relativo ao material na equação acima, simbolizado por k, coeficiente de condutividade térmica, obtendo-se assim :

$$Q = KA \frac{T_1 - T_2}{x} \quad (2)$$

Atendendo ao caso específico de paredes planas e finas a equação apresenta a seguinte forma depois de generalizada: Chamada “Lei de Fourier” (CARSLAW, 1959).

$$dQ = -KdA \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

O coeficiente de condutividade térmica  $K$  introduzido na lei de Fourier tem grande importância nos estudos de condução de calor porque expressa a maior ou menor facilidade do material conduzir calor.

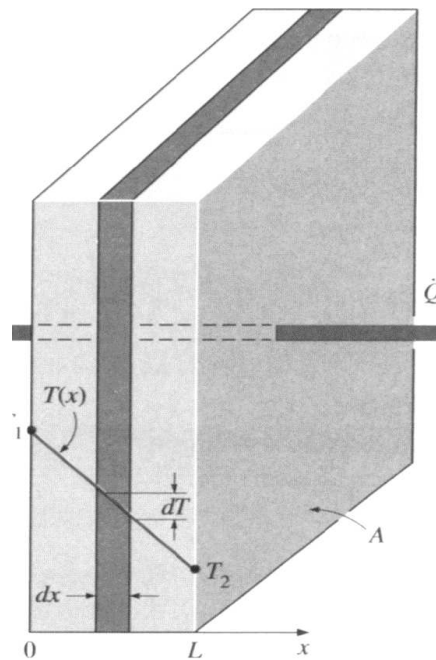


Figura 3. Condução unidirecional em paredes planas.

Um dos principais objetivos da análise da condução de calor é determinar a distribuição de temperatura, isto é, como a temperatura varia com a posição no meio. O fluxo de calor por condução (fluxo térmico condutivo) em qualquer ponto do meio ou na sua superfície pode ser determinado através da lei de Fourier. Para um sólido o conhecimento da distribuição da temperatura pode ser usado para verificar sua integridade estrutural, através da determinação das tensões térmicas, expansões e deflexões (INCROPERA, 1998). A distribuição de temperatura também pode ser usada para otimizar a espessura de um material isolante, ou mesmo para determinar a compatibilidade entre revestimentos especiais ou adesivos e a superfície sobre o qual são aplicados.



No experimento fundamental do qual a definição de condutividade é derivada, o sólido é suposto ser homogêneo. Em tal material, quando um ponto interno é aquecido, o calor espalha-se igualmente bem em todas as direções. Tal sólido é dito ser isotrópico, em oposição ao sólido cristalino e anisotrópico, nos quais certas direções são mais favoráveis para a condução de calor do que outras. Há também sólidos heterogêneos nos quais as condições de condução do calor variam com direção e localização a partir de um dado ponto (CARSLAW, 1959).

### 3.3.2 Análise do transiente térmico dos materiais

A fundamentação teórica do método parte de algumas considerações, quais sejam:

- a) Assumir o fio quente como uma fonte de calor ideal, infinitamente fina e longa;
- b) O material cuja condutividade térmica pretende-se determinar circunda até o infinito a linha geradora de calor;
- c) A liberação pelo fio de uma quantidade constante de calor por unidade de tempo e por unidade de comprimento, o que implica na necessidade de passagem de uma corrente elétrica constante através do fio.
- d) Considerar o material homogêneo e uniforme.

Estabelecidas estas condições, a condutividade térmica é então determinada a partir da medida da elevação da temperatura em um ponto  $p$  do material, a uma

distância  $r$  do fio quente. Na prática a fonte teórica é aproximada por uma resistência elétrica fina e o sólido infinito é substituído por uma amostra finita.

Considerando-se o material isotrópico, a condutividade térmica é a mesma em qualquer direção. O aumento de temperatura  $T$ , no instante  $t$ , na origem do sistema de coordenadas num sólido infinito, devido a uma quantidade de calor  $q$  que é instantaneamente gerada no tempo  $t = 0$ , no ponto  $(x,y,z)$ , é dada pela equação (CARSLAW, 1959):

$$T = - \frac{q}{8\rho c(\pi\alpha t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + z^2}{4\alpha t}\right), \quad (4)$$

onde:

$$\alpha = \text{difusividade térmica do material, que é dada por, } \alpha = \frac{K}{\rho c}, \quad (5)$$

onde:

$K$  = condutividade térmica (W /m K)

$\rho$  = densidade do material (Kg/ m<sup>3</sup>)

$c$  = calor específico do material (J /Kg K)

O aumento de temperatura na origem causado por uma quantidade de calor  $Q'dz$  que passe pelo ponto  $(x,y,0)$  é obtido substituindo  $q$  por  $Q'dz$  e integrando a equação (4) com relação à  $z$  (CARSLAW, 1959):

$$T = \frac{Q'}{4(\pi kt)} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{4\alpha t}\right) \quad (6)$$

Concluindo, o aumento de temperatura, na origem, resultante de uma fonte linear, que gera a partir do instante  $t = 0$ , uma quantidade de calor  $Qdt$  em todos os pontos da mesma linha, é dado substituindo  $Q'$  na equação (6) por  $Qdt$  e integrando com relação a  $t$ , obtendo-se:

$$T = \frac{Q}{4(\pi k)} \int_{r^2/4\alpha t}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (7)$$

$$T = \frac{Q}{4(\pi k)} \left[ -E_i \left( -\frac{r^2}{4\alpha t} \right) \right] \quad (8)$$

onde:  $r^2 = x^2 + y^2$ .

A Função  $-E_i(-x)$  é chamada função exponencial integral, e é definida por:

$$-E_i(-x) = \int_x^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt \quad (9)$$

Finalmente para a técnica do fio quente paralelo o coeficiente de condutividade térmica ( $K$ ) é calculado por:

$$K = -\frac{q'}{4\pi T} E_i \left[ \frac{(-\rho c r^2)}{4Kt} \right] \quad (10)$$

onde:

$K$  = condutividade térmica (W /m K)

$q'$  = densidade linear de potência (W /m)

$T$  = excesso de temperatura em relação à temperatura inicial de referência (K)

$\rho$  = densidade do material (Kg/ m<sup>3</sup>)

$c$  = calor específico do material (J /Kg K)

$r$  = distância radial a partir do fio quente (m)

$t$  = tempo, contado a partir do início da liberação de calor (s)

$E_i$  = função exponencial integral.

O procedimento de cálculo da condutividade térmica, proposto por Santos (1987), leva em consideração a informação contida em toda curva registrada experimentalmente, determinando simultaneamente a partir do mesmo transiente térmico a condutividade térmica e o calor específico do material, fazendo-se uma análise do transiente térmico por regressão não linear. Este procedimento consiste em ajustar pelo método dos mínimos quadrados as propriedades medidas, de modo a se obter a melhor aproximação possível do transiente térmico obtido experimentalmente com a curva proposta pelo modelo teórico.

### 3.4 CONDUTIVIDADE TÉRMICA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Considerando a ampla variação da condutividade térmica dos materiais, devido à sua diversidade estrutural, atenção especial deve ser dada ao conhecimento das suas propriedades em geral, principalmente ao se tratar de elementos construtivos expostos.

As múltiplas fases dos materiais de construção fazem com que sua condutividade térmica deva ser expressa em relação à densidade e umidade (UCHÔA, 1989). Substâncias como o aço e o ferro fundido, que possuem densidades elevadas, são caracterizadas pelos seus baixos calores específicos. Muitos sólidos e líquidos, que são considerados meios bons para armazenamento de energia, possuem capacidades caloríficas de magnitude elevada. Ao contrário, devido as suas baixas densidades, os gases são muito pouco adequados ao armazenamento de energia térmica. A condutividade do ar é baixa,  $0,025 \text{ W /m K}$ ,

sendo considerado um isolante quando confinado e livre de movimentos convectivos (UCHÔA, 1989).

A fase sólida dos diversos materiais apresenta valores de condutividade térmica (K) entre 0,2 a 4,0 W/mK. A água tem condutividade de 0,6 W /m K, portanto entre estes valores, dependendo da quantidade e tipo de substância sólida, poros (geometria e quantidade), teor de umidade e tipo de gás no interior dos poros, determinam a grandeza da condutividade térmica (UCHÔA, 1989). A tabela 2, contém os valores típicos de K para diversos materiais de construção.

Tabela 2- Condutividade térmica (K) de alguns materiais de construção

<b>Material</b>	<b>Densidade (<math>\rho</math>) kg / m<sup>3</sup></b>	<b>Condutividade Térmica w / m k</b>
Argamassa comum	1800 a 2100	1,15
Argamassa de gesso comum	1200	0,70
Argamassa celular	600 a1000	0,40
Placas de fibrocimento	1800 a 2200	0,95
Concreto normal	2200 a 2400	1,75
Gesso projetado comum	1100 a 1300	0,50
Placa de gesso comum	750 a 1000	0,35
Lã de rocha	...20 a 200	0,045
Argila expandida	<400	0,16
Vidro comum	2700	1,10
Fibra de vidro	0.00015	0.04
Tijolo	1000 a 1300	0,70
Telhas	1300 a 1600	1,00
Granito	2300 a 2900	3,00
Marmore	>2600	2,90
Poliestireneo(styrofoam)	25 a 40	0.035
Poliuretano	30 a 40	0,030
Madeira	800 a 1000	0,29
Placas prensadas	450 a 550	0,12

(Fonte: ABNT NBR 15575-1, 2008)

### 3.5. ACÚSTICA DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS

O conforto acústico do ambiente construído é um dos aspectos mais importantes de qualquer projeto arquitetônico. A importância da acústica vem sendo considerada desde a antiguidade, por exemplo com os teatros ao ar livre dos gregos e romanos. De acordo com SOUZA (2002), a partir da revolução industrial a nossa civilização começou a sentir que poderia superar os seus limites e os da natureza. Além do progresso e da lucratividade que surgiram com novas formas de organização social, adventos como: mudanças tecnológicas, industrialização, urbanização e o aumento da população, contribuíram para o aparecimento da problemática da poluição sonora.

A poluição sonora é uma das formas de poluição ambiental que mais tem se elevado nos últimos anos, exigindo soluções quanto ao controle dos seus efeitos sobre o meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas. As alterações provocadas pela poluição química da água e do ar podem ser facilmente identificadas, já os efeitos da poluição sonora não são observados imediatamente (NORONHA, 2005).

Doenças degenerativas como a surdez, e desequilíbrios psíquicos vão se implantando ao longo do tempo de exposição. Os problemas causados por excesso de ruído como fadiga, perturbação do sono, problemas cardiovasculares, perdas auditivas, irritabilidade, estresse, alergias, distúrbios digestivos, úlceras, falta de concentração, entre outros, prejudicam a saúde e afetam o desempenho das pessoas em suas atividades cotidianas nestes ambientes. Esses graves efeitos

devido a esse tipo de poluição estão sendo amplamente estudados (HENNING, 1993 apud NORONHA, 2005;).

De acordo com Noronha (2005), níveis moderados de ruídos são os mais traiçoeiros porque seus efeitos instalam-se aos poucos. Muitos sinais passam despercebidos devido à tolerância e aparente adaptação do ser humano e, por esta razão são de difícil reversão. A Organização Mundial de Saúde (WHO 1999), coloca que a partir de 55 decibéis os efeitos da poluição sonora já aparecem, tendo como sintoma um leve estresse.

Segundo as normas da ABNT (2000), os níveis sonoros em decibéis nos períodos diurnos e noturnos são os seguintes, tabela 3:

Tabela 3 – Níveis de ruídos máximos permitidos para cada ambiente, em decibéis.

ÁREA	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

(Fonte: ABNT 2000, NRB 10.151)

O ruído é caracterizado por uma mistura de sons de diferentes freqüências e amplitudes, cujas freqüências são superpostas e tornando-se não harmônicas (ASTETE et al, 1985 e RUSSO; SANTOS, 1993). Stansfeld (1992), defini ruído como um som tão indesejável quanto desagradável capaz de causar danos. O limite da intensidade de ruídos suportáveis durante o dia é regulamentado, e não deve ultrapassar 70db.

Em qualquer ambiente, não só o ruído que vem de fora incomoda, o barulho interno também, e tem que ser levado em conta durante a sistemática de avaliação de desempenho acústico dos mesmos. A figura 4 ilustra vários níveis de ruídos referentes às atividades humanas.



Figura 4- Vários níveis de ruídos em decibéis. (Fonte: Portal de Saúde Pública)



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

#### 4.1.1 Novogesso

Fundamentado em uma base científica original desenvolvida pelo LCM-IFSC-USP, a pesquisa sobre as propriedades do gesso “novogesso” permitiu desenvolver uma nova proposta arquitetônica para construção de qualquer tipo de habitação, em especial as habitações de baixo custo cujas propriedades atendem aos critérios da sustentabilidade e do conforto térmico e acústico. Esse novo material oferece um avanço tecnológico significativo para construção de habitações tanto no Brasil quanto em outros países: processo UMIPAC para produção de componentes de gesso com alto desempenho.

Cristais de gesso, DH,  $\text{SO}_4\text{CA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  são derivados do hemihidrato de sulfato de cálcio, HH,  $\text{SO}_4 \text{CA} \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ , após a sua hidratação de acordo com a equação química,



Os cristais de gesso, DH, crescem através da dissolução do HH em água; a dissolução torna a solução supersaturada para o DH, resultando na nucleação

seguida de crescimento dos cristais de DH. Esse processo foi proposto por Le Chatelier (1883) apud SOUZA; ROSSETO; KANNO, 2003, apesar do emprego do gesso ser conhecido dos antigos egípcios. O excesso de água em relação à estequiometria faz com que se desenvolva uma grande concentração de núcleos de crescimento e, portanto, crescerá um grande número de *pequenos cristais*. Quanto maior for à percentagem de água adicionada ao HH menor será o tamanho médio dos cristais de gesso. A menor percentagem de água necessária para a hidratação total do HH é  $W / HH = 18,6\%$ , como mostra a equação acima. Portanto, para obtenção de cristais grandes é necessário diminuir o teor da água de hidratação para perto de 20%. Costumeiramente se adiciona um elevado teor de água, de 60 a 100 %, o que produz uma suspensão do HH em água com baixa viscosidade, permitindo um fácil processo de moldagem. Com esta elevada relação  $W / HH$ , o excesso de água deve ser evaporado após a reação de hidratação, transformando o gesso, após a moldagem, em corpos porosos e, portanto, fracos.

O processo de obtenção do novogesso (SOUZA ; ROSSETO ; KANNO, 2004) usa a  $W / HH$  relação próxima de 20%. A água é aspergida sobre o pó de gesso com o qual é imediatamente misturada, resultando em um pó umidificado que, logo após comprimido, é extraído do molde de aço. Em um processo como este a água líquida é enviada para os poros do hemihidrato compactado. Como a água líquida está restrita aos poros, a reação de hidratação só pode ocorrer a partir dos poros e por essa razão produz principalmente cristais de gesso grandes e perfeitos, conhecidos na literatura internacional como whiskers.

Corpos de gesso produzidos por este processo têm alta densidade e são mecanicamente resistentes. O processo pode produzir corpos mais densos e mais fortes através do ajuste da pressão de compactação e, assim podem ser obtidas peças de gesso a partir de qualquer gesso, de origem mineral ou industrial (fosfogesso). As vantagens adicionais da baixa razão  $W / HH$  decorrem da pequena quantidade de água que precisa ser evaporada e dos menores tempos de preparação dos corpos de gesso, reduzindo custos e tempo de produção, fatores essenciais para a sua industrialização. O processo usual para a fabricação industrial do produto de gesso de maior sucesso comercial, o “dry wall”, emprega gesso com altos teores de água. No interior de uma forma forrada com uma folha de papel poroso de alta resistência é derramada uma suspensão do hemihidrato, HH, que logo após é recoberta por outra folha de papel idêntica a primeira. Durante a hidratação do HH os cristais de DH aderem às duas folhas de papel que são niveladas por meio de rolos deslizantes. Para permitir alta produção, exigida por qualquer processo industrial, as placas são aquecidas através de ar quente para secagem. Desta forma o processo de secagem se revela uma operação mais onerosa.

Baseando-nos em uma pesquisa sistemática, concluímos que peças de gesso com elevada resistência podem ser preparadas se a aderência entre os cristais de gesso for obtida através da água confinada. Como a água confinada (ANGELL, 1998) tem uma pressão de vapor menor em comparação com a da água comum, a resistência do gesso mantém-se elevada, mesmo em ambientes quentes. Assim, são obtidas peças densas, mecanicamente estáveis e com grande resistência mecânica. O elevado nível das propriedades mecânicas tornou possível substituir o

cimento em algumas aplicações, como pisos e paredes externas. As principais vantagens da utilização do novogesso são:

- (a) Menor custo para a secagem do produto final: a relação entre água e HH (A/HH) é muitas vezes inferior a dos demais processos, permitindo que a secagem seja feita por ventilação sem aquecimento. Cabe ressaltar que o maior componente para o custo do gesso acartonado, dry wal, está na energia gasta em sua secagem;
- (b) Sua alta resistência mecânica permite o emprego estrutural: construção de alvenarias sem estrutura auxiliar, capaz de atender à demanda por residências com múltiplos pavimentos; e pisos elevados de baixo custo que permitem uma racionalização na inspeção das instalações prediais;
- (c) Na forma de blocos, simplifica o processo de montagem (tipo LEGO) com coordenação modular e dispensa argamassas de qualquer espécie - tanto para o assentamento, quanto para o revestimento final, dado o acabamento perfeito de suas superfícies;
- (d) Sua transformação em componentes para construção civil garante a incombustibilidade e a total reciclabilidade pela tecnologia UMIPAC, um reforço à tendência de “selos verdes” para os empreendimentos da construção residencial;
- (e) Maior conforto acústico e térmico, sem que isso represente um aumento nos custos da construção.

#### 4.1.2 Celulose

A celulose é um polímero hidrofílico produzido por plantas e algumas bactérias. Responsável pelas propriedades mecânicas de todas as plantas, vivas ou mortas, a celulose goza de propriedades até certo ponto contraditórias: manter a vida vegetal e ao mesmo tempo permitir a sua degradação para que a vida continue. A elevada aderência entre as cadeias de celulose deriva do comportamento das ligações entre os átomos que a compõem, principalmente as ligações de hidrogênio.

As fibras vegetais constituem a principal fonte de celulose, sendo anualmente produzidos, por fotossíntese, bilhões de toneladas dessa macromolécula. A celulose é um dos principais constituintes da madeira, juntamente com a hemicelulose e a lignina, e se apresenta de modo geral nas seguintes porcentagens, (ver tabela 4).

Tabela 4. Composição dos constituintes químicos da madeira

<b>Constituintes</b>	<b>Composição (%)</b>	<b>Natureza polimérica</b>	<b>Função</b>
Celulose	45 - 50	Molecular linear cristalina	sustentação
Hemicelulose	20 - 25	Molécula ramificada amorfa	matriz
Lignina	20 - 30	Molécula tridimensional amorfa	matriz

(Fonte: WOOD, 1981 apud PINTO, 2005)

A unidade repetitiva da cadeia de celulose é chamada de celobiose ou anidroglicose sindiotática. Unidades adjacentes de uma molécula podem formar ligações de hidrogênio entre si e também com unidades pertencentes a cadeias de outras moléculas. O primeiro tipo de ligação é responsável pela rigidez da cadeia e o segundo pela formação da fibra vegetal.

As cadeias de celulose se unem para formar microfibrilas, que por sua vez são constituídas pela agregação de nanofibrilas de celulose através de ligações de hidrogênio. A desagregação das microfibrilas requer a aplicação de procedimentos onerosos – steam explosion, e micro fluidizer - para desintegração mecânica. A alta resistência mecânica e química deve-se às ligações por pontes de hidrogênio intra e inter cadeias da celulose. Essa resistência depende da presença da presença partes amorfas ao longo da cadeia que afetam a configuração estrutural ( $\beta, \alpha$  cellulose-ANTOINETTE, 1997).

A resistência decresce proporcionalmente com a fração amorfa da celulose. Quando uma tecnologia de baixo custo for desenvolvida para abertura das fibras e fibrilas de celulose, produzindo as nanofibrilas de nanocelulose com elevada resistência mecânica, essas fibras serão usadas como reforço para as peças de gesso. No futuro os compósitos novogesso-celulose irão se beneficiar da ação das nanofibrilas; misturadas ao gesso em pó, essas nanofibras irão produzir corpos de gesso de alta resistência, baixa densidade e alta resistência à propagação de trincas.

A celulose utilizada neste trabalho para constituição do compósito novogesso-celulose foi extraída do eucalipto para a indústria de papel. As fibras possuem 2,0 - 3,0 mm de comprimento e diâmetro perto de  $20\mu$ , limite imposto pela tecnologia de refino das fibras. A formação desses compósitos de gesso com tais

fibras resultou em materiais com melhor resistência ao impacto e, dependendo do teor de fibras, como isolantes térmicos e acústicos. Para tanto é conveniente que as fibras sejam previamente umedecidas com uma suspensão do polímero em água e posteriormente misturadas ao pó umedecido de HH.

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 Método de medida da condutividade térmica

A condutividade térmica foi medida através da técnica do fio quente, um método direto, absoluto e não estacionário que é capaz de fornecer medidas num amplo leque de temperaturas (SANTOS, 1988). As medições foram iniciadas em materiais com condutividade térmica conhecida para aferição do método e dos procedimentos. Em seguida, utilizaram-se placas do novogesso tendo como variável o nível de compactação e o teor de fibras de celulose, sempre tendo em mente a redução de custos e melhoria das propriedades. Um programa computacional foi desenvolvido para que os dados da temperatura, obtidos com as medições pudessem ser utilizados diretamente no cálculo da condutividade térmica do material de acordo com a equação (10) do item 3.3.2.

A instrumentação usada nas medições da condutividade térmica encontra-se ilustrada na figura 5, abaixo. O circuito de medida é constituído de: a) fonte geradora

de corrente de 3,6 e 12 V; b) multímetros (Minipa ET - 2800 e ET - 2600); c) computador para fazer a interface durante a coleta de dados.



Figura 5. Instrumentação usada para medição da condutividade térmica pelo método do fio quente

Inicialmente as dimensões das placas eram reduzidas ( $10,0 \times 10,0 \times 1,5 \text{ cm}^3$ ), para que pudéssemos verificar que a geometria da amostra não influenciaria no valor da condutividade medida pelo método adotado. Nas medições, cujos resultados encontram-se na tabela 5 e 6, fizemos uma pilha de seis placas com esse mesmo material nas seguintes dimensões: ( $20,0 \times 20,0 \times 1,5 \text{ cm}^3$ ), nos quais foram feitas ranhuras paralela e transversal, distantes uma da outra de 1,5 cm, figura 6 a. A cimentação para preenchimento do sulco foi feita com pó do próprio material. As superfícies dessas placas foram lixadas até se conseguir bom contato térmico entre elas.

Em outra seqüência de medidas optamos por continuar empilhando as amostras em forma de placas como um sanduíche, figura 6 b, e entre as superfícies colocar um excelente condutor térmico visando obter um melhor contacto entre



placas. Testou-se a colocação entre as placas de novogesso, de lâminas finas de alumínio o que nos deu um resultado mais satisfatório. A partir de várias repetições e mudanças de variáveis, como a distância entre as ranhuras e a voltagem aplicada ao fio quente, o processo de medida foi continuamente aperfeiçoado. A partir disso continuamos a medição das placas do novogesso sobrepostas, nas seguintes dimensões: (20,0 x 20,0 x 1,5 cm<sup>3</sup>), com os mesmos cuidados anteriores na preparação das superfícies, marcação das ranhuras e colocação de lâminas de alumínio entre as superfícies, obtendo-se resultados reprodutíveis. Em seguida foram medidas placas do novogesso com tela intermediária de tecido, nas dimensões (20,0 x 20,0 x 1,5 cm<sup>3</sup>), sobrepostas em pilhas de 6 camadas, com os mesmos cuidados anteriores na preparação das superfícies, marcação das ranhuras e colocação das lâminas de alumínio entre as placas, obtendo-se o resultado esperado. Por fim, foi observado que a dimensão (20,0 x 20,0 x 1,5 cm<sup>3</sup>) para as placas, foi a mais apropriada para adequação do método e para realização das medidas com resultados satisfatórios. Outras medições foram realizadas variando-se o teor de fibras de celulose, de 5% a 30%, para analisar a influência das mesmas. Neste caso as placas possuíam menores densidades devido aos teores de fibras de celulose.

Placas com vários teores de celulose foram secas em estufa durante um período de 24 horas a 60°C, após toda seqüência de medição. Após este período foram preparadas para a repetição das medidas. Em seguida foi uniformemente acrescentado a cada placa um percentual de umidade que variou de 5 até 30% de acordo com a capacidade de absorção da placa.

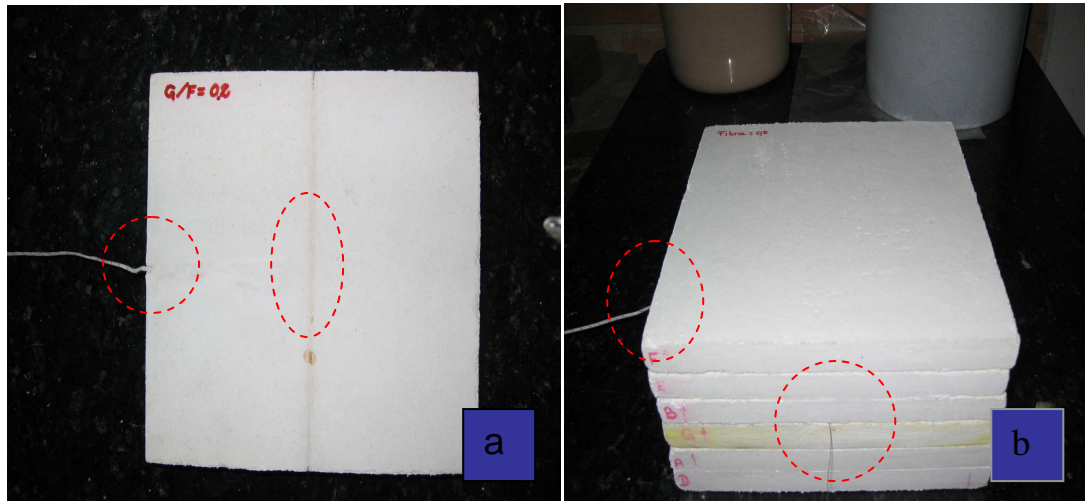


Figura 6. Amostras das placas do novogesso usadas para medir a condutividade térmica: a) Placa por onde passa o fio quente e o termopar, destaque para essa região. b) Montagem das placas.

Buscando melhorar a estabilidade térmica do ambiente de medida durante as medições foi confeccionada uma caixa térmica, com elevada massa térmica com capacidade de manter estável a temperatura externa das placas durante a medição, figura 7. Finalmente, para monitorar melhor todo o ambiente envolvido no processo de medição, foram colocados termopares medindo o aquecimento da amostra, monitorando a temperatura da caixa térmica e outro para medir a temperatura ambiente da sala onde eram realizados os experimentos. Todos os multímetros foram conectados a termopares de referências do tipo K, cromel - alumel e registravam, em mV.

A condutividade de mantas de tecidos de algodão e de fibras de polipropileno foi medida visando à possibilidade de utilização das mesmas como isolante térmico na habitação experimental, o que se mostrou totalmente adequado. Essas mantas isolantes foram preparadas a partir de resíduos da atividade industrial e cedidas ao projeto da casa piloto pela fábrica "Tapetes São Carlos".



Figura 7. Caixa térmica usada para manter constante a temperatura do ambiente de medida das amostras.

#### 4.2.2 Construção da habitação experimental do novogesso

A construção da casa experimental do novogesso surgiu a partir da concepção de um novo sistema construtivo cujo objetivo foi conhecer a possibilidade de aplicação futura dos resultados que viessem a ser obtidos nas habitações de interesse social. Tanto o custo de construção como a viabilidade técnica foram investigados visando à futura industrialização dos componentes, mantendo-se os critérios de sustentabilidade aplicados à construção civil..

O sistema construtivo empregado utilizou a estrutura metálica do tipo “Light Steel Frame” para fixação das placas de novogesso, as telhas asfálticas tipo “shingle”. O novogesso foi desenvolvido no LCM-IFSC-USP e contou com a participação da empresa Inovamat Ltda para a confecção das placas do novogesso

de alta resistência, nas dimensões (60 x 120 x 1,5 cm<sup>3</sup>) e também para a construção da habitação experimental.

Projetos arquitetônicos para sistemas pré-fabricados devem obedecer à forma e modulação dos elementos a serem utilizados, ou seja, as dimensões do projeto devem ser compatíveis com as dimensões dos elementos ou seus múltiplos, desta forma a geometria de cada ambiente e conseqüentemente da casa experimental, como mostrado na planta baixa da figura 8, foi cuidadosamente ajustada para modulação das placas e assim minimizar, os cortes e ajustes no canteiro de obra.

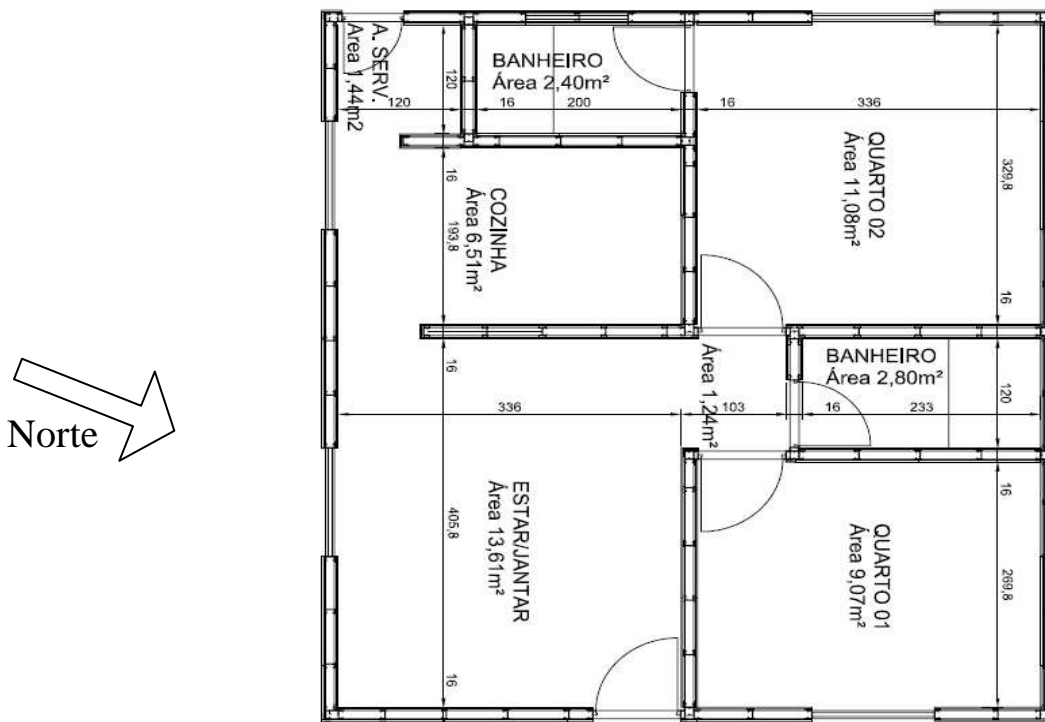


Figura 8. Planta baixa da casa experimental de placas do novogesso.(Fonte: Desenho cedido Inovamat Ltda).

Cada ambiente foi projetado com a área mínima, dentro da modulação necessária para que os mesmos fossem utilizados com eficiência e conforto. A inclinação do forro acompanhando a inclinação do telhado, na sala de estar, cozinha e área de serviço, foi escolhida para aumentar o volume do ambiente e conseqüente

aumento da circulação do ar e desta forma contribuir para o conforto térmico e também proporcionar uma sensação visual mais agradável. Ao utilizar o forro inclinado, o aumento de volume foi na ordem de 25 % em relação ao volume proporcionado pelo forro horizontal. A menor altura a partir do piso acabado, denominado pé direito, foi da ordem de 2,40 metros, medida padrão das habitações populares.

Os dormitórios, também projetados como os demais ambientes, posteriormente foram designados para testar um novo material, placas do novogesso oriundo do fosfogesso, para certificação de seu uso na construção civil pela CNEN. Portanto, nos dormitórios todo revestimento das paredes e forro foi constituído por placas de fosfogesso. Neste caso foi utilizado forro horizontal visando facilitar e tornar mais realista os estudos.

Os sistemas estruturais escolhidos para compor o projeto são:

- a) Fundação tipo radier;
- b) Estrutura metálica do tipo Light Steel Frame;
- c) Cobertura constituída por treliças de aço para pequenos vãos, painel OSB e telhas asfálticas tipo "Shingle".

A Fundação tipo radier mostrada na figura 9, utilizou concreto usinado e armadura metálica tradicional. Apesar de ser moldada "in loco", essa fundação permite a execução e montagem de parte das instalações hidro - sanitárias, elétricas e telefonia, contendo também o gabarito para montagem dos perfis metálicos "Light Steel Frame" que forma a estrutura da parede possibilitando sua rápida montagem.



Figura 9. Detalhe da fundação tipo radier e início da colocação dos perfis metálicos para compor estrutura da parede. (Fonte: Imagem cedida pela Inovamat)

A estrutura portante das paredes conhecida como estrutura metálica do tipo “Light Steel Frame” está ilustrada na figura 10. Utiliza perfis de chapa dobradas em aço galvanizado, com ligações feitas por parafusos galvanizados auto atarraxantes. Os perfis horizontais são chamados de guias (perfil U 92x38x0,95 mm) e os perfis verticais são chamados de montantes (perfil U enrijecido 88x38x13x0,95 mm). Essa estrutura metálica é de rápida execução e montagem, podendo ser montada in loco ou dentro de uma fábrica e depois transportada para o local da obra.

As placas pré-fabricadas de novogesso ( $60 \times 120 \times 1,5 \text{ cm}^3$ ), que fazem o fechamento das paredes foram parafusadas em barrotes de madeira e estas nos perfis da estrutura metálica “Light Steel Frame”, recobrem externa e internamente a estrutura metálica, como ilustrado na figura 11. Esse tipo de fixação das placas elimina o desenvolvimento de trincas nas paredes e foi suficiente para que não fosse verificado qualquer trinca ao longo dos 30 meses em que a casa foi concluída.



Figura 10. Detalhe da estrutura portante das paredes, “Light Steel Frame”. (Fonte: Imagem cedida pela Inovamat)



Figura 11. Detalhe do fechamento das paredes com placas do novogesso, parafusadas em barrotes de madeira e nos perfis da estrutura metálica “Light Steel Frame”. (Fonte: Imagem cedida pela Inovamat)

Nos espaços vazios das paredes, foram colocadas mantas isolantes de fibras de polipropileno ou fibras de tecidos, formando uma espécie de sanduíche, por onde passam todas as instalações prediais da habitação. Além das mantas resta entre as placas um espaço vazio no qual flui uma corrente ascendente de ar que contribui para o conforto térmico e renovação do ar no interior da residência. As instalações são montadas antes do fechamento total das paredes, evitando assim recortes posteriores à fixação das placas, figura 12. O fechamento interno do telhado, ou seja, o forro, foi feito com placas do novogesso nos dormitórios e gesso acartonado “dry wall” nos demais compartimentos.



Figura 12. Detalhe da posição das mantas isolantes termo - acústicas e das instalações elétricas nos espaços vazios entre as placas do novogesso. (Fonte: Imagem cedida pela Inovamat)

A cobertura é constituída por telhas asfálticas tipo “Shingle”, painel OSB e treliça para pequenos vãos. As telhas asfálticas são fixadas nos painéis OSB que são sobrepostos a treliça. O painel OSB é impermeabilizado pela colocação de uma manta asfáltica entre a telha e o painel. A estrutura portante desse tipo de cobertura



é objeto de uma patente requerida pela Inovamat “Telhado treliçado para pequenos vãos”. Essa estrutura é composta por treliças espaciais de aço CA-50 e painéis OSB (Oriented Strand Board), combinação que resultou numa estrutura capaz de sustentar as telhas e também resistir à ação do vento sobre a habitação. Esse telhado é de rápida montagem, leve e não utiliza madeira nobre, apenas madeira de reflorestamento. A parte inferior da estrutura portante do telhado, a treliça, é preparada para receber qualquer tipo de forro, independente de quais sejam. Ver detalhe da cobertura com telhas “shingle” e ampliação da, na figura 13.



Figura 13. Detalhe da cobertura; Detalhe das telhas “shingle”. (Fonte: Imagem cedida pela Inovamat)

Os painéis OSB são estruturas de tiras de madeira, distribuídas em forma de camadas cruzadas, para aumentar sua estabilidade e resistência, unidas entre si por resina fenólica aplicada sob alta pressão e temperatura. OSB é um excelente

produto para construção com aplicações que variam desde coberturas a acabamentos

Assim como nas paredes, o telhado possui um espaço vazio entre o painel de OSB e o forro. Além do espaço para circulação do ar quente, sobre a placa de OSB foi colocada uma manta isolante de polipropileno e as instalações elétricas. Esses espaços vazios, existentes nas paredes e no telhado, conectam-se ao ambiente interno da casa, através de pequenas aberturas nas paredes, com o ambiente externo. É através dessa conexão que se forma um sistema de ventilação natural da casa, por convecção. O ar aquecido pelo telhado é expulso pelos aeradores existentes no telhado e o ar no interior da casa é sugado pelas aberturas nas paredes. Desse modo podemos controlar a renovação do ar dos ambientes através das aberturas existentes nas paredes. Essa mesma ventilação também dificulta a transmissão de energia térmica do ambiente externo para o interno. Portanto é um sistema altamente eficiente para regiões quentes.

As instalações hidro-sanitárias são constituídas por tubos e conexões de PVC, com louças sanitárias convencionais. As instalações elétricas são constituídas por cabos flexíveis de cobre com isolamento termoplástico, eletrodutos em polietileno, disjuntores eletromagnéticos, interruptores e tomadas instaladas em caixas plásticas específicas para gesso acartonado dry wall, luminárias para lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, caixa de distribuição de plástico embutida.

As paredes externas foram lixadas e pintadas com tinta à base de água (látex). Na sala de estar as paredes receberam acabamento em papel de parede, figura 14. Nos ambientes úmidos como a cozinha e área de serviço, as paredes receberam uma película plástica (PVC) estampada, similar ao papel de parede. Nas

paredes dos banheiros, como mostrado na figura 15, foram utilizadas placas de polipropileno reciclado, produzido pela empresa “Tapetes São Carlos”.



Figura 14. Detalhe do acabamento das paredes da sala de estar e cozinha ao fundo. (Fonte:Imagem cedida pela Inovamat)



Figura 15. Detalhe do acabamento das paredes do banheiro.(Fonte: Imagem cedida pela Inovamat)



Figura 16. Detalhe das paredes e do forro do novogesso em um dos dormitórios.(Fonte: Imagem cedida pela Inovamat Ltda)

Como já citado, os dormitórios foram escolhidos para medição e testes de certificação das placas de fosfogesso, sendo assim, as paredes destes ambientes não receberam acabamento, como mostra as figuras 16 e 17. Como os testes envolvem placas de fosfogesso de três origens diferentes, foi utilizado um sistema para fixação das mesmas de fácil montagem e desmontagem, para substituição das placas durante os testes. Para isso as placas de fosfogesso foram fixadas com “velcros” colados na estrutura e nas placas.



Figura 17. Detalhe das paredes sem acabamento do quarto 2. (Fonte: Imagem cedida pela Inovamat)

O piso cerâmico denominado piso frio, foi utilizado nos ambientes úmidos (cozinha área de serviço e banheiros). Nos ambientes secos (sala de estar e dormitórios) foi utilizado carpete, doado pela empresa “Tapete São Carlos” colado diretamente sobre a laje radier nivelada.

As esquadrias externas são convencionais do tipo metalon e as internas dos banheiros e dormitórios, são portas convencionais de madeiras do tipo sanduíche com batentes de madeira.

#### 4.2.3 Coleta de dados para caracterização do comportamento térmico dos ambientes

Alguns aspectos da implantação e execução desse projeto devem ser ressaltados para beneficiar futuras edificações com auxílio das técnicas passivas de controle térmico. Destaca-se entre elas a orientação solar da habitação, em que as aberturas das áreas de permanência prolongada durante o dia como a sala de estar e cozinha estão voltadas para o leste ou sul. Nas áreas de permanência prolongada durante a noite, como o quarto 01, a abertura da janela está voltada para o leste beneficiando o ambiente com os primeiros raios solares. O quarto 02 tem abertura voltada para oeste, a face sobre a qual sofre a incidência de radiação solar e as mais elevadas temperaturas externas, figura 20 do item 4.2.4.

A cobertura projetada é composta de duas águas com beirais de 80,0cm o que contribui para a redução da intensidade da radiação solar. A estrutura da cobertura, anteriormente comentada é constituída por 06 camadas: telha “shingle”, manta impermeabilizante, painel OSB, manta isolante, camada de ar e forro de novogesso ou “dry wall”. Todos estes elementos contribuem para reduzir a transmissão do calor para o interior da residência através da cobertura. O sistema de ventilação projetado, citado no item 4.2.2, contribui de forma eficiente para a extração de ar quente durante o período de verão. Enfim, todos esses fatores aliados ao sistema construtivo das paredes de placas do novogesso, foram importantes para obtenção dos resultados que serão mostrados no capítulo 5.

#### 4.2.3.1 Medições in loco

A coleta de dados foi realizada através da colocação de termopares, tipo K, na região central dos ambientes da casa a 1,50 m de altura em relação ao piso, como mostra a figura 18. Termopares também foram fixados às paredes a 1,50 m do piso, na parte interna e externa, nos locais de maior incidência de raios solares. No forro os sensores foram colocados logo abaixo da cobertura, ora em contato com os painéis OSB e ora em contatos com as mantas isolantes. Na cobertura esses sensores foram colocados diretamente em contato com a telha “shingle” em várias posições, figura 19. Foram colocados sensores na área externa no centro da área livre. Durante a coleta dos dados várias situações foram criadas: a) medições com todas as portas e janelas internas e externas abertas; b) todas as portas e janelas internas e externas fechadas; c) todas as portas e janelas externas fechadas e as portas entre as ambientes abertas. Em certas situações durante a coleta de dados houve circulação de pessoas no ambiente e aquelas em que não havia movimentações de pessoas. É importante ressaltar que no momento da coleta não havia aparelhos elétricos, lâmpada ou qualquer tipo de equipamento, capazes de produzirem calor em seu interior. Em uma situação real de uso, esses dispositivos e alguns utensílios domésticos, podem elevar significativamente a temperatura interna dos ambientes.

A coleta de dados foi realizada diariamente, em horários de picos de temperatura, em todos os meses do ano, durante dois anos 2006 e 2007. No primeiro ano a construção encontrava-se na fase de conclusão (com circulação de pessoas) e no segundo ano a obra estava concluída (sem circulação de pessoas).



Figura 18. Monitoramento da temperatura da sala de estar, com destaque para o ponto de leitura do termopar.

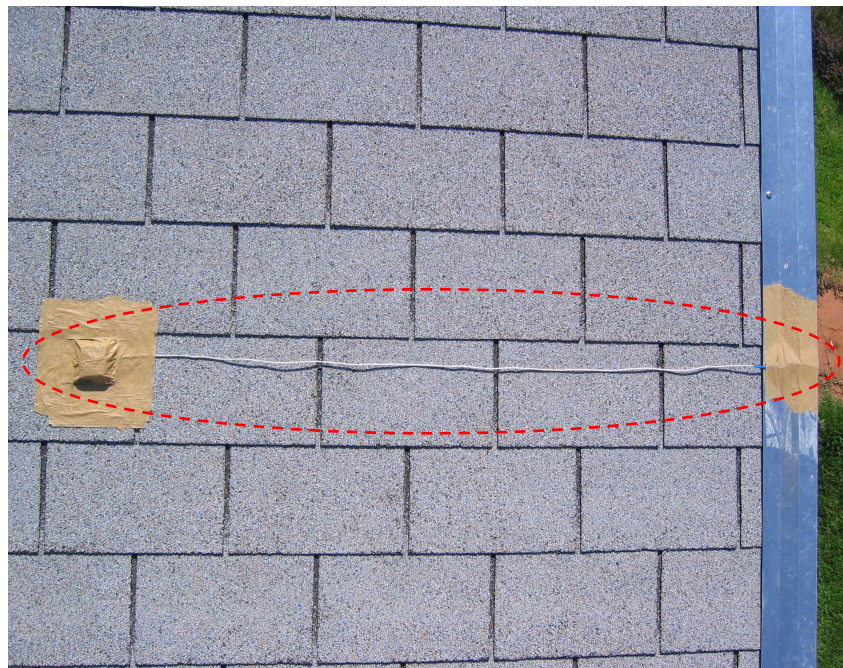


Figura 19. Monitoramento da temperatura acima da cobertura, com destaque para o ponto de fixação do termopar.



#### 4.2.4 Coleta de dados para caracterização do comportamento acústico dos ambientes

Vários elementos contribuem para o isolamento sonoro de uma edificação, por exemplo, os elementos de fachada (portas e janelas externas) e de acesso aos ambientes (portas internas) assim como o modo de ligação entre esses elementos. A grande variedade de componentes de uma edificação apresenta diferentes formas e níveis de isolamento. No caso do isolamento sonoro das fachadas, sabe-se que a janela de vidro e os caixilhos são os pontos mais fracos. Buscando aprofundar o monitoramento do conforto ambiental da habitação experimental continuamos com a análise do comportamento acústico das paredes de placas do novogesso.

Buscamos caracterizar o nível sonoro emitido e a fração absorvida pelas paredes internas entre ambientes e aquelas determinadas pelas paredes externas. Foram analisadas paredes com e sem aberturas e paredes com e sem revestimento. Várias medições acústicas foram efetuadas sendo que em algumas foi verificado o comportamento das fachadas e em outras, o comportamento das paredes divisórias entre ambientes internos da casa. Os pontos de coleta de dados para análise do quarto 1 e sala de estar estão locados na planta baixa da figura 20.

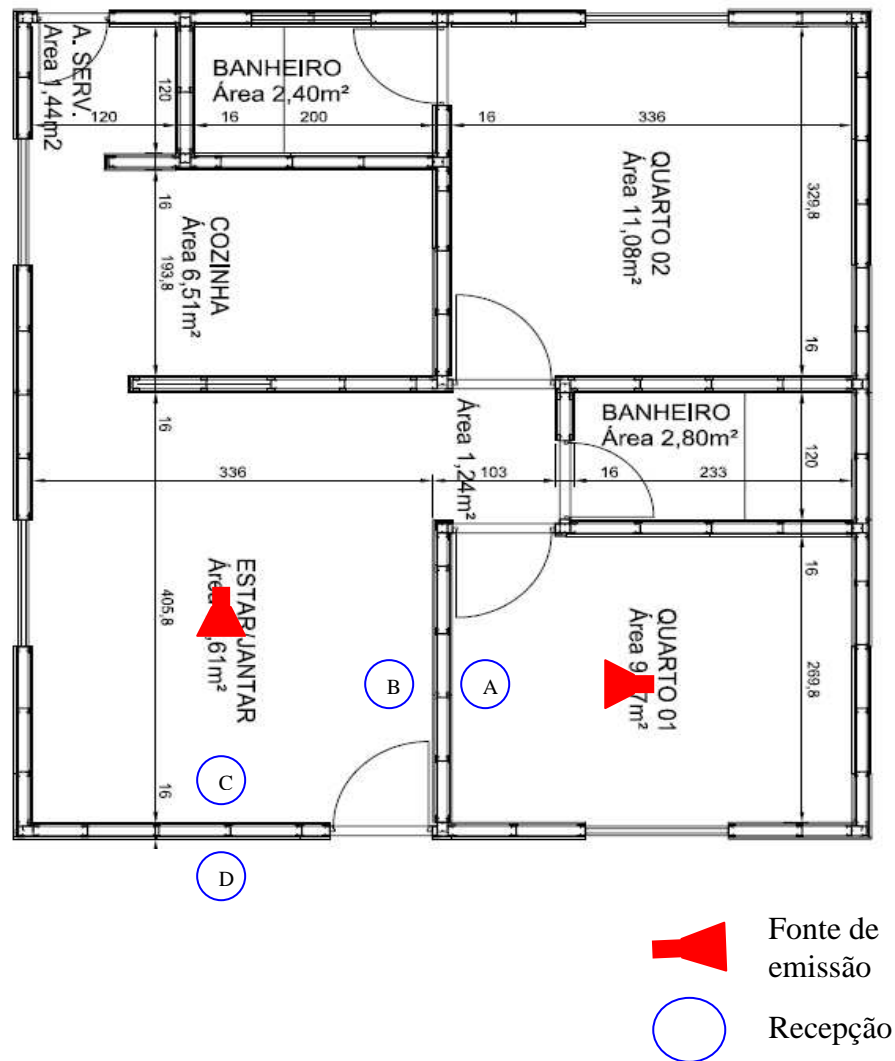


Figura 20. Pontos de emissão e recepção do som, locados na planta baixa.

Para análise do isolamento acústico das paredes de placas duplas do Novogesso seguimos as orientações das normas NBR 10151-2000, medindo a intensidade sonora em decibéis. Os ensaios foram feitos variando-se a frequência, nível sonoro, posição da fonte sonora, periodicidade e horários das medidas. O som foi obtido por um gerador de função digital, Minipa MFG-4200, um amplificador de potência, um subwoofer e dois alto-falantes. Um tubo para direcionamento do som foi desenvolvido em nosso laboratório e colocado no ambiente em estudo. O nível de

intensidade sonora foi medido em diferentes posições utilizando-se um decibelímetro, Minipa MSL – 1352 C, e um calibrador de nível sonoro, Minipa MSL-1326, ilustrado na figura 21.

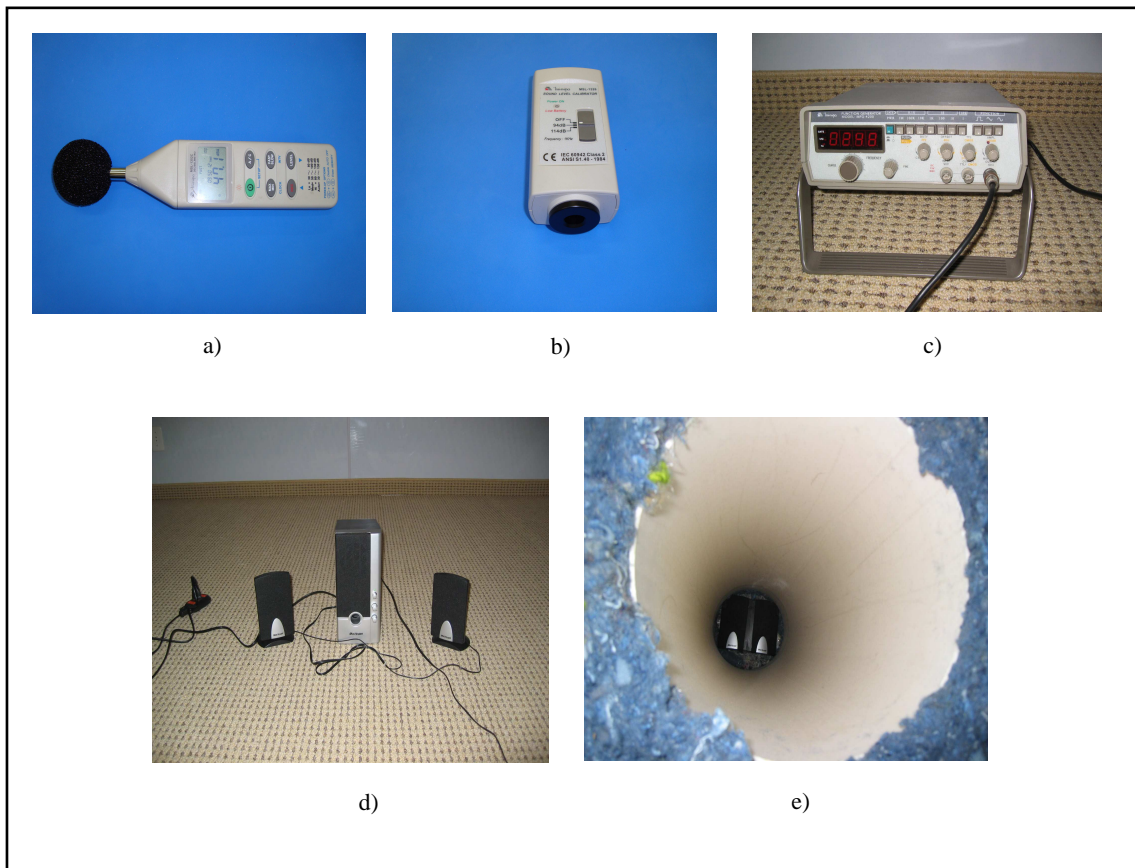


Figura 21. Instrumental utilizado para realização das medidas acústicas: a) decibelímetro digital, b) calibrador, c) gerador de função digital, d) subwoofer e alto-falantes, e) tubo para direcionamento do som.

O nível de pressão sonora equivalente,  $L_{eq}$ , foi obtido conforme o Anexo A da NBR 10151 (ABNT, 2000); onde os  $L_i$  (nível de pressão sonora em dB (A) - decibéis) foram lidos em resposta rápida (fast) a cada 1 segundo, no modo de compensação A.

O  $L_{eq}$  foi escolhido por representar melhor a exposição sonora em cada região, uma vez que leva em consideração a média das ocorrências sonoras num certo ponto (WHO, 1999); também foram medidos,  $L_{max}$  e  $L_{min}$ .

$L_{min}$  - nível de pressão sonora mínimo registrado durante a medição.

$L_{max}$  - nível de pressão sonora máximo registrado durante a medição.

$L_{eq}$  - nível de pressão sonora médio equivalente, que corresponde ao “nível de som constante que, no mesmo intervalo de tempo, contém a mesma energia total (ou dose) que o som flutuante”.

O  $L_{eq}$  (A) foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (11)$$

$L_i$  é o nível de pressão sonora, em dB (A), lido em resposta rápida (fast) e  $n$  é o número total de leituras.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO NOVOGESSO

Com o arranjo experimental adotado, e nas condições descritas no capítulo 4, o comportamento da condutividade térmica foi registrado para cada amostra escolhida. As medidas foram realizadas à temperatura ambiente e, em todas as medidas, a temperatura do ambiente em que se encontravam as amostras, caixa térmica, foi cuidadosamente registrada.

O trecho do transiente da temperatura, considerado para o cálculo da condutividade térmica, é aproximadamente o mesmo para as medidas das amostras do novogesso sem adição de celulose, estando o início do trecho mais reto acima dos 600s. Para as amostras do novogesso com adição de celulose o trecho do transiente térmico escolhido em todas as medidas, ficou acima dos 900s, também na região mais reta.

Os dados experimentais das medidas de temperatura obtidas com o instrumental da figura 5 no item 4.2.1, são usados na equação (10). De acordo com esta equação, a condutividade é determinada a partir da taxa de variação da temperatura. A inclinação da curva temperatura versus logaritmo do tempo fornece o comportamento da condutividade térmica. A simulação e os dados experimentais produziram o mesmo comportamento, a figura 22 mostra a curva teórica e real e a dependência da temperatura com o tempo. Desta forma o arranjo experimental feito para medir a condutividade térmica mostrou-se adequado.

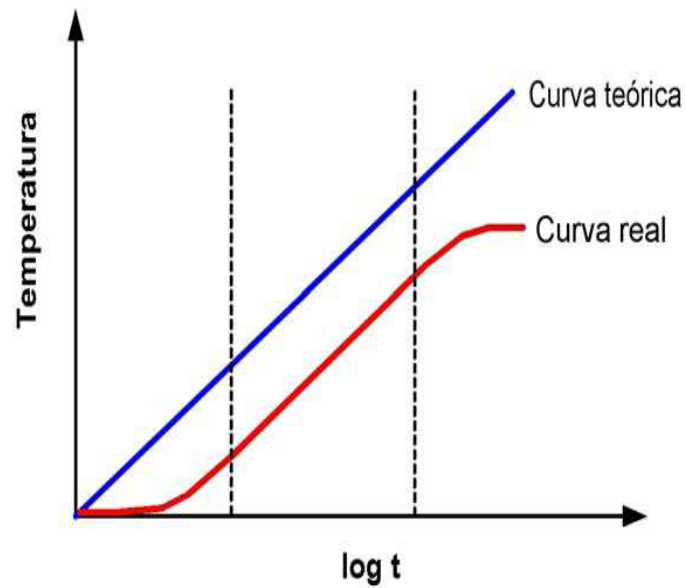


Figura 22. Curva teórica e real e a dependência da temperatura com o logaritmo do tempo

### 5.1.1 Efeito da pressão de compactação no processo de preparação das peças do Novogesso: resistência mecânica e condutividade térmica.

Através do ajuste da pressão de compactação aplicada ao pó de HH ligeiramente úmido, que por sua vez depende da relação água/HH, obtém-se a elevação da densidade, das resistências mecânicas e conseqüentemente da condutividade térmica, cujos valores estão mostrados na tabela 5.

Tabela 5. Dependência da densidade e resistência mecânica com a pressão de compactação (60s) do novogesso sem adição de celulose (7.0 x 3.0 x 1.3) cm<sup>3</sup>. Para cada pressão de compactação 10 amostras foram preparadas e medidas.

Pressão de Compactação MPa	Densidade ( $\rho$ ) g/cm <sup>3</sup>	Resistência a Flexão ( $\sigma_f$ ) MPa	Resistência a Compressão ( $\sigma_c$ ) MPa	Condutividade Térmica (K) W/mK
0.50	1.55 ± 0.05	10.0 ± 1	30.0 ± 3	0,64 ± 0,02
1.00	1.68 ± 0.02	11.0 ± 1	33.0 ± 2	0.67 ± 0,02
3.00	1.85 ± 0.02	13.0 ± 1	40.0 ± 3	0.92 ± 0.01
5.00	1.90 ± 0.01	15.0 ± 1	50.0 ± 3	0,98 ± 0,01
8,00	1.94 ± 0.01	25.0 ± 1	80.0 ± 3	1,02 ± 0,01

### 5.1.2 Condutividade térmica das placas do novogesso sem adição de celulose

A dependência da condutividade térmica com a temperatura está ilustrada nas figuras 23 e 24. Pode-se observar a diferença de densidade das placas que ocorre devido à variação da pressão de compactação.

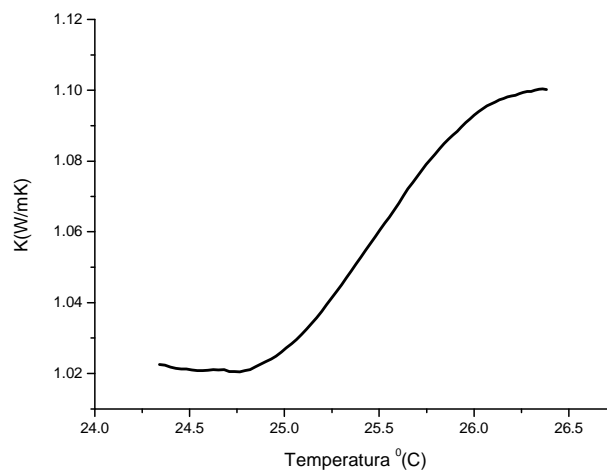


Figura 23. Comportamento da condutividade térmica das placas do novogesso sem adição de celulose. Densidade ( $\rho$ ) = 1,90 g/cm<sup>3</sup>.

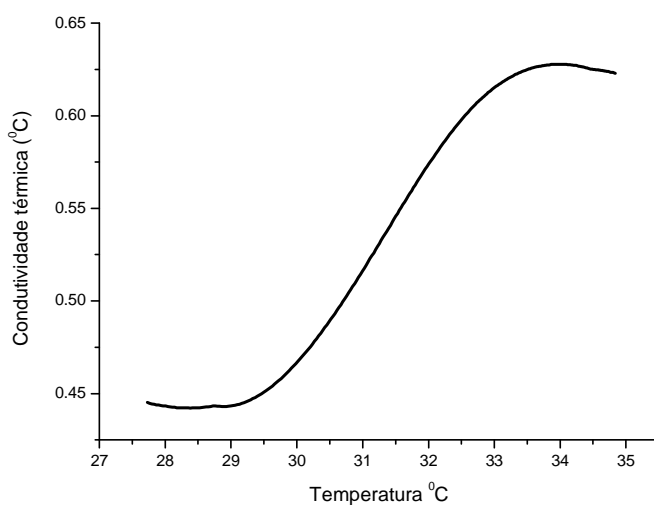


Figura 24. Comportamento da condutividade térmica das placas do novogesso com adição de celulose. Densidade ( $\rho$ ) = 1,62 g/cm<sup>3</sup>.

### 5.1.3 Condutividade térmica das placas do novogesso com adição de celulose

Os valores de condutividade térmica das placas do novogesso com 0,5,10, 20 e 30% de celulose respectivamente, estão mostrados, na tabela 6.

Tabela 6 - Condutividade térmica e densidade do compósito novogesso-celulose

<b>Celulose %</b>	<b>Densidade (<math>\rho</math>) g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Condutividade Térmica (K) W/mK</b>	<b>Perda de Condutividade %</b>
0,0	1,94±0,01	0,75 ± 0,02	0,00
5,0	1,69±0,02	0,68 ± 0,02	9,33
10,0	1,50±0,05	0,61 ± 0,03	18,7
20,0	1,33±0,05	0,45 ± 0,01	40,0
30,0	1,18±0,05	0,40 ± 0,03	46,7

O efeito da concentração de celulose nos compósitos novogesso - celulose, tabela 6, evidencia que através do aumento da concentração de fibras de celulose, a



densidade e a condutividade térmica das placas de novogesso – celulose diminuem sistematicamente. A perda percentual da condutividade térmica é muito significativa, próxima de 50% em comparação com placas de gesso puro. Compósitos novogesso - celulosos de alta resistência mecânica podem ser desenvolvidos com uso de nanofibras de celulose. Devido à alta hidrofiliabilidade e resistência de ambos, celulose e whiskers de gesso, o compósito novogesso - celulose poderá, em futuro próximo, tornar-se um material muito competitivo para construção da habitação. A dependência da temperatura no compósito novogesso-celulose com o tempo durante as medições da condutividade térmica é apresentada na figura 25.

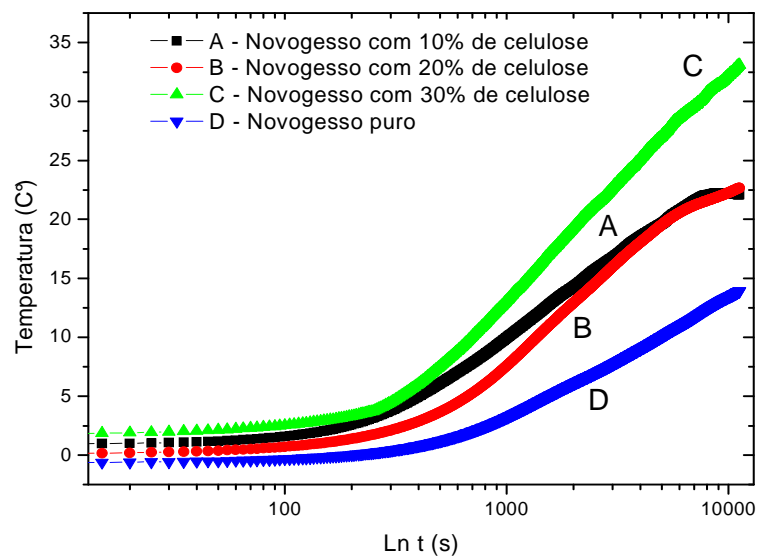


Figura 25. Dependência da temperatura com o tempo durante as medidas da condutividade térmica dos compósitos novogesso – celulose

A comparação da condutividade térmica das placas de novogesso sem adição de celulose, curva **D**, com as das placas **A**, **B** e **C**, mostra que no compósito novogesso - celulose, a condutividade térmica diminui quando a concentração de celulose no compósito aumenta. Observa-se claramente que a condutividade térmica das placas de gesso puro é muito superior que a dos compósitos.

Os gráficos do comportamento da condutividade térmica das placas do novogesso com essas adições, estão mostrados abaixo, figuras 26 a 29:

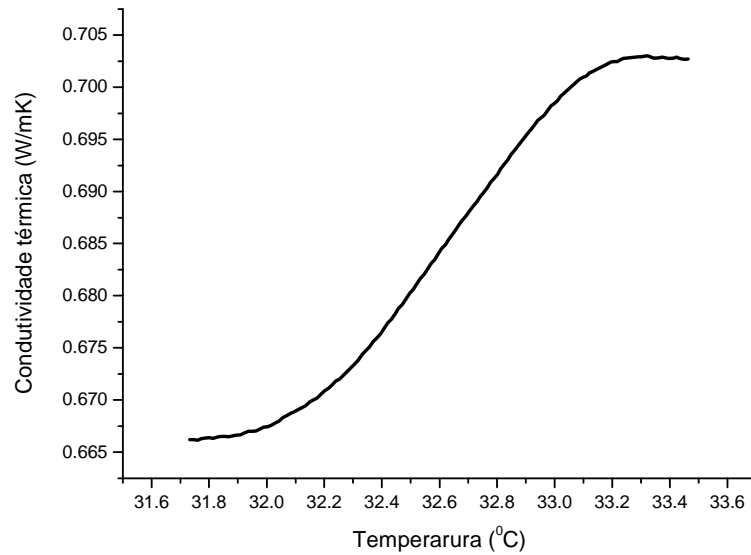


Figura 26. Comportamento da condutividade térmica do novogesso com 5% de celulose.

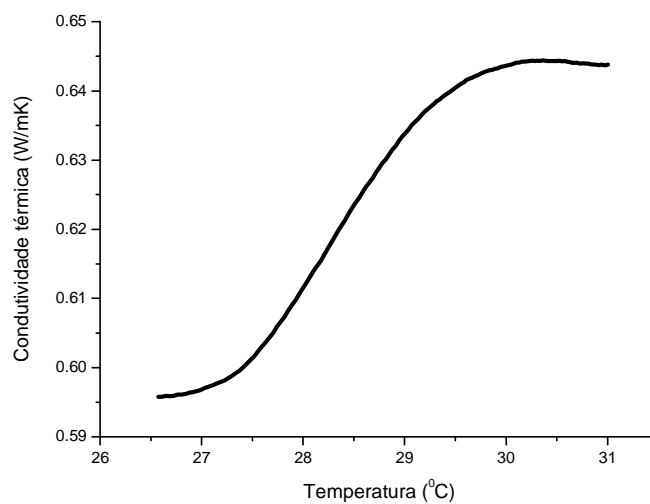


Figura 27. Comportamento da condutividade térmica do novogesso com 10% de celulose.

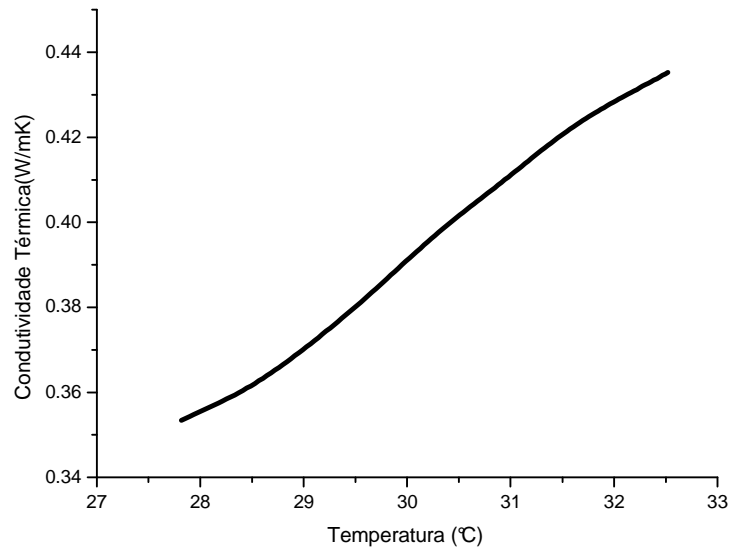


Figura 28. Comportamento da condutividade térmica do novogesso com 20% de celulose.

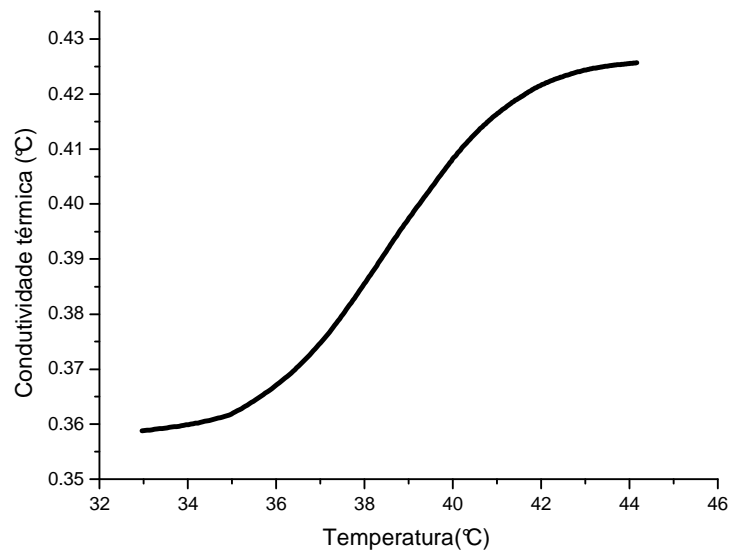


Figura 29. Comportamento da condutividade térmica do novogesso com 30% de celulose.

#### 5.1.4 Condutividade térmica das mantas isolantes

As tabelas 7 e 8 mostram os valores de condutividade térmica das mantas de tecido de algodão e de fibras de polipropileno, usadas nas paredes e no forro da habitação experimental. Os valores de condutividade encontrados, para os dois materiais variam de acordo com a densidade comprovando a sua eficácia como material isolante.

Tabela 7 - Valores da condutividade térmica das mantas de fibras de tecido

<b>Mantas de tecido de algodão</b>	<b>Densidade (<math>\rho</math>) g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Condutividade Térmica (K) W/mK</b>
<b>1</b>	0,085	0,062 ± 0,01
<b>2</b>	0,124	0,082 ± 0,02
<b>3</b>	0.154	0,10 5 ± 0,01

Tabela 8 - Valores da condutividade térmica das mantas de fibras de polipropileno

<b>Mantas de fibras de polipropileno</b>	<b>Densidade (<math>\rho</math>) g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Condutividade Térmica (K) W/mK</b>
<b>1</b>	0,027	0,066 ± 0,01
<b>2</b>	0,082	0,081 ± 0,01
<b>3</b>	0.094	0,118 ± 0,03

A condutividade da telha tipo “Shingle” usada na cobertura, foi medida e apresentou o valor igual a  $k = 0,54 \pm 0,02$  (w/mK), o que comprova que a mesma comporta-se como material isolante.

## 5.2 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA HABITAÇÃO EXPERIMENTAL

A habitação experimental em estudo foi monitorada durante todos os meses do ano e os valores da temperatura coletados no seu interior demonstraram que os intervalos de desconforto foram mínimos, tabela 9 e 10. As horas de desconforto são aquelas que estão fora dos limites de temperaturas da zona de conforto, que está compreendida entre 18 e 29 °C, nas horas de menor e maior pico da temperatura externa do ar. Ou seja, a temperatura obtida dentro da habitação experimental estava entre 25 e 29°C em meses mais quentes e 18 e 22° C em meses mais frios, sem o uso de dispositivos de aquecimento e resfriamento.

Tabela 9 - Temperaturas médias mensais dos ambientes da habitação experimental – Janeiro a junho, 2006/ 2007.

Ambientes	Temperatura (°C)					
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho
Estar/jantar	25	29	26	24	22	23
Quarto01	25	27	27	25	24	24
Quarto 02	26	26	27	26	25	26
Cozinha	25	27	28	24	23	25
Ar livre	32	32	33	27	26	30

Tabela 10 - Temperaturas médias mensais dos ambientes da habitação experimental – julho a dezembro, 2006/ 2007.

Ambientes	Temperatura (°C)					
	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Estar/jantar	17	24	25	26	29	28
Quarto01	17	23	26	27	27	27
Quarto 02	18	25	27	28	26	26
Cozinha	17	23	26	26	27	27
Ar livre	16	26	35	34	32	33

Observou-se nos gráficos das figuras 30 a 47, que a temperatura interna da casa, em três dias típicos de verão, estava dentro dos limites recomendados nos critérios de avaliação de desempenho térmico (ABNT, 2008).

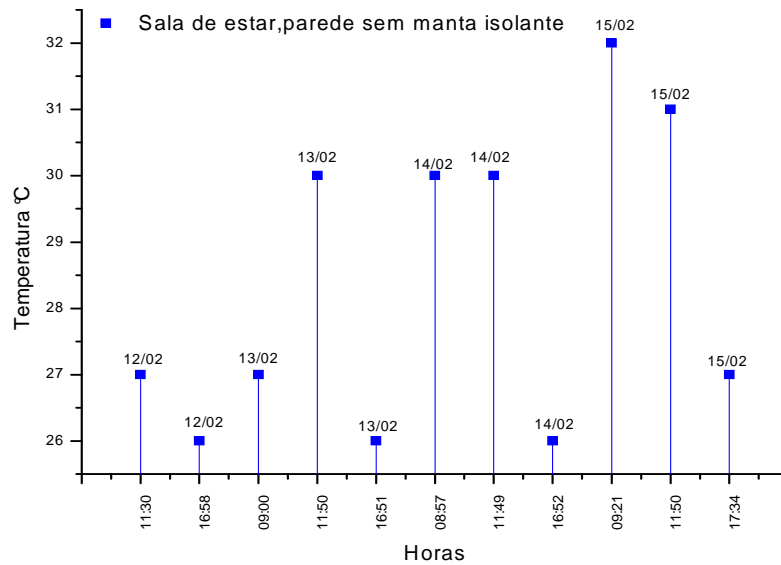


Figura 30. Temperatura da parede da sala de estar

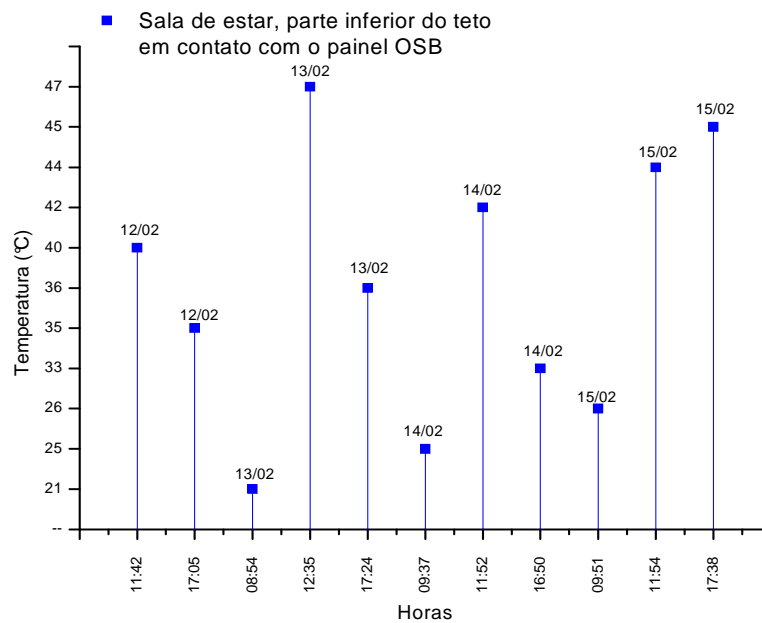


Figura 31. Temperatura da parte inferior do teto da sala de estar

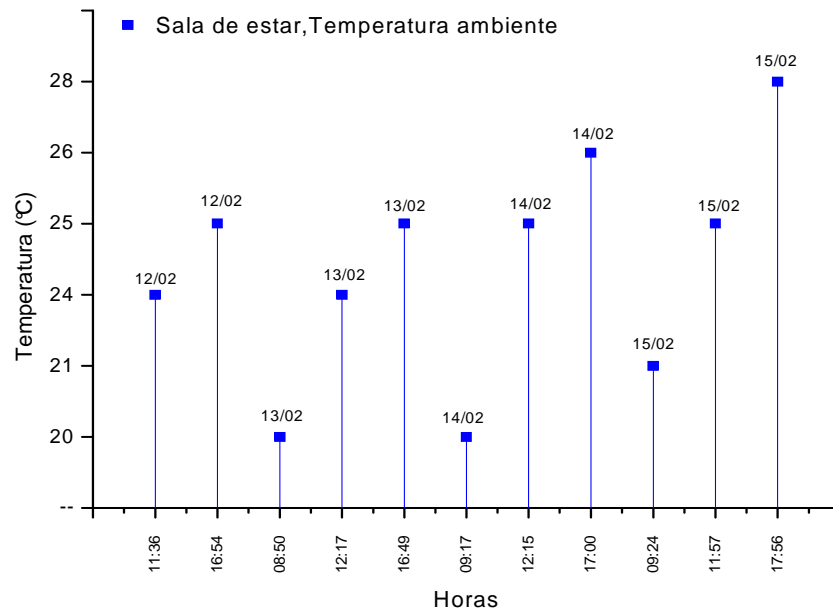


Figura 32. Temperatura ambiente da sala de estar

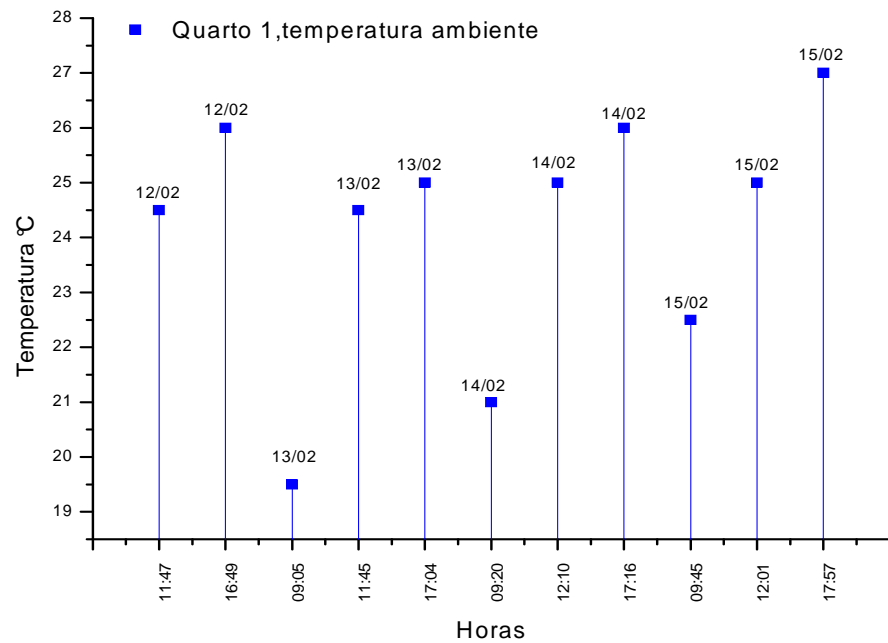


Figura 33. Temperatura ambiente do quarto1

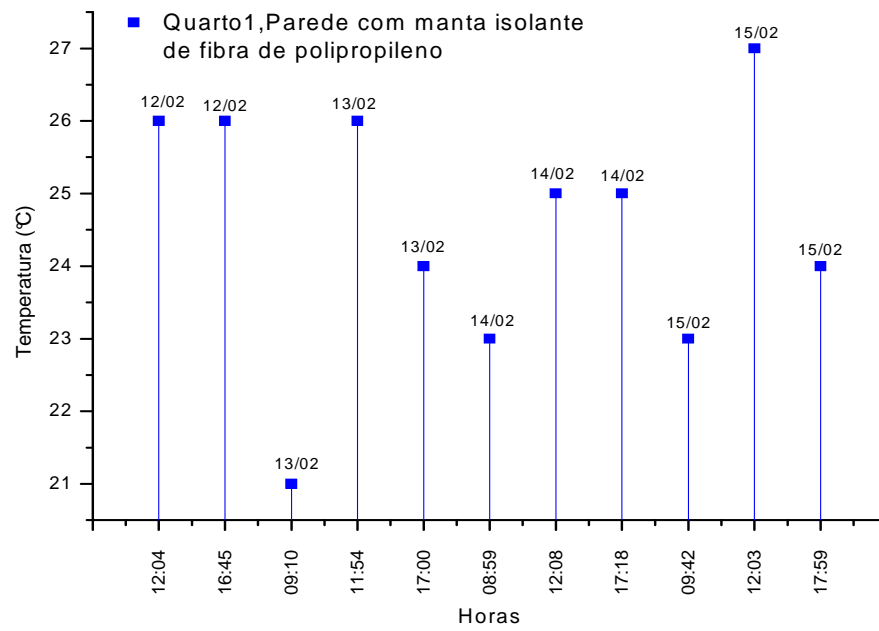


Figura 34. Temperatura da parede do quarto 1

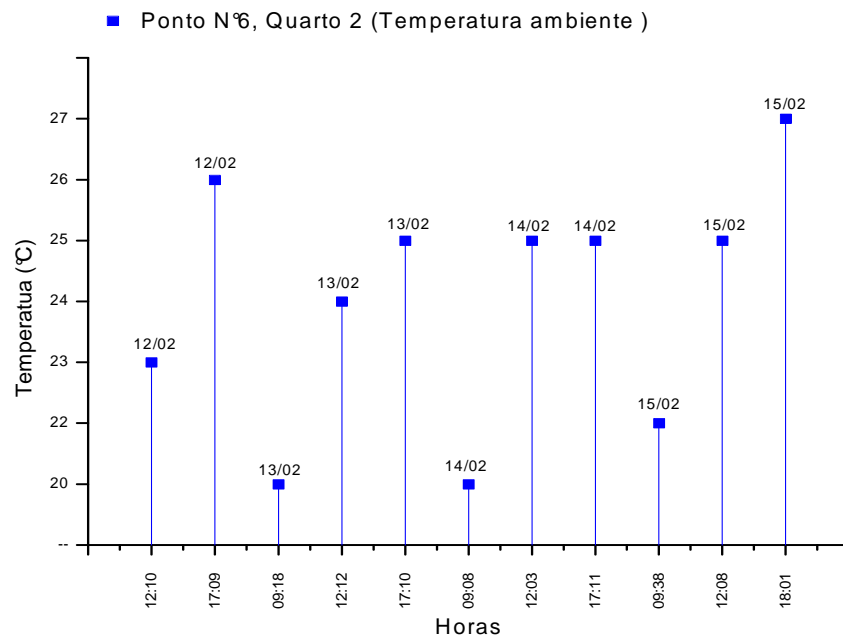


Figura 35. Temperatura ambiente do quarto 2



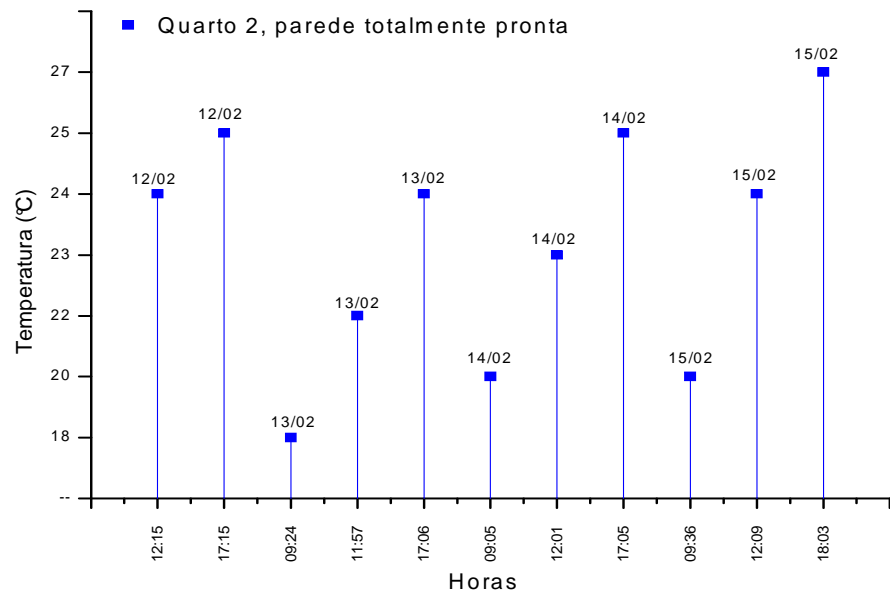


Figura 36. Temperatura da parede do quarto 2

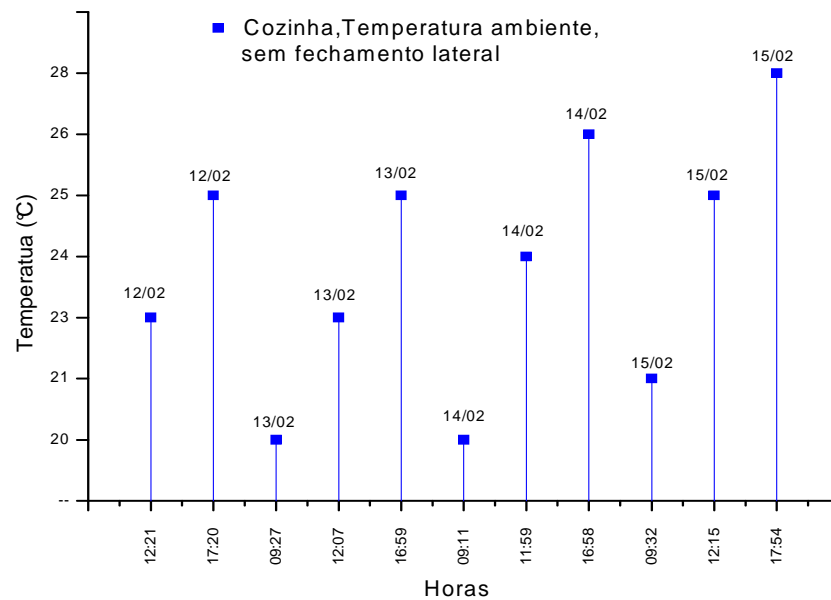


Figura 37. Temperatura ambiente da cozinha

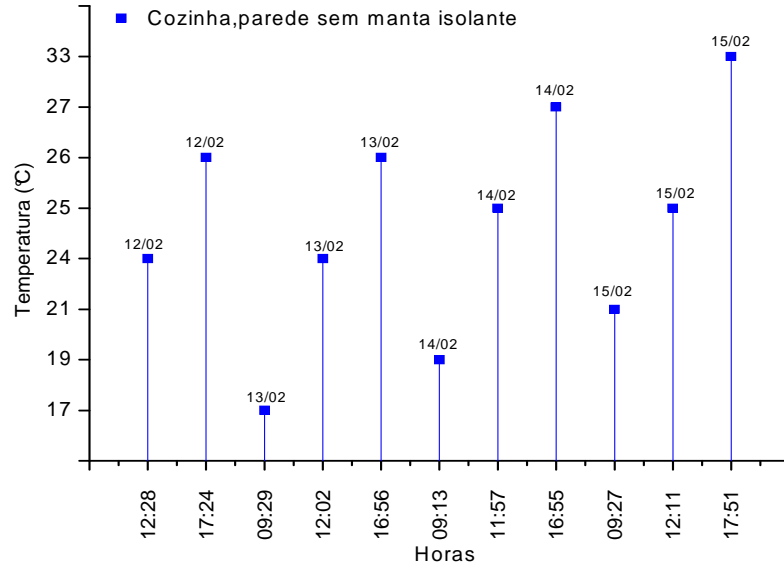


Figura 38. Temperatura da parede da cozinha

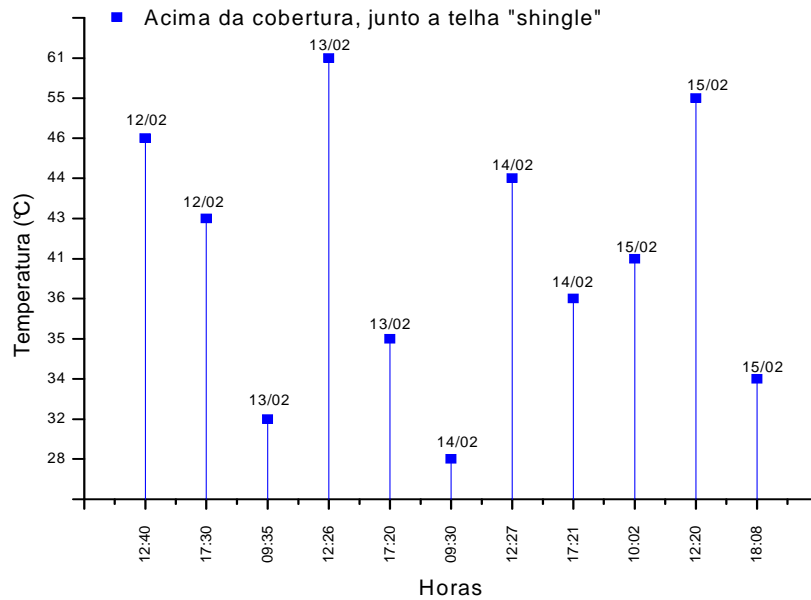


Figura 39. Temperatura acima da cobertura (próximo ao telhado)

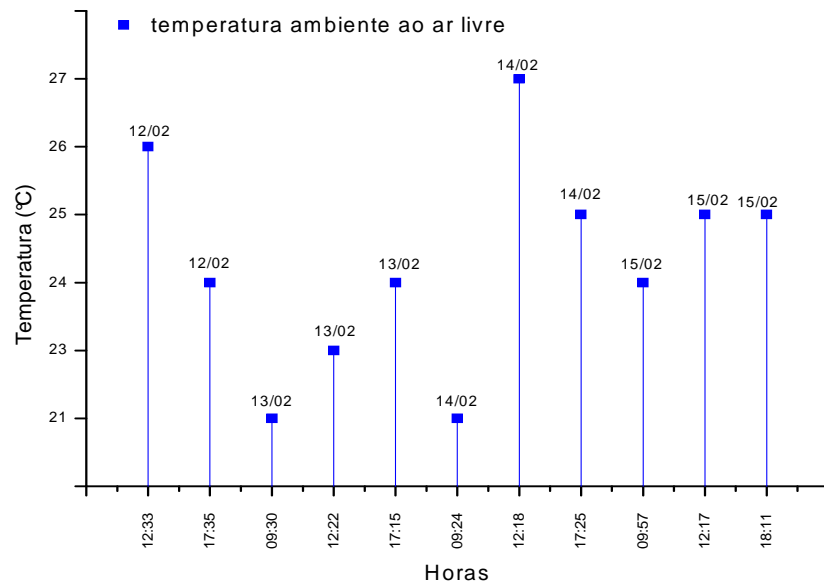


Figura 40. Temperatura ambiente ao ar livre

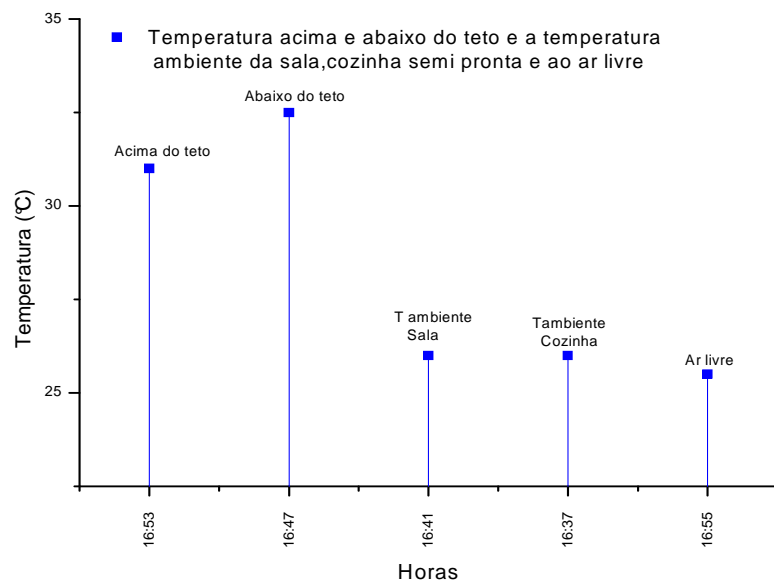


Figura 41. Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (27/02/07)

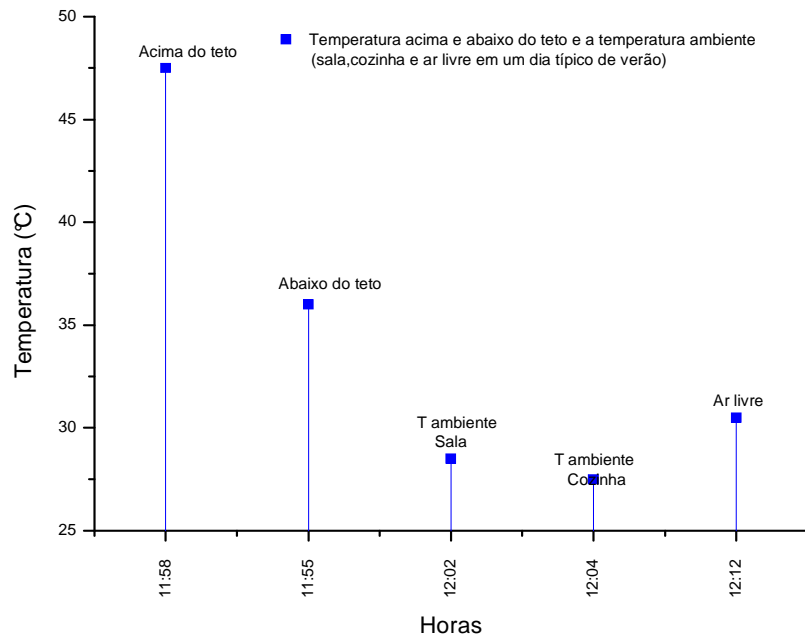


Figura 42. Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (05/03/07)

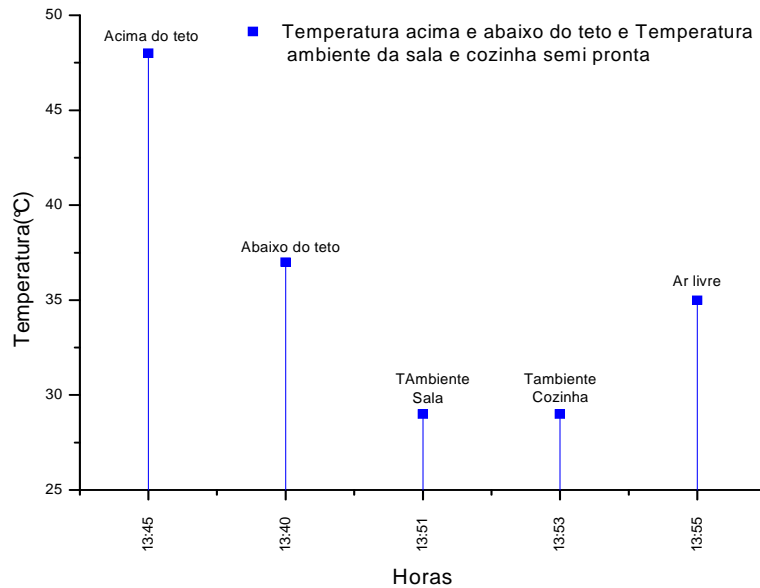


Figura 43. Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (06/03/07)

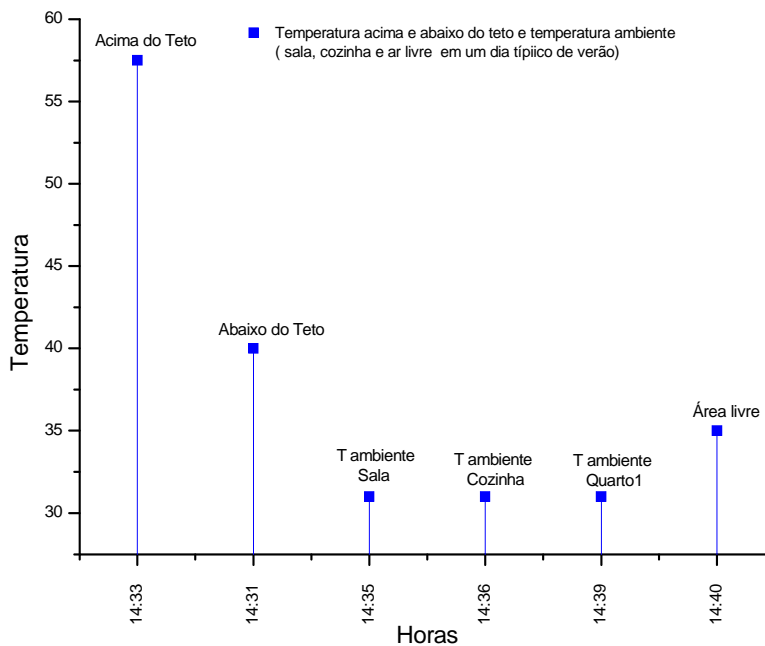


Figura 44. Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (07/03/07)

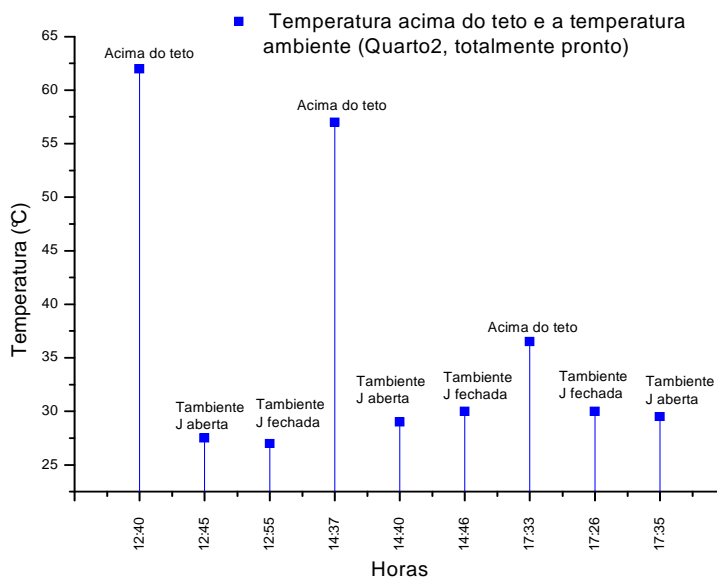


Figura 45. Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (08/03/07)

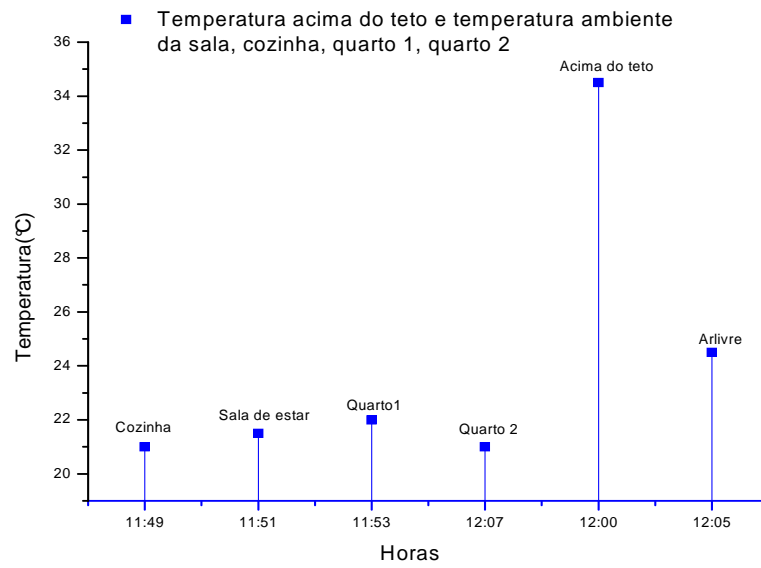


Figura 46. Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (19/03/07)

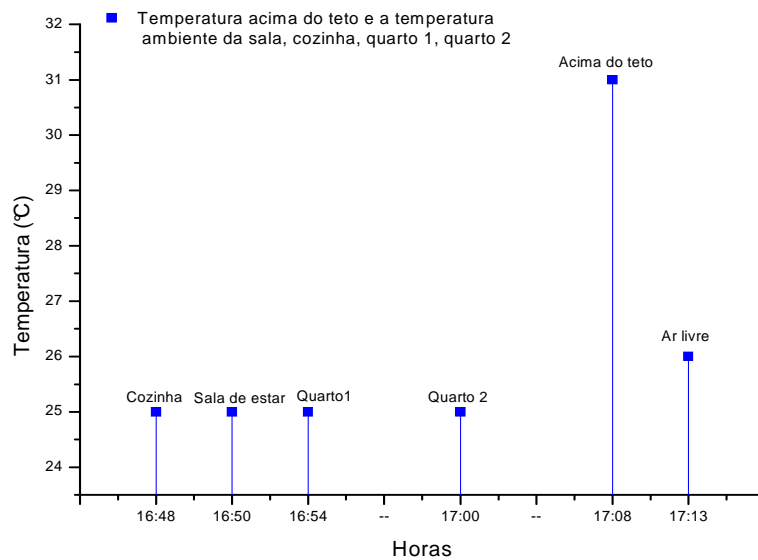


Figura 47. Comparação entre a temperatura interna e externa (acima do teto) da habitação experimental (20/03/07)

### 5.3 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DA HABITAÇÃO EXPERIMENTAL

Os resultados apresentados na figura 48 e 49 mostram os níveis sonoros aplicados ao ambiente nas frequências de 125 a 8000 Hz. Os níveis sonoros obtidos entre quarto 1 e sala de estar estão na tabela 11 e 12 representados pelo nível sonoro absorvido (NS) e a fração absorvida da parede com e sem revestimento.

Observam-se valores elevados da intensidade sonora para as frequências mais altas bem como a atenuação causada pelas paredes. Estes valores para o nível de intensidade sonora, atenuada pelas paredes divisórias, indicam um desempenho superior das paredes da casca quando comparados ao padrão de isolamento obtido pelas paredes convencionais das residências brasileiras (SILVA, 2000). Considera-se que quanto mais baixa for a frequência, menor será a isolação sonora da parede (BISTAFA, 2006). Os tipos de portas e janelas utilizados têm influência nos valores obtidos para o isolamento acústico. Estes elementos apresentam índices de isolamento de ruído na faixa de 10 a 20 dB e não são adequados para a utilização em caso de dormitórios de acordo com pesquisas de vários autores.

O sistema adotado para colocação das placas do novogesso, a inserção das mantas isolantes entre elas e o espaço vazio para circulação do ar até o teto formam uma configuração bastante adequada para obtenção da condição de conforto

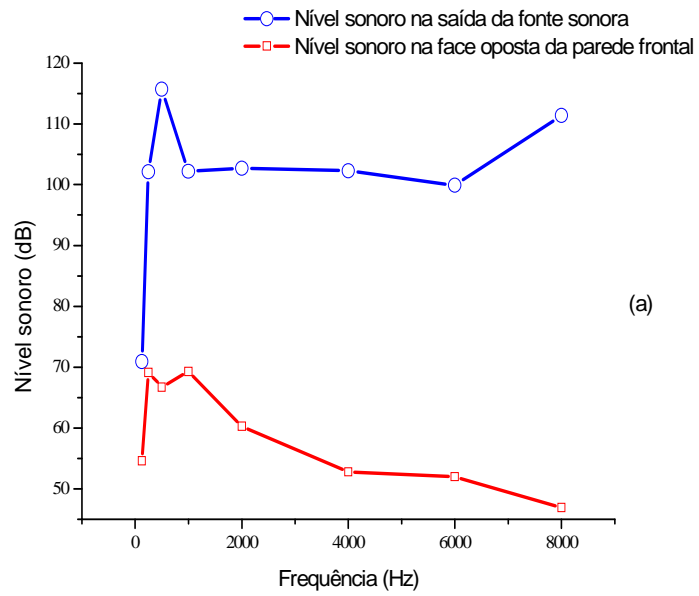


Figura 48 - Nível sonoro em função da frequência: parede do quarto com revestimento.

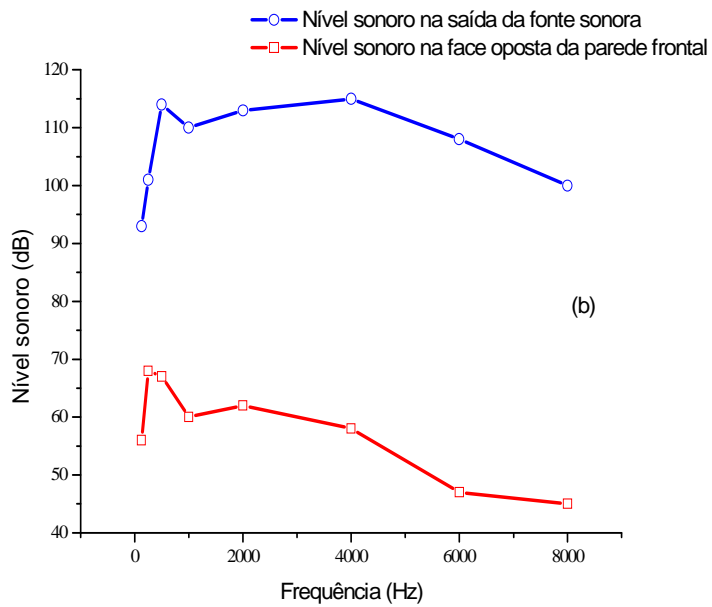


Figura 49 - Nível sonoro em função da frequência: parede do quarto sem revestimento.



Tabela 11 - Nível sonoro absorvido (NS) e Fração absorvida da parede com revestimento localizada entre quarto1 e sala com paredes de placas do novogesso e manta isolante termo – acústica entre as placas

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível Sonoro * (dB)</b>	<b>Nível Sonoro ** (dB)</b>	<b>Nível Sonoro Absorvido (dB)</b>	<b>Fração absorvida, parede com revestimento (%)</b>
125	70,9	54,6	17,0	24,0
250	102,1	69,1	33,0	32,0
500	115,7	66,7	49,0	42,0
1000	102,2	69,3	33,0	32,0
2000	102,7	60,3	42,0	41,0
4000	102,3	52,8	50,0	49,0
6000	99,9	52,0	48,0	48,0
8000	111,4	46,9	67,5	61,0

\* Nível sonoro na saída da fonte sonora \*\* Nível sonoro no lado oposto ao da parede frontal

Tabela 12 - Nível sonoro absorvido (NS) e Fração absorvida na parede sem revestimento localizada entre quarto e sala com paredes de placas do novogesso e manta isolante termo – acústica entre as placas

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Nível Sonoro * (dB)</b>	<b>Nível Sonoro ** (dB)</b>	<b>Nível Sonoro Absorvido (dB)</b>	<b>Fração absorvida, parede sem revestimento (%)</b>
125	93,0	56,0	37,0	40,0
250	101,0	68,0	33,0	33,0
500	114,0	67,0	47,0	41,0
1000	110,0	60,0	50,0	45,0
2000	113,0	62,0	51,0	45,0
4000	115,0	58,0	57,0	50,0
6000	108,0	47,0	61,0	56,0
8000	100,0	45,0	55,0	55,0

\* Nível sonoro na saída da fonte sonora \*\* Nível sonoro do outro lado da parede frontal

## 6 CONCLUSÕES

O gesso e o fosfogesso são encontrados no Brasil em grande quantidade e a celulose é a fibra mais abundante na superfície da Terra, portanto, o estudo do novogesso desenvolveu em nosso país de forma significativa, avanços tecnológicos que poderão ser empregados na área habitacional.

O processo de preparação desse material de alta resistência e baixa porosidade, denominado novogesso, foi descrito e sua condutividade térmica caracterizada.

As medidas realizadas mostram resultados bastante satisfatórios podendo-se observar a influência do teor das fibras de celulose na densidade e na condutividade térmica das amostras estudadas. Pode-se constatar também que os métodos utilizados, tanto na preparação quanto na caracterização dos materiais foram adequados, o que contribuiu para alcançar os objetivos propostos.

De acordo com os valores obtidos para a condutividade térmica e resistência mecânica, é possível concluir que as placas do novogesso, já podem ser consideradas elementos construtivos e que contribuem fortemente para o conforto térmico das construções. No caso da habitação experimental proposta neste trabalho os resultados do monitoramento comprovam a afirmativa acima.

O sistema construtivo das paredes de placas do novogesso permite isolamento sonora e térmica adequada para o ambiente residencial estudado. Os resultados obtidos mostram que a habitação analisada apresenta desempenho superior quanto à atenuação do nível sonoro, para as frequências estudadas, quando comparada ao padrão da construção civil brasileira. Os baixos valores para o isolamento sonoro

interno encontrado para algumas frequências têm a contribuição dos tipos de janelas e portas utilizadas na construção da habitação que apresentam baixos índices de isolamento de ruído e que são comumente utilizadas na construção convencional devido ao seu baixo custo.

Através da associação de gesso com nanofibras de celulose e aplicação do processo de produção do novogesso, os compósitos entre esses dois materiais podem vir a se tornar materiais leves e resistentes, inclusive ao impacto.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, C. N. D. **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática. estudo de casos na região de Brasília.** 1998. 196p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Nacional de Brasília, Brasília, 1998.

AGÊNCIA Brasil . Déficit Habitacional (reportagem). Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/internet/comissoes/cdu/noticia/deficit-habitacional-se-amplia-para-7-9-milhoes-de-moradias>>. Acesso em 26/11/07.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Ashrae Handbook: fundamentals.** New York: Ashrae, 1993.

ASTETE, M. et al. **Riscos Físicos.** São Paulo: Fundacentro; 1985. p.1-31.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151.** Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto acústico da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1.** Comitê brasileiro de construção civil: comissão de estudo de desempenho térmico de edificações. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

ANGELL, C.A., Approaching the limits, **Nature**, v. 331, n. 6153 p. 206-207, 1988. Supercooled water

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de Ruído,** São Paulo, Edgard Blücher, 2006.

CARSLAW, H.S.; JAEGER, J.C. **Conduction of Heat in Solids.** Oxford: Oxford University Press, 1959.

DAVIS, W.R.; MOORE, F.; DOWNS, A.M. Hot wire method for the determination of thermal conductivity: Castables and modifications to the standard method. **Transactions and Journal British Ceramic Society**. v.79, n.6, p.158-66, 1980.

HAGEMANN, L.; PETERS, E. Thermal conductivity: comparison of methods. ASTM – Method - hot wire method and its variations. **Interceram**, v. 31, p. 131-5,1982.

HAUPIN, W. E. Hot wire Method for Rapid Determination of Thermal Conductivity. **American Ceramic Society Bulletin**. v. 39, n.3, p. 139-41, 1960.

INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**, 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

LABAKI, L. C., KOWALTOWSKI, D. Projetos Padrão de Conjuntos Habitacionais de Campinas e seu Conforto Térmico: Análise de Possíveis Melhorias. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AMBIENTE CONSTRUÍDO. 1995, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro, 1995. p. 593- 598.

NORONHA, Eduardo Hermínio ; TRAVAGLIA FILHO, Umberto José ; GARAVELLI, Sérgio Luiz. Quantificação dos níveis de ruídos num estande de tiros da PM do Distrito Federal. **Humanitates**, v.I , n.3, Jun. 2005. ISSN 1807-538X. Disponível em: < <http://www.humanitates.ucb.br/3/ruído.htm>>. Acesso em: 06/02/2009.

O'SULLIVAN, A. C. Cellulose: the structure slowly unravels. **Cellulose**, v. 4, n. 3, p.173-207, 1997.

OLIVEIRA, R. de. Gestão do processo de projeto para construção sustentável. In: Workshop Brasileiro.Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios, VIII., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2008. Disponível em: < [http://www.arquitetura.eesc.usp.br/workshop08/secundarias/ANAIS/Artigo\\_43.pdf](http://www.arquitetura.eesc.usp.br/workshop08/secundarias/ANAIS/Artigo_43.pdf) >. Acesso em: 20/01/09.

PORTAL de Saúde Pública. Disponível em: [http://www.saudepublica.web.pt/05-PromocaoSaude/051-Educacao/ruído\\_decibel\\_figura.htm](http://www.saudepublica.web.pt/05-PromocaoSaude/051-Educacao/ruído_decibel_figura.htm)>. Acesso em:02/02/09

PINTO, E.M. **Determinação de um modelo de taxa de carbonização transversal a grã para o Eucaliyptus citriodora E E. grandis.** 2005. 118p.Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RUSSO I. C. P., Santos T. M. M. **A prática da audiologia clínica.** 4. ed. São Paulo: Cortez, 1993.

SOUZA, M. F.; ROSSETO, H. L.; KANNO, W. M. **Gesso e compósitos de alta resistência mecânica e baixa permeabilidade e seu processo de fabricação.**PI 0303814-9, 09 set. 2003.

SOUZA, M.F.; ROSSETO, H.L.; KANNO, W. M. **Fosfogesso e suas misturas com gesso mineral: matéria prima para produção de peças de gesso e métodos de preparação.** PI 002931, 09 jan. 2004.

SANTOS, M. C. O. Requisitos e critérios para a análise e avaliação da eficácia de programas de habitação popular no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro, 1995. p. 403-408.

STAFF, P. R. E. – Essai des matières premières et produites cèramiques. dètermination de la conductivité thermique jusqu'à 1600 par la méthode du fil chaud.conductivité thermique  $\leq 25 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$  method en parallele. **Bulletin de la Societé Française de Ceramique**, v.126, n. 1, p.15-24, 1980.

SANTOS, W. N.; CINTRA FILHO, J. S. Efeito da temperatura na condutividade térmica e calor específico de materiais cerâmicos determinados simultaneamente pelo método do fio quente paralelo. **Cerâmica**, v.33, n. 212, p.198-202, 1987.

SANTOS, W.N. **Contribuição ao estudo da condutividade térmica do material cerâmico concreto refratário utilizando a técnica de fio quente com ajuste por regressão não linear.** 1988. 149p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo,1988.

SILVA, D. **Estudo da isolação sonora em paredes divisórias de diversas naturezas**. 2000. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

SOUZA, C. M. DE **Ruído Urbano: níveis de pressão sonora na cidade de São Paulo**. 2002. 127 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SPEAKS, C. E. **Introduction to sound: acoustics for the hearing e speech sciences**. 3 ed. San Diego: Singular Publishing Group.1999.

STANSFELD S. A. Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psycho physiological studies. **Psycho Medical**, v. 22, Supl., p.1-44, 1992.

UCHÔA, S. B. B. **Condutividade Térmica da Madeira**. 1989. 162 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for community noise**. Geneve, 1999. 156p. Disponível em: <  
<http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>>. Acesso em: 25/01/09

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)